VOLUME 3

VERS DES AGRICULTURES À HAUTES PERFORMANCES

ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE PRATIQUES INNOVANTES EN AGRICULTURE CONVENTIONNELLE

Étude réalisée pour le Commissariat général à la stratégie et à la prospective

INRA
SCIENCE & IMPACT

Membre fondateur de
agreenium
Science pour l'alimentation et l'agriculture durables

VERS DES AGRICULTURES À HAUTES PERFORMANCES

VOLUME 3

ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE PRATIQUES INNOVANTES EN AGRICULTURE CONVENTIONNELLE

Hervé Guyomard, Christian Huyghe, Jean-Louis Peyraud, Jean Boiffin,
Bernard Coudurier, François Jeuland, Nicolas Urruty

Septembre 2013 Etude réalisée pour le Commissariat général à la stratégie et à la prospective

POUR CITER CE DOCUMENT :

Guyomard H., Huyghe C., Peyraud J.L., Boiffin J., Coudurier B., Jeuland F., Urruty N**.** 2013. Vers des agricultures à hautes performances. Volume 3. Evaluation des performances de pratiques innovantes en agriculture conventionnelle. Inra. 376 pages.

AVANT-PROPOS

D'ici dix ans, la ferme France aura profondément évolué. Grâce à de nombreuses initiatives, la transition est déjà en route. La course à la production poursuivie par l'agriculture française depuis les années 1950 - sa productivité a été multipliée par 10 depuis - est en voie d'évoluer vers la multi-performance.

Comme partout dans le monde, le modèle agricole développé après-guerre en France rencontre un certain nombre de limites, notamment dans ses atteintes à la biodiversité et à l'environnement, mais également en termes de plafonnement des rendements agricoles ou encore d'émergence de phénomènes de résistances aux pesticides chez certains ravageurs. Son évolution vers des modes de production plus durables et tout aussi productifs est indispensable. Pour faire face aux enjeux de demain - agricoles, alimentaires, énergétiques, mais également environnementaux et sociaux - il apparaît de plus en plus clair qu'une agriculture diverse, y compris dans ses modes de production, est indispensable.

C'est dans ce contexte que le Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP) a confié à l'Inra, suite à un appel d'offres lancé en avril 2012, une étude destinée à déterminer les possibilités d'évolution de l'agriculture française vers des systèmes de production agricole plus durables. L'objectif était d'analyser les marges de progrès offertes par, d'une part, les systèmes de production dits « biologiques » et, d'autre part, les systèmes de production dits « conventionnels », au travers de deux questions :

- **Comment rendre l'agriculture biologique plus productive et plus compétitive ?**
- **Comment organiser la transition de l'agriculture conventionnelle vers une agriculture plus durable ?**

Ces deux questions ont été explorées en s'appuyant sur une grille commune d'indicateurs des performances productives, économiques, environnementales et sociales, et en mobilisant l'ensemble des connaissances disponibles sur les systèmes agricoles innovants proposant de nouveaux compromis entre ces différentes performances, tant en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle.

Les travaux conduits dans le cadre de cette étude sont organisés sous forme d'un rapport composé de quatre volumes distincts et autonomes, mais complémentaires :

- **Le volume 1** « Analyse des performances de l'agriculture biologique » propose une revue de littérature de l'ensemble des performances de l'agriculture biologique, des études statistiques originales sur les performances productives et économiques des exploitations agricoles françaises biologiques, et une analyse de la compétitivité de la filière biologique nationale sur la base d'une enquête spécifique ;
- **Le volume 2** « Conception et évaluation de systèmes innovants en agriculture conventionnelle » présente la méthodologie adoptée pour identifier et apprécier les pratiques et ensembles de pratiques qu'il serait possible de mettre en œuvre pour une transition des différentes agricultures françaises vers la multi-performance ;
- **Le volume 3** « Evaluation des performances de pratiques innovantes en agriculture conventionnelle » propose une analyse détaillée des performances productives, économiques, environnementales et sociales de plus de 200 pratiques agricoles élémentaires organisées en un certain nombre de classes de pratiques ou méta-pratiques ;

- **Le volume 4** « Analyse des voies de progrès en agriculture conventionnelle par orientation productive » propose une analyse des freins et leviers à la multi-performance pour les principales filières agricoles, végétales et animales, de l'agriculture française.

Le présent volume correspond au volume 3 du rapport « Vers des agricultures à hautes performances ».

REMERCIEMENTS

Nous remercions les nombreuses personnes qui ont enrichi la réflexion et ont permis de mener à bien la production de l'ensemble de ce rapport ; elles ont grandement contribué à la richesse de son contenu.

Nous tenons en premier lieu à remercier Dominique Auverlot, Géraldine Ducos et Aude Teillant, tous trois du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective ; ils sont à l'origine de ce rapport et ont toujours été des interlocuteurs directs disponibles, stimulants et constructifs.

Nous remercions Marion Guillou, qui conduisait dans le même temps une mission auprès du Ministre en charge de l'agriculture dans le cadre de la préparation du plan agro-écologique de ce dernier et présidait le comité de pilotage de la présente étude. Ses conseils ont toujours été précieux et avisés. Nous remercions également l'ensemble des membres du comité de pilotage. Ils nous ont permis non seulement d'enrichir le contenu du rapport, mais aussi d'approfondir la réflexion en nous demandant de préciser de nombreux points.

Au sein du ministère en charge de l'agriculture, nous remercions Pierre Claquin, Elsa Delcombel, Noémie Schaller et Julien Vert qui ont contribué à la mission de Marion Guillou et ont donc suivi aussi toute cette étude.

Trois remerciements spécifiques pour terminer. Merci d'abord à Nicolas Trift qui nous a apporté son aide efficace, notamment au niveau de la rédaction, à plusieurs moments. Ensuite, at last but not least, merci à Valérie Toureau et Nicolas Urruty qui ont assuré la correction finale du rapport et sa mise en forme. Ce fut là un travail fastidieux dont ils se sont acquittés avec diligence et dans une bonne humeur jamais mise en défaut.

Ce volume 3 dédié à l'évaluation des performances de plus de 200 pratiques innovantes en agriculture conventionnelle a fait l'objet d'échanges spécifiques avec de très nombreux experts de l'Inra, des instituts techniques agricoles, des chambres d'agriculture ou encore du monde de la coopération. Ces experts sont trop nombreux pour que nous les citions toutes et tous ici, mais nous les remercions toutes et tous très sincèrement pour leur aide. Un merci tout particulier à Marc Benoit, Guy Richard et Etienne Zundel.

SOMMAIRE

INTRODUCTION 7

CHAPITRE 1 TRAVAIL DU SOL ET GESTION DE L'ÉTAT DE SURFACE 11
CHAPITRE 2 GESTION DE L'EAU ET DE SA QUALITÉ 33
CHAPITRE 3 GESTION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX (AZOTE, PHOSPHORE, POTASSIUM ET AUTRES) ET DU STATUT ORGANIQUE DES SOLS 53
CHAPITRE 4 CHOIX DES VARIÉTÉS ET DES SEMENCES 83
CHAPITRE 5 PROTECTION PHYTOSANITAIRE DES CULTURES 99
CHAPITRE 6 CHOIX DES SUCCESSIONS DE CULTURES ET DES ASSOLEMENTS 129
CHAPITRE 7 CONDUITE DES PLANTES ET DES PEUPLEMENTS VÉGÉTAUX 145
CHAPITRE 8 AMÉNAGEMENT FONCIER 161
CHAPITRE 9 CHOIX ET GESTION DES AGROÉQUIPEMENTS 179
CHAPITRE 10 GESTION DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE 195
CHAPITRE 11 GESTION DES EFFLUENTS 213
CHAPITRE 12 GESTION DE LA SANTÉ ET DU BIEN-ÊTRE ANIMAL 247
CHAPITRE 13 GESTION DE L'ALIMENTATION ANIMALE 273
CHAPITRE 14 GÉNÉTIQUE ANIMALE 313
CHAPITRE 15 GESTION DE LA CONDUITE D'ÉLEVAGE 331

CONCLUSIONS 361

TABLE DES MATIÈRES 365

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les systèmes agricoles innovants doivent concilier les performances productives, économiques et environnementales. Ils seront obtenus en combinant de façon originale des pratiques de production ou d'organisation, nouvelles ou existantes.

De nombreuses études déjà publiées, des rapports d'étude et des témoignages de groupes d'agriculteurs montrent qu'il existe beaucoup de systèmes agricoles, en agriculture conventionnelle ou biologique, qui proposent des systèmes de production novateurs offrant un nouveau compromis entre les fonctions de production, les performances économiques et les performances environnementales. Les performances sociales (travail et organisation) de ces systèmes novateurs doivent aussi être prises en compte.

Dans l'étude conduite par l'Inra et commanditée par le CGSP, Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective, nous avons cherché à capitaliser l'ensemble des connaissances déjà disponibles, en les organisant dans un cadre conceptuel large, qui offre la possibilité d'une analyse sans *a priori*. Cette posture nous est apparue indispensable pour ne pas être figé dans des grandes catégories et dénominations, pour pouvoir prendre en compte la diversité existant au sein de ces grandes catégories et surtout pour disposer d'un cadre mobilisable pour des analyses futures.

Ceci s'est traduit dans une démarche en trois étapes :

- ***La première étape*** a consisté en la définition d'une série d'indicateurs capables de documenter l'ensemble des performances d'une exploitation agricole au sein d'une filière de production et au sein d'un territoire agricole, quels que soient la filière et le territoire. Cette définition nous a conduits à identifier cinq classes de performances (production, économie, utilisation de ressources naturelles, environnement, social), chacune décrite par plusieurs indicateurs. Ceci permet de mobiliser les données disponibles dans les publications scientifiques et techniques, afin de décrire les conséquences des pratiques et les systèmes de production. Il existe dans cette littérature scientifique et technique une très grande diversité d'indicateurs, leur définition constituant un champ de recherche permanent, mais aussi un enjeu très important pour les différents acteurs en relation avec l'activité agricole. La liste de 35 indicateurs que nous avons retenue constitue alors souvent des proxys permettant le lien avec tous les travaux de ce champ d'investigation. Cette étape est présentée en détail dans le Volume 2, Partie 1, Chapitre 1, du présent rapport.
- ***La seconde étape*** a consisté à formaliser la structure et le fonctionnement d'une exploitation agricole. Ce formalisme s'est inspiré de différents travaux de recherche et doit être valide à la fois pour les exploitations en productions végétales, en productions animales ou combinant les deux types de productions. Il permet également de resituer une exploitation au sein de sa ou ses filières de production permettant la valorisation des produits en définissant éventuellement des cahiers des charges régulant la production. Il faut également prendre en compte la dimension territoriale car certains éléments du fonctionnement d'une exploitation doivent être analysés à travers cette dimension, qu'il s'agisse des composantes biophysiques spatiales ou des composantes organisationnelles mobilisant des exploitations voisines. Ce formalisme nous a permis de définir 203 pratiques élémentaires, regroupées en 15 méta-pratiques (voir liste infra). Ces pratiques élémentaires, définies par des verbes d'action, sont susceptibles d'être mises en œuvre par un exploitant agricole pour faire évoluer son système de production et ainsi affecter les différentes performances de son exploitation. La liste des différentes pratiques élémentaires étudiées a été définie par approche itérative au sein du groupe de travail, sur la base de l'analyse de pratiques agricoles effectives ou de travaux expérimentaux conduits par la recherche et le développement. Ces pratiques ont été retenues

car elles offraient, selon l'analyse du groupe, des possibilités pour concilier les performances économiques et environnementales. Cette étape est présentée en détail dans le Volume 2, Partie 1, Chapitre 2, du présent rapport.

- ***La troisième étape*** a consisté à qualifier l'ensemble des performances pour chacune des pratiques élémentaires retenues. L'impact potentiel de telle pratique élémentaire sur telle performance a été qualifié selon la graduation suivante : « + » ; « =/+ » ; « = » ; « =/- » ; « - ». Le qualificatif « +/- » a été retenu lorsque l'effet était ambivalent. Cette dernière classe peut traduire une forte dépendance au milieu biophysique ou économique de la pratique élémentaire considérée, une dépendance aux autres pratiques élémentaires mises en œuvre simultanément ou encore une incertitude au niveau de la littérature disponible. Ceci identifie alors un besoin de recherche complémentaire. La qualification des performances associées à chacune des pratiques élémentaires s 'est faite sur la base de la littérature scientifique et technique disponible, nationalement ou internationalement. La matrice de performances obtenue a fait l'objet d'une analyse détaillée par méta-pratique. Ce travail très exhaustif permet également de montrer l'intérêt d'une mise en œuvre conjointe de différentes pratiques et ceci a été utilisé pour construire la matrice des relations entre les différentes pratiques élémentaires.

Le présent volume analyse donc de façon détaillée les **15 méta-pratiques** listées ci-dessous :

- Le travail du sol et la gestion de l'état de surface ;
- La gestion de l'eau et de sa qualité ;
- La gestion des éléments minéraux et du statut organique du sol ;
- Le choix des variétés et des semences ;
- La protection phytosanitaire des cultures ;
- Diversification des successions de cultures et des assolements ;
- La conduite des plantes et des peuplements végétaux ;
- L'aménagement foncier ;
- Le choix et la gestion des agroéquipements ;
- La gestion des bâtiments d'élevage ;
- La gestion des effluents d'élevage ;
- La gestion de la santé et du bien-être animal ;
- La gestion de l'alimentation animale ;
- La gestion de la génétique animale ;
- La conduite de l'élevage.

Chacune de ces méta-pratiques est présentée sous forme d'un chapitre indépendant, décrivant le périmètre de la méta-pratique, détaillant les éléments relatifs à chacune des pratiques élémentaires et proposant une synthèse des enseignements principaux et des leviers d'action. Chaque chapitre est illustré de la matrice Pratique x Performance correspondante. La liste des références bibliographiques mobilisées est fournie en fin de chapitre.

Une analyse transversale de l'ensemble de ce corpus est présentée dans le Volume 2, Partie 1, Chapitre 3, du présent rapport.

CHAPITRE 1

TRAVAIL DU SOL ET GESTION DE L'ÉTAT DE SURFACE

A - Introduction 12
B - Description par pratique élémentaire 13
C - Eléments-clefs à retenir 22
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 27
E - Références bibliographiques 28
F - Glossaire 30

CHAPITRE 1
Travail du sol et gestion de l'état de surface

A - Introduction[1]

Cette Méta-pratique (MP) référence les principales techniques de travail et de couverture du sol qui visent à modifier l'état et les propriétés physiques, chimiques et/ou biologiques du sol afin de créer les conditions favorables pour l'implantation, la germination et la croissance des plantes (FAO, 2011) ; et plus généralement pour l'ensemble des fonctions productives et écologiques du sol. Elle a de multiples conséquences directes et indirectes sur les processus physiques, chimiques et biologiques du sol, donc sur le comportement hydrique des sols en lien avec la MP Gestion de l'eau et de sa qualité ; le rendement et la qualité des récoltes ; la nutrition des plantes en lien étroit avec la MP Gestion des éléments minéraux et du statut organique des sols ; le stockage du carbone et les émissions de gaz à effet de serre ; la gestion des bioagresseurs en lien étroit avec la MP Protection phytosanitaire des cultures ; et le choix des matériels en lien avec la MP Choix et gestion des agroéquipements.

Les multiples objectifs liés à la gestion du sol et de son état de surface sont d'assurer une répartition favorable des résidus de culture et matières fertilisantes, de contrôler les adventices, de maintenir, voire d'augmenter le taux de Matière Organique (MO) des sols, de favoriser l'enracinement des plantes, d'augmenter la séquestration du carbone dans les sols, d'améliorer la structure des sols, de modifier leurs propriétés hydriques (vitesse d'infiltration ou de dessiccation), de réduire les risques d'érosion, et de limiter les risques liés aux populations de bioagresseurs dans les sols.

Pour les besoins de l'analyse, la MP a été scindée en deux pratiques, elles même divisées en plusieurs pratiques élémentaires, soit :

- Le travail du sol proprement dit en distinguant en son sein cinq pratiques élémentaires (du labour systématique au semis direct intégral), correspondant à des profondeurs et fréquences de fragmentation du sol de moins en moins importantes ;
- Et les techniques de couverture (spatiale et/ou temporelle) du sol qui peuvent assurer un certain nombre de bénéfices économiques ou environnementaux pour l'agriculteur.

L'Agriculture de conservation (AC), qui vise tout particulièrement à combattre les processus de dégradation des sols, au premier rang desquels l'érosion hydrique ou éolienne, associe trois principes : réduire le travail du sol, maintenir une couverture végétale par les résidus et les plantes ; pratiquer une alternance des espèces cultivées. L'Agriculture de conservation est aujourd'hui pratiquée à l'échelle mondiale sur une superficie estimée à environ 120 millions d'hectares, soit 8 % des terres cultivées mondiales, dont près de 16 millions en Europe et quelques 3 millions en France (17 % de la Surface Agricole Utile ou SAU), d'après les résultats publiés lors du Congrès Européen de l'Agriculture de Conservation (ECAF, 2011). Ces chiffres sont cependant sujets à discussion dès lors que les conventions d'identification des pratiques d'AC ne sont pas dépourvues d'ambiguïté. En outre, la gestion des bioagresseurs, et notamment des adventices, ne pouvant s'appuyer sur un retournement du sol, nécessite dans certains cas une utilisation accrue de pesticides.

[1] Pour la définition des principaux termes techniques utilisés pour décrire les différentes pratiques élémentaires de cette MP, voir partie F - Glossaire.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Travail du sol

B1.1 - Labourer systématiquement à une fréquence supérieure ou égale à 1 an sur 2

Le labour consiste à fragmenter, déplacer et retourner le sol sur 20 à 35 cm.[2] Il vise la restructuration de la couche travaillée, la destruction et l'enfouissement des adventices, le mélange de la matière organique, des résidus et apports éventuels (amendements et matières fertilisantes). Il est le plus souvent réalisé à l'aide d'une charrue à versoirs ou à disques.

Les avantages attendus du labour sont les suivants :

- Restructuration des sols tassés sur la profondeur de labour et amélioration de l'enracinement des cultures ;
- Meilleure infiltration de l'eau et limitation du ruissellement par stockage superficiel, associés à une réduction des risques d'anoxie et des émissions de N2O ;
- Diminution des risques de transfert des éléments dans les sols drainés *via* un meilleur enracinement des végétaux (Labreuche et al., 2007) ;
- Retournement et enfouissement des adventices, des graines d'adventices et des résidus végétaux contaminés par des pathogènes, d'où une limitation de la consommation de pesticides (surtout d'herbicides) ;
- Enfouissement des épandages organiques, réduction de la volatilisation d'ammoniac (Labreuche et al., 2007) ;
- Densité et régularité d'enracinement dans l'horizon superficiel, permettant une meilleure alimentation hydrique et minérale.

En moyenne et jusqu'à la fin des années 90, les résultats expérimentaux comparatifs obtenus en France montraient des rendements plus réguliers pour la modalité labour systématique, que pour les modalités semis direct ou travail superficiel systématiques.

Les principaux inconvénients du labour sont les suivants :

- Opération très gourmande en énergie directe (fioul) et en temps de travail ;
- Dilution de la MO dans les horizons travaillés et fragmentation parfais excessive du sol, d'où une augmentation des risques dérosion sur les terrains sensibles ;
- Emissions de GES importantes du fait de la forte consommation de carburant et du moindre stockage de carbone dans les sols associée à l'augmentation de la vitesse de minéralisation de la matière organique du sol (Labreuche *et al.,* 2011) ;
- Perturbation de la macrofaune et microfaune du sol, notamment celle vivant à la surface du sol ;
- Les labours peuvent occasionner des problèmes dans les sols très caillouteux ou très superficiels (usure ou casse des outils) ; de même que des problèmes d'érosion dite mécanique dans les sols de coteaux à forte pente par exemple) ;
- Opération gourmande en énergie qui accroît l'exposition de l'agriculteur aux fluctuations du prix de l'énergie : la sensibilité aux aléas économiques est donc augmentée ;
- Opération techniquement délicate ; les risques de mauvaise réalisation sont assez importants, avec en particulier le risque de création de semelles de labour (compactage juste sous l'horizon labouré) ;

[2] On parle aussi de charruage avant implantation d'une vigne sur une profondeur d'environ 80 cm

- Le labour enfouissant les résidus végétaux, ces derniers ne peuvent plus couvrir le sol ; ce qui peut aboutir à exposer le sol nu aux pluies (risques de battance et érosion dans les sols sensibles).

Les effets du labour sur les performances productives et économiques varient en fonction du contexte pédoclimatique et socio-économique dans lequel il s'inscrit. Les intérêts agronomiques et environnementaux du labour sont multiples (cf. supra), en premier lieu grâce à son pouvoir de structuration du sol et d'enfouissement des mauvaises herbes et de leurs graines, mais le labour systématique présente tout de même des inconvénients. Il perturbe fortement l'horizon supérieur et peut engendrer des phénomènes de battance et d'érosion des sols. Le taux de MO des sols labourés de façon systématique a tendance à diminuer en surface car celle-ci est diluée sur la totalité de l'horizon. C'est une opération gourmande en carburant (donc qui augmente la consommation directe d'énergie fossile et les rejets de CO_2 associés) et en temps de travail. L'impact du labour sur les émissions nettes de GES (émissions brutes moins stockage du sol) fait encore l'objet de nombreuses recherches et de vifs débats, notamment du fait de la variabilité des émissions de N_2O associées à sa suppression ; cf. Encadré 1.2.

B1.2 - Travailler superficiellement et labourer à une fréquence inférieure à 1 an sur 2

Cette pratique élémentaire consiste à alterner et positionner les labours dans la rotation de manière à optimiser les bénéfices attendus pour la culture suivante (aération du sol, enfouissement des semences d'adventices lors d'une année difficile, etc.).

Les principaux avantages d'une alternance des phases de labour et de travail superficiel peuvent être résumés de la façon suivante ; la pratique élémentaire :

- Permet de positionner les labours avant les cultures qui sont les plus exigeantes vis-à-vis de l'état structural du sol (pomme de terre, betterave, cultures maraichères, etc.) ou de la finesse du lit de semence (cultures de printemps notamment) ; ou après celles qui présentent les plus forts risques de tassement ou création d'ornières (récoltes d'automne tardives) ;
- Permet d'associer les bénéfices du labour et du non labour sans s'interdire le travail profond si la situation l'exige (faible porosité, tassement, mauvaises herbes, etc.) ;
- Permet de diversifier les moyens de lutte face aux adventices, tout en diminuant la dépendance aux herbicides chimiques : labour profond, déchaumages superficiels, labour superficiel, etc.
- La diminution du temps de retour du labour sur la parcelle permet de diminuer les coûts de production (diminution des charges de mécanisation), et par suite de réduire les rejets de C02 et le temps de travail de l'agriculteur (du laboureur). Cette technique alternée de travail du sol permet aussi de réduire le recours aux produits phytosanitaires par une perturbation accrue des cycles des bioagresseurs.

La sensibilité aux aléas climatiques est réduite puisque l'agriculteur ne s'interdit pas un travail profond du sol si nécessaire. De plus, la diminution de la consommation de carburant permet aussi de réduire la sensibilité aux aléas économiques par moindre exposition aux fluctuations du prix de l'énergie.

B1.3 - Pratiquer le non labour avec travail superficiel du sol (< 15 cm)

Cette pratique élémentaire correspond à un abandon total du labour avec retournement du sol sur 20 à 30 cm de profondeur, remplacé par un travail du sol avec des outils à disques ou à dents sur une profondeur inférieure à 15 cm. A ce jour, le développement de cette pratique élémentaire a été plus lent en Europe que dans le reste du monde ; les surfaces ainsi traitées représentent près d'un quart des sols cultivés aux États-Unis, plus d'un cinquième au Brésil et un tiers en Argentine (Triplett et Dick, 2008).

L'implantation des cultures annuelles dans l'hexagone est demeurée longtemps, pratiquement et culturellement, fortement liée au labour des terres (cf. Encadré 1.1). Néanmoins, les techniques culturales

sans labour connaissent depuis 20 ans un accroissement significatif, avec une accélération marquée au cours de la dernière décennie : près d'un tiers des cultures annuelles et près de la moitié des cultures d'hiver ont été implantées sans labour sur la campagne 2005-2006 (Chapelle-Barry, 2008). L'abandon du labour reste le plus souvent occasionnel et rarement définitif.

Par référence au labour, pratiquer le non labour avec travail superficiel du sol présente les avantages suivants :

- Réduction de la consommation de carburant (diminution de la consommation d'énergie directe) et du temps de traction (Labreuche *et al.,* 2011) ;
- Diminution des charges de mécanisation et donc des coûts variables de production (Leclech, 2012) ;
- Diminution de la taille du parc matériel et par suite, impact favorable sur la performance « endettement » de l'exploitation agricole ;
- Modification du calendrier de travail de l'exploitation agricole et diminution de certaines pointes de travail (semis d'automne par ex.) ;
- Augmentation du taux de MO dans les horizons superficiels (Soane *et al.,* 2011) ; les risques d'érosion et de ruissellement sont réduits (Bonafos *et al.,* 2007) ;
- Réduction du temps de traction.

La pratique élémentaire présente néanmoins un certain nombre d'inconvénients :

- Risques accrus de compaction (persistance des ornières ou zones tassées) ; ces techniques sans labour sont donc moins faciles à pratiquer sur les cultures sensibles au tassement (betterave, cultures maraîchères, etc.) ou après celles qui engendrent des risques importants (chantiers de récolte tardifs : betterave, maïs…).
- Risques de volatilisation d'ammoniac accrus dans le cas où des apports de fertilisants organiques à la surface du sol sont réalisés ;
- La perturbation superficielle du sol tend à favoriser la levée de certaines adventices, d'où en général une augmentation de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) Herbicides (Melander *et al.,* 2012) ;
- Non enfouissement des résidus potentiellement contaminés du précédent cultural, ce qui peut favoriser la contamination des cultures suivantes, notamment dans le cadre de monocultures ;
- Le non recours au labour dans le cas où la situation pourrait l'exiger (tassement important du sol, pression forte des adventices, etc.) engendre une plus grande sensibilité aux aléas climatiques.

Encadré 1.1

La simplification du travail du sol, une tendance aussi ancienne que la mécanisation...

En France, la simplification des techniques de travail du sol suit une tendance générale très ancienne, corrélée à l'extension des surfaces cultivées au détriment des prairies, à la simplification des assolements et à l'expansion de certaines cultures, génératrices de pointes de travail importantes. Répondant à un double objectif de réduction du temps de travail nécessaire pour implanter les cultures, et de réduction des risques de tassement des sols, elle s'est d'abord traduite par une augmentation des largeurs de travail, un développement des outils animés (et leur regroupement au sein d'outils combinés) dans le cadre d'itinéraires fondés sur le labour, et au final par une diminution drastique de la diversité des pratiques pour affiner les lits de semences. Ces évolutions étaient rendues possibles par l'accroissement des puissances de traction, et le perfectionnement des semoirs ; mais également par le faible coût du carburant et une fiscalité incitant à l'achat de machines. Depuis les années 2000, l'accélération de l'agrandissement des exploitations de grandes cultures et l'évolution des assolements de certaines régions céréalières, provoquant une accentuation encore plus marquée des pointes de travail à l'automne, ont entraîné une nouvelle phase de simplification : le labour n'est plus systématique avant chaque culture, il n'a plus lieu qu'une année sur deux ou trois. A ce jour les enquêtes pratiques culturales ne recueillent pas les données relatives aux durées de non-labour ; cependant, et comme on l'a indiqué précédemment, l'abandon total du labour reste pour le moment limité, même s'il bénéficie d'un incontestable regain d'intérêt dans les réseaux innovants et dans la presse technique.

Il est à noter que ce développement du non-labour occasionnel a été beaucoup plus tardif en France que l'émergence des techniques de semis direct ou de travail superficiel, expérimentées aux USA depuis les années 1950, et en France depuis les années 1970. L'un des principaux freins à leur adoption (alors même que les firmes phytosanitaires commercialisant les herbicides totaux en assuraient une promotion très active) a sans doute été la présence dans les successions françaises, de cultures semées au printemps et récoltées en automne (betterave, pomme de terre, maïs…), donc en conditions assez souvent humides générant des tassements et même des ornières, auxquels seul le labour semblait à même de remédier. D'ailleurs les préconisations de la recherche étaient de proscrire le non-labour systématique lorsque les sols présentaient une faible aptitude à la fissuration (teneur en argile inférieure à 15 % environ) ou à tendance hydromorphe, c'est-à-dire au final, sur une bonne part des surfaces en grandes cultures et polyculture-élevage françaises.

Au début des années 90, une réévaluation des techniques de non-labour a été entreprise pour y intégrer des aspects environnementaux (Monnier *et al.* 1994). Les conclusions étaient alors assez mitigées, mettant en lumière un intérêt antiérosif limité dans un contexte d'érosion par ruissellement concentré, et un accroissement des risques de pollution par les produits phytosanitaires, liés eux-mêmes à un usage accru des herbicides. Plus récemment, la prise en compte de nouveaux critères environnementaux (émissions de GES, biodiversité) et l'émergence de nouvelles méthodes de caractérisation biologique des sols, ont suscité un regain d'intérêt et de nouvelles démarches d'évaluation comparative.

On peut donc dire qu'il y a convergence entre deux motivations, ayant trait respectivement à l'environnement et à l'organisation du travail, pour un renouveau de l'attention portée aux modalités de travail du sol et de gestion de l'état de surface.

B1.4 - Pratiquer le semis direct sans labour

Le semis direct consiste à implanter les cultures sans aucune opération préalable de travail du sol. Le sol est uniquement perturbé sur la ligne de semis lors de l'ouverture et de la fermeture du sillon. Malgré des efforts de recherche conséquents en Europe sur la période 1960-90, l'extension des surfaces en semis direct est restée très limitée, notamment en comparaison avec l'explosion des surfaces sur le continent américain (20 % des surfaces aux Etats-Unis, 21 % au Brésil et 30 % en Argentine – cf. Tableau 1.1 ; Triplett et Dick, 2008). On notera le lien étroit qui existe entre le déploiement du non labour, plus généralement des techniques (très) simplifiées de travail du sol, et le développement de l'usage des herbicides sélectifs qui a offert une alternative au rôle du labour dans la maîtrise des adventices. La mise au point de plantes génétiquement modifiées résistantes aux herbicides totaux a renforcé le développement du semis direct sans labour pour la production de cultures à des fins alimentaires et/ou industrielles sur le continent américain (Germon et Thévenet, 2011), mais se trouve désormais confronté à des problèmes de développement de résistance aux herbicides.

Tableau 1.1 : *Estimation des surfaces en non labour (en millions d'hectares) dans différents pays du monde et pour différentes cultures entre 2000 et 2002 (d'après Triplett et Dick, 2008)*

Country	Millions of hectares
United States	22.3 (20% of total cropped land)
Soybean	10.5 (45%)†
Corn	6.08 (19%)
Cotton	0.81 (14%)
Sorghum	0.63 (14%)
Small grain	3.52 (12%)
Other	0.85 (7%)
Brazil	13.5 (21% of total cultivated area)
Argentina	9.25 (32% of total cultivated area)
Australia	8.64
Canada	4.08
Paraguay	0.96 (52% of total cultivated area)
Mexico	0.65
Bolivia	0.35
Venezuela	0.15
Chile	0.10
Uruguay	0.05
Others	0.05

En France, d'après Derpsch et Friedrich (2009), environ 200 000 hectares sont conduits en semis direct ou en travail très simplifié systématique (perturbation du sol < 5 cm de profondeur), soit seulement 1 % des surfaces arables totales.

Les avantages du semis direct sans labour peuvent être ainsi résumés :

- Réduction des charges de mécanisation et de la taille du parc matériel (impact favorable sur l'endettement) ;
- Réduction importante du temps de travail et de la consommation directe d'énergie fossile (fioul) (Labreuche et al., 2011) ;
- Diminution des risques d'érosion sur les terrains sensibles (Bonafos et al., 2007) : les résidus en surface forment une barrière physique qui limite l'impact des gouttes de pluie et ralentit le ruissellement ; en outre l'horizon superficiel est moins meuble donc moins sensible à l'incision que dans le cas du labour ;
- Limitation de l'évaporation et conservation plus importante de l'humidité dans le sol, facteur appréciable dans les régions sèches ; la consommation d'eau par l'irrigation peut donc être minorée,
- Augmentation du taux de MO en surface, de l'activité biologique et amélioration de la structure des premiers centimètres du sol (Soane et al., 2011),
- Diminution des émissions de CO2 et stockage plus important de carbone dans les sols (Labreuche et al., 2011), d'où un bilan positif sur les émissions de GES ;
- Moindre perturbation du sol, ce qui favorise sa biodiversité (lombrics, insectes, araignées, carabes, etc.) et meilleure portance du sol ;
- La réduction du nombre d'opérations de travail du sol permet à l'agriculteur de réduire sa charge de travail et sa dépendance au prix de l'énergie ; la sensibilité aux aléas économiques (liés ici aux fluctuations du cours du pétrole) est donc réduite.

Cette pratique élémentaire présente aussi un certain nombre d'inconvénients :

- La conservation de résidus de culture potentiellement contaminés augmente les risques de fusarioses qui, au-delà de leur impact sur le rendement, sont à l'origine de la dégradation de la qualité sanitaire des céréales (production de mycotoxines) ; ce problème n'est toutefois cantonné qu'aux précédents maïs et sorgho ;
- Persistance des ornières et zones tassées si celles-ci ont été créées ;
- Diminution de la porosité de l'horizon de surface (Carof 2008), ce qui peut induire des risques de tassement ;
- La vitesse de ressuyage du sol est plus lente au printemps, d'où des difficultés potentielles lors de l'implantation de cultures telles que le pois de printemps ou le tournesol (Viloingt et al., 2006) ;
- La vitesse de minéralisation du sol est ralentie par rapport à des situations avec labour (Germon, 1991) ; la fertilisation azotée peut donc être augmentée ;
- Evolution de la flore adventice du sol ; la suppression du labour se traduit par une plus grande dépendance aux herbicides (Melander et al., 2012) ;
- Accumulation des éléments phosphore en surface, ce qui induit des risques de ruissellement accrus sur les terrains superficiels (Labreuche et al., 2007) et une nutrition plus sensible aux conditions hydriques (risques de carence PK associée à la sécheresse).
- L'absence de perturbation du sol favoriserait les processus de dénitrification, N20 et NH3 (Labreuche, 2011) ; et le développement de nuisibles tels que les campagnols des champs, les limaces, etc. (Carof, 2008) ;
- L'absence de fragmentation du sol favorise les risques d'anoxie et les émissions de N20 par dénitrification, pénalisant le bilan global en terme d'émissions de GES (cf. Encadré 1.2) ;

- Comme pour la pratique élémentaire précédente « pratiquer le non labour avec travail superficiel du sol », l'impossibilité du recours au labour dans le cas où la situation pourrait l'exiger rend cette pratique plus sensible aux aléas, notamment climatiques.

Encadré 1.2

Les émissions de GES liées au travail du sol

Les sols (agricoles) jouent un rôle important en matière de bilan GES de l'agriculture. Les émissions nettes de GES des sols varient considérablement en fonction du climat, du type de sol, des pratiques mises en œuvre, etc. Aujourd'hui encore, trop peu nombreuses sont les études qui mesurent sur le long terme l'impact du type de travail du sol sur l'action simultanée des trois principaux GES (CO_2, N_2O et CH_4).

Séquestration de carbone

D'après les résultats d'études visant à mesurer l'impact des techniques sans labour sur le stockage de carbone dans le sol, il apparaît que ces dernières modifient à la fois la concentration et la distribution des particules organiques de carbone dans le sol. A partir de la discussion de plusieurs études, Baker *et al.* (2007) aboutissent à la conclusion suivante : les travaux qui concluent à une augmentation de la séquestration de carbone dans les sols en non labour correspondent à des mesures à une profondeur inférieure à 30 centimètres ; les rares travaux qui vont au-delà de cette profondeur n'ont pas montré d'accumulation de carbone.

Le non travail du sol se traduit par une modification de la distribution du carbone dans le sol en le concentrant plus particulièrement au voisinage de la surface. A l'inverse, les sols travaillés plus en profondeur présenteraient des taux de carbone organique supérieurs au non labour dans les horizons profonds du sol. Ainsi, d'après les essais menés par Blanco-Canqui *et al.* (2008) sur plusieurs sites et jusqu'à 60 cm de profondeur, les sols en non labour présentaient des concentrations en carbone supérieures en surface mais équivalentes sur l'ensemble du profil ; d'autres études ont confirmé ces résultats en montrant même des stockages totaux plus élevés en situation labourée (Christopher *et al.* 2009).

Emissions de N_2O

En ce qui concerne les émissions de N_2O, les quelques études réalisées montrent une forte variabilité spatiale et temporelle. L'humidité et le taux de compactage des sols sont connus pour favoriser les émissions de N_2O (Ball *et al.* 2008 ; Rochette 2008 ; Almaraz *et al.* 2009). Plusieurs études ont ainsi montrée des taux de dénitrification et d'émissions de N_2O supérieurs en non labour à cause de la plus forte rétention d'humidité liée au non travail du sol (Christian et Ball 1994 ; Vinten *et al.* 2002 ; Oorts *et al.* 2007 ; Ball *et al.* 2008 ; Regina et Alakukku 2010). A partir d'un suivi pluriannuel sur différents sites, Six *et al.* (2004) ont montré que les émissions de N_2O augmentaient pendant les 10 premières années et diminuaient au bout de 20 ans.

Il apparait ainsi, très clairement, que des études supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les multiples interactions qui existent entre le type de travail du sol, le statut hydrique, le cycle de l'azote, la température, l'aération, etc. ; interactions qui conditionnent les flux de N_2O dans le sol.

Emissions de CO_2

Via la réduction des opérations de travail du sol, le non labour permet de réaliser des économies substantielles de carburant (Labreuche *et al.* 2012) et de réduire les émissions de $C0_2$ associées à ce poste des charges variables. Tebrügge et Böhrnsen (1997) ont calculé une économie de 37 litres par hectare, soit une réduction de 84 % de carburant, entre un travail du sol conventionnel et un semis direct sans labour. D'après Tebrügge (2001), à partir d'un éventail de différents types de sols, une économie moyenne de 40 litres par hectare peut permettre une réduction de 41 kg CO2-C /ha chaque année.

Dans le sol, les flux de CO_2 en non labour sont généralement inférieurs à ceux mesurés en situation de travail du sol conventionnel (Sanchez *et al.* 2002 ; Vinten *et al.* 2002 ; Chatskikh et Olesen 2007). Les résultats présentent néanmoins une grande variabilité. En France, des résultats contraires ont pu être observés par Oorts *et al.* (2007) ; la décomposition des résidus à la surface du sol et les conditions climatiques (chaudes pour la saison) pourraient expliquer ce phénomène.

Emissions de CH_4

Il y a peu de de données européennes sur le thème. Ball *et al.* (1999) ont montré que les phénomènes d'oxydation du méthane étaient légèrement plus importants en non labour, mais à des taux trop faibles pour avoir un impact réel sur le bilan GES. D'autres études ont confirmé ce résultat, tout en minimisant également l'impact global des émissions de CH_4 sur le bilan des GES (Ussiri *et al.* 2009 ; Alluvione *et al.* 2009 ; Regina et Alakukku, 2010).

Effet global du non labour sur les émissions nettes de GES

Plusieurs auteurs ont indiqué que l'augmentation des flux de certains GES, notamment de N_2O, en conditions de non travail du sol pourrait contrebalancer la séquestration potentiellement plus importante de carbone dans les sols (Oorts *et al.* 2007 ; Smith et Conen 2004). Les sols hydromorphes, non drainés et à fine texture, seraient les plus sensibles à une hausse du bilan des GES (Rochette 2008).

A la lumière de cette synthèse le non labour et plus généralement le travail simplifié du sol n'apparaissent pas comme le remède miracle pour réduire les émissions agricoles de GES. Une meilleure appréciation des cycles de l'azote et une bonne gestion des éléments minéraux sont indispensables pour limiter les émissions de N_2O et améliorer le bilan global GES. Snyder *et al.* (2009) concluent qu'il n'y pas de réponse claire – positive ou négative – quant à l'intérêt de généraliser le non labour pour améliorer le bilan GES de l'agriculture.

B1.5 - Pratiquer le sous-solage ou décompactage occasionnel

Un travail du sol profond sans retournement, ou sous-solage, vise à restaurer la macroporosité du sol lorsque celle-ci est dégradée en profondeur (c'est à dire au-delà de la profondeur classique de labour) et qu'elle ne peut pas être restaurée uniquement par l'action du climat (alternances de phases de gel et de dégel, et/ou d'humectation et de dessiccation) ou l'activité biologique (exploration racinaire, macroorganismes du sol, etc.). C'est typiquement l'opération à conduire dans le cas d'une « semelle de labour », c'est-à-dire lors de la présence d'une zone de compaction importante à la base de l'horizon travaillé par la charrue.

Les effets recherchés *via* le recours à cette pratique élémentaire sont assez proches de ceux du labour systématique, à la différence notable que le travail profond sans retournement ne permet pas l'enfouissement des graines d'adventices tombés au sol et des résidus de culture. L'impact sur la consommation d'herbicides est donc jugé neutre. La consommation de carburant et la charge de travail sont légèrement diminuées par rapport au labour car les outils de cette pratique élémentaire permettent des débits de chantier supérieurs au labour systématique.[3]

Relativement au labour systématique, pratiquer un sous-solage ou un décompactage occasionnel permet d'améliorer la structure du sol en profondeur sans perturbation marquée de l'horizon supérieur, ce qui permet de limiter les risques de battance et de phénomènes érosifs (*via* la conservation des résidus du précédent en surface), et de maintenir le taux de MO (de la couche supérieure). Un autre intérêt de cette pratique élémentaire réside dans la possibilité de réaliser un travail de restructuration du sol lorsqu'il est nécessaire grâce à des outils moins gourmands en temps de travail et en carburant que la charrue. C'est donc une opération « sécurisante » pour l'agriculteur et la sensibilité aux aléas climatiques est réduite.

En cas d'épandage d'éléments fertilisants organiques, le travail profond sans retournement présente des risques accrus de volatilisation d'ammoniac dans l'atmosphère par rapport au labour qui permet l'enfouissement de ces éléments.

[3] Relativement aux techniques simplifiées de travail du sol qui seront analysées plus loin, la consommation de carburant est supérieure.

B2 - Couverture du sol

B2.1 - Laisser les résidus de récolte à la surface du sol

Cette pratique élémentaire consiste à maintenir et restituer les résidus de culture en surface par une absence de labour ou de travail d'enfouissement profond des résidus.

La conservation des résidus à la surface du sol permet de se passer d'une ou de plusieurs opérations d'enfouissement du précédent cultural, opérations gourmandes en énergie et en temps. Les performances « consommation directe d'énergie », « charges variables » et « temps de travail » sont donc améliorées. La pratique élémentaire permet également de limiter la levée des graines d'adventices lorsque le paillage est suffisamment épais (De Tourdonnet *et al.*, 2008) ; des économies d'herbicides sont donc possibles.

La couverture du sol par les résidus permet une meilleure rétention de l'humidité du sol, ce qui peut être un avantage dans les régions souffrant d'un déficit hydrique chronique (Viloingt *et al.*, 2006). Elle permet aussi un enrichissement du taux de MO et de l'activité biologique du sol (Soane *et al.*, 2011). La création d'un « barrage physique » permet de lutter efficacement contre les phénomènes érosifs (Labreuche *et al.*, 2007), notamment en limitant l'intensité du splash[4] et la vitesse du ruissellement.

A l'inverse, la conservation des résidus à la surface du sol peut augmenter les risques de contaminations fongiques, d'où une augmentation possible de l'utilisation de fongicides. Ces résidus sont en outre un habitat favorable aux limaces qui peuvent entraîner de lourds dégâts sur les cultures (Carof, 2008). Le réchauffement du sol au printemps étant ralenti (Viloingt *et al.*, 2006), le positionnement de la semence est plus délicat, ce qui peut induire des difficultés d'implantation de certaines cultures de printemps (maïs et tournesol par exemple).

B2.2 - Laisser les repousses du précédent

Il s'agit de favoriser le développement et la croissance des repousses pour piéger l'azote disponible avant le début du lessivage et limiter la quantité de nitrate lixivié en automne et en hiver. Des repousses bien « développées » et homogènes peuvent avoir un effet comparable aux cultures intermédiaires semées à cette fin, par exemple la moutarde ou l'avoine.

Les avantages de laisser les repousses du précédent peuvent être ainsi résumés :

- L'agriculteur économise le coût d'achat des semences d'un couvert et son implantation, d'où une réduction des charges variables relativement à la pratique élémentaire « implanter des couverts végétaux d'interculture » ;
- Recyclage des éléments minéraux du sol qui pourront être remobilisés par la culture suivante (effet CIPAN - Culture Intermédiaire Piège à Nitrate), les apports d'engrais azotés pourront ainsi être réduits l'année suivante, d'où un impact positif sur les deux performances « consommation indirecte d'énergie » et « émissions de nitrates » ;
- Protection du sol contre les phénomènes érosifs et les pollutions diffuses liées à des usages excessifs de nitrate, de phosphore et de pesticides (Justes *et al.,* 2012) ;

Les deux inconvénients de la pratique élémentaire sont :

- Répétition du début de cycle de la culture précédente et donc risques de favoriser les mêmes bioagresseurs : l'utilisation de produits phytosanitaires peut donc être augmentée ;

[4] Terme désignant l'impact des gouttes d'eau sur un sol nu.

- En situation de déficit hydrique, la culture de rente suivante pourra souffrir de l'eau utilisée par le couvert spontané.

B2.3 - Implanter des couverts végétaux d'interculture à fonction agroécologique[5]

Cette pratique élémentaire consiste à implanter un couvert pendant l'interculture, couvert qui va capter de l'azote minéral avant l'entrée en période de drainage (automne et hiver) et ainsi limiter sa lixiviation (Labreuche, 2011 ; Justes *et al.*, 2012).

Cette pratique élémentaire présente plusieurs avantages :

- Fixation de l'azote minéral résiduel du sol et limitation des pertes par lixiviation lors des périodes de drainage ; les performances relatives aux risques de transferts des éléments nitrate et phosphore sont donc améliorées ; de même pour la performance « consommation indirecte d'énergie » au travers de l'économie d'utilisation d'engrais azotés ;
- Protection des sols sensibles contre l'érosion hydrique et amélioration de leur état structural ; enrichissement du sol en MO ;
- Séquestration de carbone et d'azote organiques dans le sol et donc, effet globalement positif sur les émissions de GES qui sont diminuées (Justes *et al.,* 2012) ;
- Selon Justes *et al.* (2012), le bilan des effets des couverts d'interculture sur les bioagresseurs est également globalement positif sous le double jeu, d'une part, d'un effet de compétition et de propriétés parfois allélopathiques du couvert qui limitent les adventices et les ravageurs telluriques, et, d'autre part, des effets biocides de certaines crucifères qui régulent certains nématodes nuisibles.

Elle présente également des inconvénients :

- Coût d'implantation et de destruction du couvert, ce qui entraîne une dégradation des différentes performances économiques de l'exploitation : rentabilité, VA, EBE, RCAI (Labreuche, 2011) ;
- Consommation d'eau potentiellement handicapante pour la recharge hivernale des nappes ou en situation de déficit hydrique au niveau de la culture suivante ;
- Augmentation du temps de travail au travers de la conduite du couvert d'interculture (semis et destruction).
- Création de conditions favorables au développement de certains bioagresseurs comme les limaces.

B2.4 - Implanter une culture dérobée

Cette pratique élémentaire consiste à implanter une culture dite dérobée entre deux cultures principales de la rotation ; elle se distingue de la précédente (« Implanter des couverts végétaux d'interculture à fonction agroécologique ») par le fait qu'il y a ici un objectif de valorisation de la production de cette culture dérobée.

Les avantages de la pratique élémentaire sont les suivants :

- Augmentation de la production de biomasse annuelle sur la parcelle ;
- Selon le type de valorisation (vente ou utilisation directe sur la ferme) et la maîtrise des charges variables, possibilité de gains économiques avec alors amélioration de la rentabilité et des soldes de gestion (VA, EBE, RCAI) ;
- Couverture prolongée du sol et donc diminution des risques d'érosion et de transferts de polluants par ruissèlement ;

[5] Il s'agit de couverts végétaux qui remplissant des fonctions « agronomiques » telles que le piégeage du nitrate, ou l'amélioration des propriétés du sol, et des fonctions « écologiques » telles que la fourniture de nutritives pour les insectes pollinisateurs.

- Diversification de la rotation et des productions, ce qui induit des bénéfices indirects en termes de protection phytosanitaire ;
- Moindre sensibilité aux aléas, climatiques et économiques, *via* la diversification des productions et donc des sources de revenus.

Ses principaux inconvénients sont :

- Augmentation des charges opérationnelles (semences, engrais et produits phytosanitaires) ;
- Augmentation de la consommation de ressources naturelles fossiles (énergie, engrais, éventuellement eau d'irrigation) ;
- Augmentation de l'IFT annuel sur la parcelle où est implantée la culture dérobée et donc, augmentation des usages de produits phytosanitaires ;
- Augmentation des risques de tassement, notamment au moment de la récolte ;
- Augmentation de la charge de travail de l'agriculteur.

B2.5 - Enherber les inter-rangs

Cette pratique élémentaire consiste à implanter un couvert pluriannuel entre les rangs de la culture de rente pour assurer une couverture du sol inter-rangs qui limitera le développement d'adventices et pourra capter, voire fournir, des éléments minéraux pour la culture de rente.

Les avantages de la pratique élémentaire sont les suivants :

- Protéger le sol contre les phénomènes érosifs et les pertes d'éléments par lixiviation et/ou ruissellement ;
- Limiter le développement des adventices par concurrence sur l'eau et la lumière ;
- Fourniture d'azote dans le cas où l'enherbement est réalisé au travers d'une légumineuse ;
- Réduction des opérations de travail du sol et par suite, économies d'énergie et de temps de travail ;
- Séquestration de carbone organique dans le sol et donc, diminution des émissions de GES.

Ses principaux inconvénients sont :

- Risques de concurrence pour la culture principale si le couvert « prend le dessus » ;
- Augmentation de la surface évapo-transpirante et donc accroissement des risques de déficit hydrique en conditions sèches.

Les résultats économiques (rentabilité et soldes de gestion) de cette pratique élémentaire sont ici considérés comme étant ambigus du fait que l'enherbement des inter-rangs peut certes permettre des économies d'intrants chimiques (engrais azotés et produits phytosanitaires), mais également peut entrainer une réduction de la production finale. La variabilité des résultats économiques dépend des importances relatives de ces deux facteurs antagonistes.

C - Eléments-clefs à retenir

C1 - Vis-à-vis des performances productives : des classements variables

Du point de vue des niveaux de production atteints par les cultures, le classement des diverses modalités de travail du sol et gestion de son état de surface, dépend de très nombreux facteurs locaux

et circonstanciels, liés aux conditions pédoclimatiques, à la culture et à ses conditions d'implantation, à l'histoire culturale, à la technicité de l'agriculteur, etc. De façon schématique, les situations défavorables au non labour concernent avant tout :

- Les cultures pour lesquelles la qualité d'implantation est déterminante vis-à-vis du rendement : il s'agit avant tout des cultures a semis de précision et faible densité (betterave, maïs, tournesol), ayant de faibles capacités à compenser un déficit de densité de peuplement ;
- Les situations pédoclimatiques et culturales où interviennent des risques importants de compactage et formation d'ornières, qui se trouvent précisément être en partie les mêmes que précédemment citées ;
- Certaines cultures, dont l'implantation est particulièrement délicate (espèces légumières à semences de très petites taille par exemple) où dont les organes récoltés se forment sous terre, impliquant un état structural émietté (betterave, pomme de terre, carotte), se prêtent difficilement au non-labour.

La conjonction de ces différents critères rend compte de l'hétérogénéité de répartition des surfaces françaises en techniques de travail simplifié du sol : leur développement est particulièrement marqué dans les régions où prédominent les cultures de blé, colza, orge d'hiver, semées en début d'automne et récoltées en début d'été.

En dehors de ces aspects physiques, les aspects phytosanitaires sont globalement (mais là encore de façon très aléatoire) plutôt défavorables au non-labour : le non labour avec travail superficiel et le semis direct sont susceptibles de favoriser le maintien de spores de pathogènes ou de graines d'adventices à la surface du sol : ces deux pratiques élémentaires peuvent donc entraîner des problèmes sanitaires sur les cultures suivantes ; ce risque est accentué dans le cas de monocultures conduites en non labour ou en semis direct. L'enfouissement profond des graines d'adventices n'étant plus possible, une utilisation accrue d'herbicides et une multiplication d'opérations de travail superficiel (pratique du faux semis) peuvent être associées à la suppression du labour.

Mise à part la pratique élémentaire « implanter une culture dérobée » qui accroît la production annuelle globale, les autres pratiques élémentaires de la pratique couverture du sol ont des impacts variables à négatifs sur le rendement. Couvrir le sol peut en effet entraîner des difficultés d'implantation pour les cultures de printemps du fait des obstacles mécaniques créés par le mulch végétal, du défaut d'ameublissement du lit de semence, ou d'un réchauffement plus lent. Des impacts sur la qualité sanitaire peuvent apparaître si les résidus laissés à la surface du sol sont sources de contaminations pour les cultures suivantes.

C2 - En corollaire, une forte variabilité des classements des performances économiques en fonction des types de sol et des cultures implantées

Les impacts des différentes pratiques élémentaires de la pratique de travail du sol sur les performances économiques varient en fonction du milieu pédoclimatique, de la maîtrise technique de l'agriculteur, de la qualité de son matériel, des cultures implantées, etc. La baisse des charges de mécanisation, parfois importante suite à la simplification du travail du sol, peut être corrigée par une baisse trop forte des rendements si les conditions nécessaires à la réussite de ces techniques ne sont pas réunies et/ou mises en œuvre de façon optimisée. La simplification des opérations de travail du sol permet néanmoins, de réduire les charges opérationnelles et les temps de travaux liés à ce poste d'activité. Elle entraîne une modification du calendrier de travail qui peut être intéressante pour l'agriculteur. Quant à l'ampleur du parc matériel, et à ses conséquences en termes d'amortissement et d'endettement, l'effet positif potentiel ne se réalise que si l'agriculteur va jusqu'à se séparer de la charrue et des plus gros tracteurs, situation assez rare puisqu'elle implique soit l'adoption définitive et totale du non-labour, soit la mise en commun du parc matériel avec d'autres.

Il en est de même pour les performances économiques des pratiques élémentaires de couverture du sol qui dépendent, elles aussi, fortement du milieu pédoclimatique dans lequel les couverts sont intégrés, et de la valorisation (potentielle) de ces couverts. Des économies d'intrants (engrais minéraux, produits phytosanitaires et eau d'irrigation) sont envisageables, mais de nouvelles contraintes techniques apparaissent qui réduisent et peuvent annuler les bénéfices précédents. C'est pourquoi il est particulièrement important de réfléchir à la mise en œuvre de ces pratiques élémentaires de couverture du sol en fonction des potentialités locales de chaque milieu et en fonction des types de couverts et de cultures de rente (Justes *et al.,* 2012).

C3 - Impacts sur la consommation de ressources naturelles

Les consommations énergétiques directes (fioul) sont toujours plus faibles dans des systèmes avec travail simplifié du sol relativement à des itinéraires avec travail profond ; les écarts sont plus ou moins importants selon le type de sol, la profondeur du labour et la fréquence des opérations (Soane *et al.,* 2011).

La couverture du sol par les résidus de récolte contribue à limiter les phénomènes d'évaporation, ce qui peut réduire les consommations d'eau d'irrigation (de quelques dizaines de mm/an). Par contre, la couverture du sol par une culture supplémentaire (couverts végétaux d'interculture, culture dérobée, enherbement des inter-rangs) peut exercer une concurrence pour la ressource hydrique à des moments où celle-ci est peu disponible, et réduire la recharge hydrique des aquifères de quelques dizaines de mm/an, ce qui peut s'avérer non négligeable dans des situations fréquentes au sein du Bassin Parisien, où la lame drainante est de l'ordre de 200-250 mm/an.

De façon générale, un itinéraire technique incluant une culture dérobée sera plus gourmand en ressources naturelles fossiles (énergie directe et indirecte, eau, phosphore), inconvénient qui peut être compensé par des bénéfices environnementaux (cf. infra).

C4 - Impacts sur les performances environnementales

La simplification du travail du sol et sa couverture par un couvert mort (résidus du précédent) ou vivant (repousses du précédent, couvert d'interculture, culture dérobée ou enherbement des inter-rangs) permettent de réduire significativement les phénomènes d'érosion et de ruissellement (Soane *et al.,* 2011). Des problèmes de compactage peuvent néanmoins apparaître sur des sols hydromorphes et non travaillés pendant l'automne dans des itinéraires techniques sans labour ou avec semis direct avec des conséquences négatives sur le ruissellement et les émissions de N_2O. Le risque de lessivage de l'azote est peu corrélé avec la modalité de travail du sol ; mais il est fortement réduit en cas d'implantation d'une culture intermédiaire. L'impact sur le phosphore est variable : du fait de la moindre incorporation des engrais au sol dans les situations de non-labour, les risques d'entraînement de phosphore dissous par ruissellement y sont considérés comme plus élevés ; en revanche la protection du sol par les résidus non enfouis et la réduction des risques d'arrachement et d'érosion qui en résultent, réduisent les risques d'entraînement de phosphore particulaire.

On soulignera ici le trade-off entre la simplification du travail du sol et l'utilisation augmentée de produits phytosanitaires, herbicides en particulier. Concrètement, l'extension du travail simplifié du sol est allée de pair, dans les pays où il s'est développé, avec la mise sur le marché de variétés tolérantes aux herbicides, notamment des variétés génétiquement modifiées. Cette association de pratiques élémentaires présente certes des avantages (gain de temps, économies de carburant, réduction des doses d'herbicides à court terme, etc.), mais aussi des inconvénients, notamment dans une perspective dynamique (apparition de résistances spontanée, diffusion du caractère aux adventices appartenant aux espèces inter-fertiles, etc. ; cf. Beckert *et al.,* 2011).

Les techniques simplifiées du travail sol se développent également en France (selon l'ESCO VTH (2012), le non labour représentait, en 2006, 34 % des surfaces de grandes cultures et plus de 50 % des surfaces dans les exploitations de grandes cultures de plus de 300 hectares). Simplification des assolements, raccourcissement des rotations, simplification du travail du sol, réduction du temps de travail à l'hectare vont souvent de pair avec des problèmes augmentés de désherbage que le recours à des pesticides (herbicides) et à des variétés tolérantes aux herbicides permettent d'adresser, mais avec les inconvénients liés aux utilisations potentiellement excessives de produits phytosanitaires et le développement de phénomènes de résistances, notamment en cas de déploiement à large échelle et non contrôlé des variétés tolérantes aux herbicides.

Les impacts du travail du sol sur les émissions nettes de GES dépendent fortement des conditions locales : elles varient considérablement en fonction du climat et des pratiques culturales. D'après plusieurs résultats européens, le stockage de carbone dans les sols serait favorisé par le non labour, mais à des niveaux variables selon les pays.

Sur la période 1970-1998, les stocks de carbone des sols de l'expérimentation de Boigneville sont passés de 39,9 à 42,7 t C/ha avec le labour, de 39,9 à 45,6 t C/ha avec le travail superficiel, et de 40,3 à 45,5 t C/ha avec le semis direct sans labour. Ces chiffres représentent une augmentation annuelle moyenne annuelle de, respectivement, 99, 205 et 187 kg C/ha/an. Comparé au labour, le travail superficiel a évité le rejet atmosphérique de 106 kg C/ha/an sur les 30 années de l'expérimentation et le semis direct a évité le rejet atmosphérique de 88 kg C/ha/an. Ces valeurs se situent dans le bas des fourchettes de valeurs du stockage de carbone de la littérature internationale (Arrouays *et al.,* 2002 ; Métay *et al.,* 2009) ; elles suggèrent l'idée que sous nos conditions de sol et de climat, le stockage de carbone par les sols en TCSL est faible, nettement plus faible que ce qui est couramment indiqué (Bellamy *et al.,* 2005 ; Constantin *et al.,* 2010 ; Powlson *et al.,* 2011).

Pour ce qui est des émissions de N_2O, les mesures obtenues suggèrent également une forte variabilité spatiale et temporelle. De plus, l'effet favorable de stockage de carbone observé en travail simplifié peut être en grande partie, voire totalement, gommé par l'effet défavorable d'émissions de N_2O augmentées dans les sols non labourés si leur compacité est trop élevée (Labreuche *et al.,* 2011).

En ajoutant les réductions d'émissions de CO_2 liées à un moindre recours à la mécanisation et aux économies de carburant, Labreuche *et al.* (2012) concluent, mais sur la base d'observations limitées à un seul site, que les techniques simplifiées de travail du sol améliorent le bilan d'émissions de GES de l'ordre de 200 kg de CO_2/ha/an, ce qui représente une réduction de 13 à 16 % relativement au labour.

C5 - Impacts sur les performances sociales

De façon générale, la simplification du travail du sol permet de réduire la charge et le temps de travail, ainsi que le parc matériel de l'agriculteur notamment dans les itinéraires sans labour et/ou avec semis direct. D'autre part, ces pratiques élémentaires demandent parfois plus de technicité et elles sont sources d'imprévus pour l'agriculteur qui se lance dans ces démarches. L'implantation de couverts peut, à l'inverse, être plus exigeante en temps de travail.

C6 - Synthèse

C6.1 - Pratique Travail du sol

Aux avantages en matière d'utilisation moindre des ressources naturelles (énergie, eau), de protection de la ressource sol (diminution des risques d'érosion), de maintien du taux de MO et du stock de C, et de

protection de la biodiversité (moindre perturbation de l'écosystème), s'opposent des inconvénients en matière d'utilisation de produits phytosanitaires, d'émissions de phosphore (dès lors qu'il n'y a plus labour), de N_2O et d'ammoniac et de moindre maîtrise de l'implantation des cultures ; les résultats économiques sont ambigus, sauf au niveau de l'endettement qui diminue ; la charge de travail a également tendance à baisser. Quant au bilan GES de la simplification du travail du sol, il apparaît aujourd'hui au mieux encore trop incertain (cf. Encadré 1.2) pour en recommander la généralisation, encore moins le subventionnement, au titre de la réduction des émissions agricoles nettes de GES.

C6.2 - Pratique Couverture du sol :

De façon générale, la couverture du sol apparaît comme une pratique qu'il est possible de recommander au titre de ses bénéfices environnementaux, à l'exception possible mais notable de l'utilisation de produits phytosanitaires et localement de la ressource en eau si la couverture du sol est assurée par un couvert vivant. Si les chiffres confirment la faible importance de cette pratique en France aujourd'hui (sur la base de l'enquête Pratiques culturales de 2006, chiffres qui datent mais les résultats de la dernière enquête Pratiques culturales ne sont pas encore disponibles à la date de réaction de cette synthèse, ce sont uniquement 7,8 % des parcelles qui ont été implantés avec une CIPAN et 20 % qui portent des repousses du précédent cultural), se pose alors la question des mesures à proposer pour favoriser le développement de la couverture du sol. Les principaux inconvénients recensés ont trait au temps de travail (augmentation) et à des incertitudes en termes de résultats économiques. Ce sont sur ces deux freins qu'il convient de jouer en priorité, si l'objectif est d'étendre cette pratique. La question de la charge de travail ne doit pas être surestimée dans la mesure où cette charge n'est pas globalement rédhibitoire en grande culture ; elle pourra être adressée *via* la formation des agriculteurs, la mise à disposition de ces derniers de référentiels déclinés en fonction de la géographie et des types de couverts et de cultures de rente, et un conseil adapté, lui aussi décliné selon les caractéristiques définies supra. L'ambiguïté des performances économiques pourrait être, en partie du moins, adressée *via* l'octroi d'aides ciblées en cas de preuve avérée de baisse dans le cadre d'un contrat pluriannuel, de type Mesure Agri-Environnementale à la différence toutefois que l'aide octroyée ne le soit qu'ex post et s'il y a effectivement diminution des soldes de gestion (VA, EBE et/ou RCAI).

C6.3 - Des pratiques élémentaires aux systèmes :

Il reste que les pratiques élémentaires de couverture du sol améliorent de nombreuses performances environnementales mais en détériorent potentiellement une : l'utilisation des produits phytosanitaires. Il conviendrait donc de contraindre le subventionnement « contra-cyclique » décrit ci-dessus à l'obligation de mise en œuvre simultanée de pratiques élémentaires de protection des cultures qui permettraient de contenir cette augmentation du recours aux produits phytosanitaires. Apparaît ici, de façon claire, le lien entre, d'une part, la pratique Couverture du sol, et, d'autre part, la MP Protection phytosanitaire des cultures et les différentes pratiques élémentaires qui la composent ; lien qui sera étudié plus loin dans le cadre de l'analyse des différentes pratiques élémentaires qu'il convient de mettre en œuvre simultanément (ou inversement, de ne pas mettre en œuvre de façon jointe) dans la perspective de définitions de systèmes et d'appréciation de leurs performances économiques, environnementales et sociales. La remarque s'étend à l'utilisation conjointe de pratiques élémentaires de travail de sol, de sa couverture, du choix des espèces et variétés sous l'angle de la génétique et de la diversification, de la protection phytosanitaire, sans oublier les matériels et équipements.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie									
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité
Travail du sol et gestion de l'état de surface	Travail du sol	Labourer systématiquement (fréquence >= 1 an sur 2)	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Pratiquer le sous-solage ou décompactage occasionnel	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Travailler superficiellement et labourer (fréquence < 1 an sur 2)	+/-	=	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Pratiquer le non labour avec travail superficiel (< 15 cm)	+/-	=/-	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	+	=
		Pratiquer le semis direct sans labour	+/-	=/-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	+	=
	Couverture du sol	Laisser les résidus de récolte à la surface du sol	+/-	=/-	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Laisser les repousses du précédent	=	=	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+/-	=	=/-	+/-	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	=	=	=
		Implanter une culture dérobée	+	=	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	=	=
		Enherber les inter-rangs	-	+/-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	=/+	+/-	=	=	=

			Ressources naturelles fossiles				Environnement							
			Energie		Quantité d'eau	Phosphore	Sol				Qualité de l'eau			
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires
Travail du sol et gestion de l'état de surface	Travail du sol	Labourer systématiquement (fréquence >= 1 an sur 2)	-	=	=	=	+	=/-	-	=	=	+	+/-	=
		Pratiquer le sous-solage ou décompactage occasionnel	=/-	=	=	=	+	=/+	=	=	=	=	+/-	=
		Travailler superficiellement et labourer (fréquence < 1 an sur 2)	+	=	=	=	=/+	+/-	=	=	=	+	+/-	=
		Pratiquer le non labour avec travail superficiel (< 15 cm)	+	=	=/+	=	=/-	+	+	=	=	-	+/-	=
		Pratiquer le semis direct sans labour	+	=	=/+	=	=/-	+	+	=	=	-	+/-	=
	Couverture du sol	Laisser les résidus de récolte à la surface du sol	+	=	=/+	=	=	+	+	=	+/-	+/-	+	=
		Laisser les repousses du précédent	=/+	=/+	+/-	=	=	+	+	=	+	=/-	+	=
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+/-	=/+	+/-	=	+	+	+	=	+	=/+	+	=
		Implanter une culture dérobée	-	-	=/-	=/-	+/-	=/+	=/+	=	+/-	=/-	+	=
		Enherber les inter-rangs	+	=/+	=/-	=	=/+	+	+	=	+	+	+	=

			Environnement								Dimensions sociales			
			Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Travail du sol et gestion de l'état de surface	Travail du sol	Labourer systématiquement (fréquence >= 1 an sur 2)	=/-	+	=	=	=	=	=	-	-	=	=	+/-
		Pratiquer le sous-solage ou décompactage occasionnel	=/-	=/-	=	=	=	=	=	=/-	=/-	=	=	+/-
		Travailler superficiellement et labourer (fréquence < 1 an sur 2)	=/+	+/-	=	=	=	=	=	+/-	=/+	=	=	+
		Pratiquer le non labour avec travail superficiel (< 15 cm)	+/-	-	=	=	=	=	=	=/+	+	=	=	+/-
		Pratiquer le semis direct sans labour	+/-	-	=	=	=	=	=	+	+	=	=	+/-
	Couverture du sol	Laisser les résidus de récolte à la surface du sol	+	=	=	=	=	=	=	+	+/-	=	=	=
		Laisser les repousses du précédent	+/-	=	=	=	=	=	=	=/+	+/-	=	=	=
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+	+	=	=	=	+	=	=	-	=	=	=
		Implanter une culture dérobée	+/-	=	=	=	=	+	=	+/-	-	=	=	=/+
		Enherber les inter-rangs	+	=	=	=	=	+	=	+	=/+	=	=	=

E - Références bibliographiques

ALLUVIONE F., HALVORSON A.D., DEL GROSSO S.J. 2009. Nitrogen, tillage and crop rotation effects on carbon dioxide and methane fluxes from irrigated cropping systems. J. Environ. Qual, 38, 2023–2033

ALMARAZ J.J., ZHOU X., MABOOD F., MADRAMOOTOO C., ROCHETTE P., MA B.L., SMITH D.L. 2009. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. Soil Tillage Res, 104, 134–139

BAKER J.M., OCHSNER T., GRIFFIS T.J. 2007. Impact of a cover crop on carbon and water balance of corn/soybean systems. In: The Fourth USDA Greenhouse Gas Conference, USDA, 06-08/02/2007, Baltimore (Etats-Unis)

BALL B.C., SCOTT A., PARKER J.P. 1999. Field N2O, CO2 and CH4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. Soil Tillage Res, 53, 29–39

BALL B.C., CRICHTON I., HORGAN G.W. 2008. Dynamics of upward and downward N2O and CO2 fluxes in ploughed or no-tilled soils in relation to water-filled pore space, compaction and crop presence. Soil Tillage Res, 101, 20–36

BECKERT M., DESSAUX Y., CHARLIER C., DARMENCY H., RICHARD C., SAVINI, I., TIBI A. 2011. Les variétés végétales tolérantes aux herbicides. Effets agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Expertise scientifique collective, CNRS-Inra (France), 430 p.

BLANCO-CANQUI H., LAL R. 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on-farm assessment. Soil Science Society of America Journal, 72, 693–701

BONAFOS A., LE BISSONNAIS Y., OUVRY J.F. 2007. Impact des TCSL sur le ruissellement et l'érosion. **In :** LABREUCHE J. (éditeur). Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturales Sans Labour (TCSL) en France. Rapport, ADEME, 178-249

CAROF M. 2008. Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum L.*) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. Thèse Inra/INA P-G. Ecole doctorale ABIES, 132 p.

CHAPELLE-BARRY C. 2008. Dans le sillon du non-labour. *Agreste,* 207, 4 p.

CHRISTIAN D.G., BALL B.C. 1994. Reduced cultivations and direct drilling for cereals in Great Britain. In: Carter M.R. (editor). Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems. Lewis Publishers, 117–140

CHATSKIKH D., OLESEN J.E. 2007. Soil tillage enhanced CO2 and N2O emissions from loamy sand soil under spring barley. Soil Tillage Res, 97, 5–18

CHRISTOPHER S.F., LAL R., MISHRA U. 2009. Regional study of no-till effects on carbon sequestration in the Midwestern United States. Soil Science Society of America Journal, 73, 207–216

DEBAEKE P., ORLANDO D. 1994. Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice : conséquences pour le désherbage à l'échelle de la rotation. **In:** MONNIER G., THEVENET G., LESAFFRE B. (éditeurs). Simplification du travail du sol. Inra (Ed), 35-62

DE TOURDONNET S., SHILI I., SCOPEL E. 2008. Utilisation des mulchs vivants pour la maîtrise de flores adventices. *Innovations Agronomiques*, 3, 43-48

FAO. 2011. Produire plus avec moins. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. FAO (Ed), 112 p.

GERMON J.C., TAUREAU J.C., THOMAS J.M. 1994**.** Effets des méthodes simplifiées de travail du sol sur les transformations de l'azote et leurs conséquences sur le lessivage des nitrates, Inra (Ed), 125-156

GERMON J.C, THÉVENET G. 2011. Implications agronomiques et environnementales des techniques culturales sans labour (TCSL) : trois contributions aux débats en cours. *Cahiers de l'Agriculture*, 20 (3), 183-185

JUSTES E., BEAUDOIN N., BERTUZZI P., CHARLES R., CONSTANTIN J., DÜRR C., HERMON C., JOANNON A., LE BAS C., MARY B., MIGNOLET C., MONTFORT F., RUIZ L., SARTHOU J.P., SOUCHERE V., TOURNEBIZE J., SAVINI I., RECHAUCHERE O. 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Synthèse du rapport d'étude, Inra (France), 60 p.

LABREUCHE J., LE SOUDER C., CASTILLON P., OUVRY J.F., REAL B., GERMON J.C. 2007. Évaluation des impacts environnementaux des techniques culturales sans labour en France. Rapport d'étude. ADEME (Ed), 400 p.

LABREUCHE J. 2011. Cultures Intermédiaires. Impacts et conduite. Arvalis-Institut du Végétal (Ed), 236 p.

LABREUCHE J., LELLAHI A., MALAVAL C., GERMON J.C. 2011. Impact des techniques culturales sans labour (TCSL) sur le bilan énergétique et le bilan des gaz à effet de serre des systèmes de culture. *Cahiers de l'Agriculture*, 20 (3), 204-215

LECLECH N. 2012. Travail du sol : simplifier au maximum peut payer. *Perspectives Agricoles*, 390, 22-28

MELANDER B., MUNIER-JOLAIN N., CHARLES R., WIRTH J., SCHWARZ J., VAN DER WEIDE R., JENSEN P., KUDSK P. 2012. European perspectives on the adoption of non-chemical weed management in reduced tillage systems for arable crops. *Weed Technology*, 27, 231-240

MONNIER G, THEVENET G., LESAFFRE B. (éditeurs). 1994. Simplification du travail du sol. Inra (Ed), 172 p.

OORTS K., LAURANT F., MARY B., THIEBEAU P., LABREUCHE J., NICOLARDOT B. 2007. Experimental and simulated soil mineral N dynamics for long-term tillage systems in northern France. Soil Tillage Res. 94, 441–456

OORTS K., BOSSUYT H., LABREUCHE J., MERCKX R., NICOLARDOT B. 2007. Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. Eur. J. Soil Sci, 58, 248–259

REGINA K., ALAKUKKU L. 2010. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. Soil Tillage Res, 109, 144–152

ROCHETTE P. 2008. No-till only increases N2O emissions on poorly-aerated soils. Soil Tillage Res, 101, 97–100

RODRIGUEZ A., BLAZIAN M.J., ESCHENBRENNER G., BERRODIER M., HUNTZ B., ABELLA M., LONGUEVAL C., HYPOLITE S., LECOMPTE V., ALLETTO L., DOUBLET S. 2012. Techniques Très Simplifiées d'Implantation des cultures. Synthèse du rapport, CAS-DAR, 16 p.

SANCHEZ M.L., OZORES M.I., COLLE R., LOPEZ M.J., DE TORRE B., GARCIA M.A., PEREZ I. 2002. Soil CO2 fluxes in cereal land use of the Spanish plateau: influence of conventional and reduced tillage practices. Chemosphere, 47, 837–844

SIX J., OGLE S.M., BREIDT F.J., CONANT R.T., MOSIER A.R., PAUSTIAN K. 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. Glob. Change Biol, 10, 155–160

SMITH K.A., CONEN F. 2004. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. Soil Use Manage, 20, 255–263

SNYDER C.S., BRUULSEMA T.W., JENSEN T.L., FIXEN P.E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agric. Ecosys. Environ, 133, 247–266

SOANE B.D., BALL B.C., ARVIDSSON J., BASCH G., MORENO F., ROJER-ESTRADE J. 2011. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Res*, 118, 66-87

TEBRÜGGE F. 2001. No-tillage visions—protection of soil, water and climate and influence on management and farm income. In: Garcia-Torres L., Benites J., Martinez-Vilela A. (editors). Conservation agriculture. A worldwide challenge. World Congress on Conservation Agriculture, Vol. 1, 303–316

TEBRÜGGE F., BÖHRNSEN A. 1997. Crop yields and economic aspects of no-tillage compared to plough tillage: Results of long-term soil tillage field experiments in Germany. In: Tebrügge F., Böhrnsen A. (editors). Experience with the Applicability of No-tillage Crop Production in the West-European Countries. Proc. EC Workshop-IV, Wissenschaftlicher Fachverlag, Langgöns (Allemagne), 25–43

TRIPLETT G.B., DICK W.A. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture. *Agronomy Journal,* 100, 153-68

USSIRI D.A.N., LAL R., JARECKI M.K. 2009. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. Soil Tillage Res, 104, 247–255

VILOINGT T., COUTURE D., BEETS B., RICHARD G. 2006. Semis sous couvert : La conduite de l'interculture a un impact sur les conditions de semis. *Perspectives Agricoles*, 320, 38-42

VINTEN A.J.A., BALL B.C., O'SULLIVAN M.F., HENSHALL J.K. 2002. The effect of cultivation method, fertilizer input and previous sward type on organic C and N storage and gaseous losses under spring and winter barley following long-term leys. J. Agric. Sci. Cambridge, 139, 231–243

F - Glossaire

Couvert permanent : espèce pérenne, en général de la famille des graminées ou des légumineuses (luzerne, trèfle, fétuque …), maintenue vivante au moins deux campagnes grâce au semis direct qui permet de la maintenir en place.

Couverture permanente : pratique qui consiste à laisser le sol couvert toute l'année à l'aide de végétaux vivants (cultures principales ou intermédiaires) ou de leurs résidus.

Culture dérobée : culture intermédiaire dont la finalité est la production de graines ou de fourrages sur un temps réduit.

Culture intermédiaire : culture implantée entre deux cultures principales, de façon à rendre un certain nombre de services agronomiques et écologiques, sans exportation de la biomasse produite.

Décompactage : travail profond sans retournement ni mélange qui restructure la couche arable sur une profondeur équivalente ou supérieure à celle du labour (15-40 cm).

Interculture : période, dans la rotation culturale, qui se situe entre la récolte d'une culture principale et le semis de la suivante ; une culture intermédiaire peut être implantée pendant cette période.

Labour : travail profond avec retournement du sol et mélange des horizons ; il vise la restructuration de la couche travaillée et l'enfouissement des adventices et de la matière organique (résidus et apports éventuels) ; il est traditionnellement réalisé entre 20 et 30 cm de profondeur, à l'aide d'une charrue à versoirs.

Pseudo-labour : opération profonde de restructuration (15-40 cm), avec mélange mais sans retournement du sol ; l'épaisseur de sol travaillée est équivalente à celle du labour ; les outils utilisés sont des machines à bêcher, des cultivateurs ou pulvériseurs lourds, des charrues à disques ou encore la charrue Express Perrein.

Sous-solage : travail profond qui vise à éclater les couches de sol inférieures au labour ; en cassant la couche peu perméable que constitue le fond de raie de labour, ce travail facilite le drainage et l'exploration des racines ; lent et exigeant en puissance de traction, le sous-solage profond se justifie dans des situations particulières : semelle de labour profonde, dépôts indurés, etc.

Travail en bande (strip till) : travail du sol uniquement sur une bande de quelques centimètres autour de la ligne de semis avec formation d'un petit billon pour faciliter la levée ; le travail en bande est parfois superficiel, mais il peut parfois inclure un travail plus profond, mélangeant plus ou moins les horizons.

Travail superficiel : opérations avec mélange mais sans retournement de l'épaisseur travaillée, qui n'excèdent pas 15 cm de profondeur ; le travail superficiel est scindé en deux classes (0-8 cm et 8-15 cm) ou trois classes (0-3 cm, 3-5 cm, et 5 cm et au-delà) ; la plupart des outils peuvent travailler sur ces trois plages ; on distingue par ailleurs plusieurs types de travail superficiel : déchaumage, reprise de labour, préparation du lit de semences, désherbage mécanique, etc.

CHAPITRE 2
GESTION DE L'EAU ET DE SA QUALITÉ

A - Introduction 34
B - Description par pratique élémentaire 36
C - Eléments-clefs à retenir 46
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 49
E - Références bibliographiques 50

CHAPITRE 2
Gestion de l'eau et de sa qualité

A - Introduction

La gestion de la ressource en eau se pose en termes de qualité et de quantité. La qualité de la ressource est apparue comme une préoccupation majeure dans les années 1980-90 en raison de l'état dégradé d'un grand nombre de cours d'eau et de nappes souterraines et a alors fait l'objet de nombreux travaux et mesures. Suite aux sécheresses récentes, les aspects quantitatifs ont à nouveau été sur le devant de la scène, sans oublier que gestion de la quantité et de la qualité de l'eau sont intimement liées. Relativement aux autres grands utilisateurs d'eau que sont l'industrie énergétique, les autres industries, les collectivités et les ménages, l'agriculture se caractérise par le fait que l'eau prélevée ne retourne pas (peu) aux cours d'eau mais est évaporée, *via* le processus d'évapotranspiration associé à la physiologie et la croissance des couverts végétaux.

Plus spécifiquement, 33 400 milliards de m^3 d'eau ont été prélevés en France en 2009, provenant pour 82 % des eaux de surface et 18 % des eaux souterraines. Sur ce total, 64 % ont été utilisés pour la production d'électricité, 17 % pour l'eau potable, 10 % pour les besoins de des autres industries que l'énergie et 9 % pour l'irrigation. Par ailleurs, environ 6 milliards de m3 d'eau, ce qu'on appelle la part consommée, ne retournent pas au milieu naturel ; cette part se répartissant à 48 % pour l'irrigation (soit un peu moins de 3 milliards), 24 % pour les usages domestiques, 22 % pour la production d'énergie et 6% pour les autres industries que l'énergie (Dubois, 2012).
Ainsi l'agriculture est de loin le secteur d'activité le plus consommateur d'eau, *a fortiori* si on ajoute à la consommation d'eau prélevée dans les masses d'eau, celle qui est consommée à partir des réserves des sols.

A1 - La gestion quantitative de la ressource en eau

Entre 1970 et 2000, les surfaces irrigables n'ont cessé d'augmenter en France : les terres équipées pour l'irrigation sont passées de 760 000 à 2 600 000 hectares. Initialement cantonnée dans les régions sèches du Sud de la France pour combler le déficit hydrique des cultures locales, l'irrigation s'est progressivement étendue à l'ensemble du territoire (y compris au Nord de la Seine) et à un plus large éventail de cultures. De plus en plus d'agriculteurs se sont alors équipés en systèmes d'irrigation afin de s'assurer d'une couverture contre les aléas climatiques et améliorer les rendements potentiels des cultures. Rappelons enfin que pour certaines productions sous contrat (légumes, pommes de terre, semences, etc.) l'irrigation est imposée dans les cahiers des charges.

En 2010, le maïs demeure, et de loin, la principale culture irriguée en France, représentant à lui seul près de la moitié des surfaces irriguées (41% pour le maïs grain semence et 7% pour le maïs fourrage). Après le maïs, les principales productions concernées par l'irrigation sont, en 2010 : le blé tendre (8% des surfaces irriguées), les légumes (7%), les vergers (6%) et le blé dur (5%) ; cf. Tableau 2.1.

Les terres équipées pour l'irrigation marquent aujourd'hui un recul. La surface des terres irrigables a diminué de 12% entre 2010 et 2000, et sa part dans la superficie agricole utilisée (SAU) a baissé pour

avoisiner les 9 %. La part des surfaces irriguées, dépendante en partie des variabilités climatiques interannuelles, demeure quant à elle relativement stable entre 2000 et 2010 à 6% de la SAU. Comme en 2000, un agriculteur sur six a aujourd'hui recours à l'irrigation (Agreste 2010).

Tableau 2.1 : *Importance de l'irrigation en France en fonction des cultures implantées, 2010*

Le maïs demeure en 2010 la première culture irriguée

Cultures	Surface de la culture millier d'hectares	Surface irriguée millier d'hectares	Taux d'irrigation %	% de la surface irriguée totale %
Maïs grain et maïs semence	1 616	646	40	41
Blé tendre	4 897	122	2	8
Blé dur	506	78	15	5
Autres céréales	2 207	74	3	5
Betterave industrielle	384	41	11	3
Tournesol	692	26	4	2
Soja	50	25	51	2
Protéagineux (pois, féverole…)	397	27	7	2
Maïs fourrage et autres cultures fourragères annuelles	1 435	106	7	7
Prairies temporaires artificielles et surfaces toujours en herbe (STH)	11 107	62	1	4
Légumes frais, fraise et melon (y compris serres)	202	118	59	7
Vigne	786	27	3	2
Agrumes	2	2	100	0
Vergers et petits fruits	167	99	60	6
Pommes de terre	154	62	40	4
Autres cultures (y compris serres)	1 726	60	3	4
Total France métropolitaine [1]	**26 325**	**1 575**	**6**	**100**

1. Hors surfaces en jachère, jardins et vergers familiaux.

Source : SSP – Agreste – Recensement agricole 2010

A1.1 - Place dans l'exploitation

En plus de sa dépendance aux conditions pédoclimatiques et à la disponibilité de la ressource en eau, la gestion quantitative de l'eau est à discuter en lien avec les pratiques de fertilisation (MP Gestion des éléments minéraux), de travail du sol (MP Travail du sol et gestion de l'état de surface) et de structure du peuplement végétal (MP Conduite des plantes et des peuplements végétaux). Cette gestion est aussi à considérer dans le cadre d'une gestion intégrée de la ressource en eau à l'échelle plus large d'un territoire afin de prendre en compte l'ensemble des demandes, des agriculteurs dudit territoire et des acteurs non agricoles de ce même territoire, et les équilibres entre demandes et offre d'eau.

Au sein de la gestion quantitative de l'eau, on distinguera les pratiques relevant :

- du choix des cultures et des variétés ;
- d'une recherche d'optimisation du pilotage de l'irrigation ;
- et d'une gestion de l'état de surface des sols pour limiter l'évaporation.

Selon l'expertise scientifique collective « sécheresse et agriculture » coordonnée par l'Inra en 2006, les coûts "privés" d'irrigation supportés par l'agriculteur irrigant varient fortement selon les cultures et les régions : 35-80 €/ha pour le sorgho, 43-106 pour le soja, 84-143 pour le maïs. Ces charges d'irrigation par hectare représentent de 12 à 20% des charges totales de l'exploitation, la part des charges fixes étant

prépondérante ; la redevance "prélèvement" versée aux Agences de l'Eau est modeste. Les coûts d'irrigation varient fortement, du simple au double, selon le mode d'accès à l'eau : pompage individuel, réseaux collectifs sous pression, gravitaire, etc. (Amigues *et al.,* 2006).

De ce fait, la définition de systèmes de production ayant recours à l'irrigation relève d'un choix stratégique à faible réversibilité, et les périodes de renouvellement du matériel d'irrigation ou de modernisation collective ou individuelle des réseaux sont des moments clé d'évolution de ces systèmes de production.

A1.2 - Place au sein du territoire

Les surfaces irriguées sont concentrées dans cinq régions administratives : Aquitaine, Midi-Pyrénées, Centre, Poitou-Charentes et Provence-Alpes-Côte-D'azur. Cette concentration sur un espace géographique relativement limité génère des situations de concurrence entre les différents usages et usagers de la ressource eau (agriculture, villes, loisirs, industries), avec une mobilisation accrue des citoyens dans des cadres associatifs et des élus sur cette question. L'eau destinée à l'irrigation représente environ 50% de l'eau consommée en France ; dans certaines régions, elle peut atteindre 80% des prélèvements effectués en période estivale. L'équilibre entre l'offre et la demande nécessite souvent des restrictions d'usage et plus spécifiquement des restrictions d'irrigation, les agriculteurs étant les principaux consommateurs d'eau en période d'étiage (Amigues *et al.,* 2006).

A2 - La gestion qualitative de l'eau

La gestion qualitative de l'eau répond à des enjeux de réduction des impacts de l'activité agricole sur la qualité de l'eau (essentiellement présence de résidus de pesticides, de nitrate, de phosphore et de médicaments vétérinaires). Ces enjeux sont étroitement liés aux pratiques et systèmes agricoles mis en œuvre, notamment les pratiques de fertilisation (MP Gestion des éléments minéraux), de protection phytosanitaire (MP Protection phytosanitaire), d'aménagement du paysage (MP Aménagement foncier), et de couverture du sol (MP Travail du sol et gestion de l'état de surface).

Au sein de cette gestion qualitative de l'eau, les principales pratiques mises en œuvre sont liées :

- au choix des successions de cultures (y compris les cultures « intermédiaires ») ;
- à la maîtrise des risques de ruissellement et de pollution des eaux de surface ;
- au raisonnement des intrants (engrais et pesticides) apportés sur les cultures ;
- et à l'aménagement du foncier et du paysage.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Choix des cultures

B1.1 - Choisir des assolements et des successions de cultures plus économes en eau

En l'absence d'irrigation, la clé de l'adaptation à la disponibilité en eau réside dans la diversification des cycles culturaux et des espèces afin de répartir les risques liés au manque d'eau et/ou disposer de solutions

d'esquive. Le choix des espèces est à adapter à la réserve utile (RU) du sol.[6] Dans les sols à faible RU, seules les cultures d'hiver (colza, blé ou orge), dont la phase de croissance active se déroule durant la période de faible demande évaporative, sont envisageables, en privilégiant les variétés à maturité précoce. Dans les sols moyennement profonds, l'introduction de cultures d'été peu sensibles à la sécheresse comme le tournesol ou le sorgho permet de diversifier la succession, de répartir les pointes de travail, d'atténuer les risques sanitaires et de réduire la sensibilité aux aléas climatiques. Dans les sols profonds de vallées et de plaines, les possibilités de diversification des cultures sont plus élevées encore (Debaeke *et al.*, 2008).

Dans les régions à fort déficit hydrique estival, il a été montré que le rendement du sorgho dépasse celui du maïs en l'absence d'irrigation. Le premier reste compétitif économiquement relativement au second dans les systèmes irrigués dès lors que les rendements du maïs ne dépassent pas 11 t/ha (selon Observatoire Arvalis dans Debaeke *et al.*, 2008). Même si l'agriculteur ne ressort pas gagnant économiquement toutes les années, la culture du sorgho diminue l'exposition aux risques de sécheresse, et il peut ainsi éviter de lourdes pertes lors des années les plus sèches. En dépit d'une productivité moindre par rapport au maïs en conditions hydriques non limitantes, le choix d'un assolement plus économe en eau peut se révéler payant lors des années les plus sèches.

L'économie d'eau d'irrigation se traduit par une baisse des charges variables et une amélioration de l'autonomie productive. Le choix de cultures moins gourmandes en eau et leur insertion cohérente dans la succession des cultures permet de réduire la consommation d'eau mais pas toujours de diminuer les utilisations d'engrais et de produits phytosanitaires, cette évolution étant très variable selon les espèces et variétés de substitution. Le moindre recours à l'irrigation se traduit également par une réduction de la consommation d'électricité pour le fonctionnement des matériels d'irrigation (pompes, moteur électrique, etc.).

Les impacts sont globalement positifs sur la biodiversité au travers d'une plus grande hétérogénéité des cultures, voire des paysages, et la présence d'une plus grande diversité des ressources pour les pollinisateurs pendant l'été. Les impacts sur le temps de travail et sa pénibilité sont variables selon les cultures retenues.

Au-delà du sorgho et du tournesol, d'autres possibilités de diversification des cultures existent : introduction d'autres cultures d'hiver, notamment des légumineuses (lupin, féverole, pois, etc.) et d'autres cultures d'été tolérantes à la sécheresse (par exemple, le carthame cultivé en Espagne et en Italie pour des usages industriels non alimentaires).

B1.2 - Choisir des variétés plus économes en eau

La stratégie d'esquive consiste à décaler les stades phénologiques les plus sensibles au déficit hydrique (pour le maïs, à partir de la sortie de la panicule jusqu'à trois semaines après la floraison femelle) par le choix de variétés précoces et/ou de semis anticipés (Debaeke et Aboudrare, 2004). Dans des situations où peuvent survenir des arrêts précoces de l'irrigation (par arrêtés préfectoraux) et où la réserve hydrique n'est pas très élevée, cette stratégie d'esquive du stress par avancée des stades les plus sensibles du maïs est une adaptation souvent conseillée.

Relativement à l'utilisation de variétés demi-tardives ou tardives,[7] l'utilisation de variétés plus précoces (demi-précoces) en situation restrictive en eau dès la fin juillet, (i) est aussi rentable, voire plus, et permet (ii) l'économie du dernier tour d'eau,[8] (iii) une économie de frais de séchage qui compense en partie la baisse

[6] La Réserve Utile (RU) est la quantité d'eau (en mm) stockées dans le sol sur la profondeur d'enracinement et utilisable par la plante. A l'issue de la période de drainage (fin d'automne et hiver), cette RU permet de combler une partie plus ou moins importante du déficit climatique (pluie moins évapotranspiration maximale) survenant au printemps et en été.

[7] Le cycle de développement d'une plante correspond à la période s'étendant du semis à la récolte. Une variété dite très précoce a un cycle court, par opposition à une variété dite tardive au cycle long. Les variétés sont réparties en six groupes selon la durée de leur cycle : très précoces, précoces, demi-précoces, demi-tardives, tardives, et très tardives.

[8] Un tour d'eau représente l'arrosage de l'ensemble des parcelles ayant la même source d'approvisionnement en eau.

de rendement due à la précocité, et (iv) une avancée des dates de récolte avec un effet positif sur la structure du sol et l'étalement des travaux. Cette adaptation peut présenter des limites là où les sols se réchauffent plus lentement (boulbènes du Sud-Ouest), rendant plus difficile un semis plus précoce pourtant nécessaire pour maximiser l'intérêt d'une esquive (Debaeke *et al.*, 2008). En situation non restrictive en eau, les avantages évoqués ci-dessus pour les variétés précoces sont moins évidents.

Les principaux bénéfices énergétiques et environnementaux associés à cette pratique élémentaire se focalisent sur la diminution de la consommation d'énergie directe et de la consommation d'eau d'irrigation. Le choix de variétés plus précoces permet également de limiter les risques de tassement des sols au moment des récoltes tardives quand les automnes sont pluvieux.

B2 - Pilotage de l'irrigation et gestion de la ressource eau

B2.1 - Construire des retenues collinaires (ou bassines)

Un ouvrage de retenue collinaire, également nommé bassine, est destiné à stocker de l'eau à partir d'un prélèvement en eau effectué à une période (hiver et printemps) où celle-ci est abondante. En situation agricole, cette eau peut ensuite être utilisée pour l'irrigation des cultures.

La création de tels ouvrages, sur des bases individuelle ou collective, représente un investissement conséquent pour l'accès à la ressource eau. Les coûts de construction des retenues collinaires sont élevés, en moyenne 30 000 euros HT pour une retenue de 1 000 m^3. Ces coûts varient selon la nature du terrain et l'importance des travaux d'étanchéité à effectuer. La transmissibilité de l'exploitation en sera améliorée dans la mesure où l'accès à l'eau sera sans nul doute un élément de plus en plus décisif, notamment dans les régions à fort déficit climatique.

En situation de ressource en eau limitante, la retenue collinaire permet d'augmenter la disponibilité en eau au cours de la saison et ainsi d'augmenter et de régulariser les rendements. Les performances économiques de court terme (rentabilité et soldes de gestion) sont améliorées, au prix d'une détérioration de l'endettement du fait des coûts de construction. Il est possible que la succession des cultures ait tendance à se simplifier en favorisant les cultures qui valorisent le mieux l'irrigation et qui sont alors les plus rentables à l'hectare. Le fonctionnement des infrastructures hydrauliques se traduit également par une hausse de la consommation d'énergie électrique.

En considérant que la majorité de l'eau stockée dans ces bassines provient d'une période où celle-ci est abondante, l'impact de la création de ces infrastructures sur la ressource en eau peut être jugé comme neutre. Ce point prête malgré tout à discussion et nécessite arbitrage et encadrement, pour deux séries de raisons :

- d'une part, les crues hivernales et inondations temporaires ont des impacts écologiques significatifs qui peuvent le cas échéant correspondre à des services non négligeables. Il faut donc s'assurer que le prélèvement ne perturbe pas ces éventuels impacts positifs ;
- d'autre part, une disponibilité importante d'eau pour l'irrigation peut induire une évolution des assolements allant jusqu'à la spécialisation au profit des cultures irriguées, avec tous les effets indirects qui en résultent, notamment du point de vue de l'utilisation des intrants, de la biodiversité, etc.

Les retenues collinaires ne sont donc pas sans poser problème : impact écologique local non nul, risques sanitaires (problèmes potentiels de qualité de ces eaux stagnantes), problèmes de sécurité pour les populations situées en aval de l'ouvrage (stabilité des remblais), coût pour la contribuable dans la mesure où la construction de ces réservoirs d'usage privé est largement subventionnée par les pouvoirs publics, aux niveaux national, régional et/ou local, voire par les Agences de l'Eau, iniquité possible dans l'accès à l'eau (accaparement de la ressource par quelques agriculteurs seulement) ; pour plus de détails, voir Amigues *et*

al., 2006. L'intérêt de ces ouvrages doit donc être analysé au cas par cas sur la base d'une analyse coûts-bénéfices qui doit nécessairement intégrer les impacts environnementaux.

B2.2 - Utiliser des Outils d'Aide à la Décision pour le raisonnement des stratégies d'irrigation

Cette pratique élémentaire consiste à utiliser des Outils d'Aide à la Décision (OAD)[9] de façon à optimiser sa stratégie d'irrigation (date et fractionnement des apports, etc.). De façon générale, les OAD pour le raisonnement des stratégies d'irrigation visent à maximiser l'efficacité des apports en eau en lien avec les besoins des cultures aux différents stades. On peut donc en attendre, relativement à une situation où l'agriculteur n'aurait pas recours à ces outils, une augmentation des rendements et des résultats économiques (rentabilité et soldes de gestion) dès lors que la ressource en eau est limitée. On peut aussi en attendre aussi une moindre consommation d'énergie directe (réduction des frais d'électricité), d'eau d'irrigation (gain d'efficacité) et une moindre sensibilité aux aléas climatiques grâce à une meilleure maîtrise de la ressource en eau. Le temps consacré à l'observation de l'état des cultures, des parcelles ainsi qu'à l'analyse des données climatiques peut être augmenté.

B2.3 - Utiliser des outils de diagnostic et de pilotage de l'irrigation

La réalisation de bilans hydriques, le suivi des informations délivrées par les organismes de conseil, l'observation continue de l'état d'humidité du sol à l'aide de sondes capacitives ou de la tension en eau à l'aide de capteurs tensiométriques, permettent d'adapter les apports en eau (démarrage, rythme dose-fréquence, arrêt de l'irrigation) aux besoins de la culture, et donc de limiter les pertes par excès, i.e., par drainage ou ruissellement. En arboriculture, le système Pepista mis au point par l'Inra permet de mesurer les variations de diamètre du rameau, de la tige ou du fruit sur lesquels ils sont installés, et ainsi d'apporter l'eau au plus près des besoins en fonction de l'état de l'alimentation hydrique de l'arbre.

Cette pratique élémentaire vise à rationaliser l'apport en eau et à optimiser son efficacité (ratio croissance de la plante sur apport en eau). Sur une sole irriguée et en conditions d'eau restrictives, elle permet d'accroître le rendement et de diminuer les charges variables liées à l'utilisation d'eau ; les résultats économiques de court terme (rentabilité et soldes de gestion) et énergétiques (moindre consommation d'électricité et d'eau) sont améliorées ; la sensibilité aux aléas climatiques est également réduite. Plus spécifiquement, la mesure de la tension en eau du sol permet de bien gérer le déclenchement des irrigations, la reprise des tours d'eau et la durée d'interruption des irrigations après les pluies. Sont ainsi évitées des irrigations trop précoces ou trop élevées qui ont un impact négatif sur la ressource en eau, mais aussi sur la qualité des produits (notamment dans le cas des fruits).

Cette pratique élémentaire est néanmoins exigeante en temps d'observation ; la performance « temps et pénibilité du travail » est donc dégradée.

Les deux pratiques élémentaires « utiliser des OAD pour le raisonnement des stratégies d'irrigation » et « utiliser des outils de diagnostic et de pilotage de l'irrigation » sont étroitement liées, complémentaires : leurs impacts sur les différentes performances sont identiques, avec sans doute une exigence en travail plus forte pour la seconde pratique élémentaire relativement à la première.

B2.4 - Pratiquer l'irrigation localisée

Cette méthode d'irrigation permet de réduire les quantités d'eau utilisées à l'hectare en apportant la quantité d'eau adéquate directement au niveau des racines, limitant ainsi les pertes par évaporation ou par

[9] Les OAD permettent de réaliser un diagnostic précis et d'adapter les interventions (dates et doses des apports d'intrants) aux risques réels des cultures. Fondés sur des modèles prédictifs, associés à des techniques de détection précoce et à des règles de décision agronomique, ces outils permettent d'agir à la parcelle ou au niveau de l'exploitation.

ruissellement. Cette pratique élémentaire est surtout utilisée en maraîchage et en arboriculture car elle requiert un (ré) aménagement assez important des parcelles. Les coûts d'investissement peuvent être très élevés (de 2 500 à 5 000 €/ha ; Rosique, 2012).

Les impacts sur le rendement, la qualité et les résultats économiques de court terme (rentabilité et soldes de gestion) sont positifs, au prix d'une détérioration de l'endettement du fait des coûts des équipements d'irrigation. Plus la ressource en eau est limitée, plus cette pratique élémentaire est avantageuse en termes de consommation d'eau et de résultats économiques par rapport aux autres techniques d'irrigation (par aspersion principalement) ; cf. Amigues *et al.*, 2006. La transmissibilité d'une exploitation déjà équipée par ce type d'équipement sera améliorée en dépit du coût d'acquisition dudit équipement.

Temps et pénibilité du travail sont réduits car, une fois installé, cet équipement demande un entretien modéré et épargne les multiples déplacements propres aux asperseurs, pivots et autres matériels d'irrigation conventionnels.

Testé récemment sur culture de maïs, le goutte-à-goutte enterré présente des résultats intéressants (meilleure efficience des apports et possibilité de combiner la pratique élémentaire à une fertilisation localisée). La présence de gaines enterrées ayant un impact important sur les opérations de travail du sol, cette pratique élémentaire est encore peu répandue en grandes cultures (Rosique, 2012). On notera qu'en Israël, où le problème de l'eau est bien plus aigu que dans notre pays, il existe une production commerciale de pomme de terre dans le désert du Néguev permise par une irrigation localisée et enterrée, ceci depuis la fin des années 1980.

B3 - Couverture du sol

Assurer un paillage, un mulch à la surface du sol, est une pratique élémentaire qui consiste à restituer et maintenir les résidus du précédent à la surface du sol pour limiter l'évapotranspiration. En systèmes maraîchers ou arboricoles, elle inclut aussi l'épandage de BRF (Bois Raméal Fragmenté), c'est-à-dire des rameaux broyés de feuillis de faible diamètre.

Les effets de cette pratique élémentaire sur le rendement et la qualité de la récolte varient en fonction des conditions du milieu et des cultures. Les impacts sur les performances environnementales seraient positifs en termes de consommation d'eau d'irrigation (réduction), de compactage du sol (réduction), de risques d'érosion (réduction à partir d'un taux de recouvrement du sol de 25 à 40% ; Roger-Estrade *et al.*, 2011) et de taux de MO du sol (augmentation). Le maintien et la restitution des résidus peuvent néanmoins fixer de l'azote dans le sol au détriment des cultures implantées ; en contrepartie, le lessivage de l'azote pendant l'automne est réduit. Cette pratique élémentaire a également un effet positif sur le stockage de carbone dans le sol (impact favorable sur les émissions de GES). Le non travail du sol permet enfin de diminuer le temps de travail de l'agriculteur.

B4 - Gestion de la succession des cultures pour la qualité de l'eau d'infiltration

B4.1 - Adapter l'ordre des cultures au piégeage des nitrates

Cette pratique élémentaire consiste à implanter des espèces qui valorisent au mieux les reliquats d'azote de la culture précédente. Par exemple, plutôt qu'une succession « pois-blé-colza », on préfèrera une succession « pois-colza-blé » dans la mesure où le colza est implanté plus précocement que le blé et ainsi valorise mieux l'azote disponible dans le sol en fin d'été : le rendement du colza est amélioré avec un précédent pois plutôt que blé (Carrouée *et al.*, 2012).

La pratique élémentaire permet d'améliorer le rendement (au moins de le maintenir) et les résultats économiques. La valorisation de l'azote restitué par le précédent permet de réduire les charges de fertilisation. Les indicateurs liés à l'utilisation des ressources naturelles fossiles sont, ou améliorés, ou inchangés. L'impact sur le temps de travail de l'agriculteur varie selon les cultures de la rotation et de l'assolement.

B4.2 - Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agroécologique)[10]

Cette pratique élémentaire consiste à implanter un couvert pendant l'interculture, couvert qui va capter de l'azote minéral avant l'entrée en période de drainage (automne et hiver) et ainsi limiter sa lixiviation (Labreuche, 2011 ; Justes *et al.*, 2012).

Cette pratique élémentaire présente plusieurs avantages :

- Fixation de l'azote minéral résiduel du sol et limitation des pertes par lixiviation lors des périodes de drainage ; les performances relatives aux risques de transferts des éléments nitrate et phosphore sont donc améliorées ; de même pour la performance « consommation indirecte d'énergie » au travers de l'économie d'utilisation d'engrais azotés ;
- Protection des sols sensibles contre l'érosion hydrique et amélioration de leur état structural ; enrichissement du sol en MO ;
- Séquestration de carbone et d'azote organiques dans le sol et donc, effet globalement positif sur les émissions de GES qui sont diminuées (Justes *et al.,* 2012) ;
- Selon Justes *et al.* (2012), le bilan des effets des couverts d'interculture sur les bioagresseurs est également globalement positif sous le double jeu, d'une part, d'un effet de compétition et de propriétés parfois allélopathiques du couvert qui limitent les adventices et les ravageurs telluriques, et, d'autre part, des effets biocides de certaines crucifères qui régulent certains nématodes nuisibles.

Elle présente également des inconvénients :

- Coût d'implantation et de destruction du couvert, ce qui entraîne une dégradation des différentes performances économiques de l'exploitation : rentabilité, VA, EBE, RCAI (Labreuche, 2011) ;
- Consommation d'eau potentiellement handicapante pour la recharge hivernale des nappes ou en situation de déficit hydrique au niveau de la culture suivante ;
- Augmentation du temps de travail au travers de la conduite du couvert d'interculture (semis et destruction).
- Création de conditions favorables au développement de certains bioagresseurs comme les limaces.

B5 - Lutter contre le ruissellement et la pollution des eaux de surface

B5.1 - Travailler selon les courbes de niveau

Cette pratique élémentaire consiste à adapter le travail du sol au sens de la pente en tenant compte des problèmes d'érosion. Dans le cas de parcelles à pente suffisante pour générer de l'érosion, le travail du sol perpendiculairement ou en oblique par rapport à la pente doit être préféré à un travail dans le sens de la pente. Les principaux bénéfices sont liés à une diminution des risques d'érosion et de ruissellement grâce à un ralentissement du ruissellement et à un accroissement de l'infiltration de l'eau dans le sol. Travailler selon les courbes de niveau peut néanmoins engendrer de nouvelles contraintes pour l'agriculteur (diminution du débit de chantier, adaptation du matériel, etc.) : la performance « temps et pénibilité du travail » de l'agriculteur peut donc être détériorée. La sensibilité aux aléas climatiques, notamment aux

[10] Il s'agit de couverts végétaux qui remplissent des fonctions agronomiques (piégeage du nitrate, amélioration des propriétés du sol…) et écologiques (ressources nutritives pour les insectes pollinisateurs …).

épisodes orageux, est réduite (Agropeps). A noter que la configuration du parcellaire peut rendre cette pratique élémentaire peu praticable, si par exemple la parcelle est allongée dans le sens de la pente.

B5.2 - Maintenir un état de surface rugueux

Cette pratique élémentaire consiste à ne pas travailler trop finement le sol afin de maintenir un état de surface rugueux qui permettra de réduire les risques de ruissellement, d'érosion et de pollution des eaux de surface. Conserver un état motteux en surface se justifie plus particulièrement quand la probabilité de rencontrer des épisodes pluvieux importants dans les semaines suivant le semis, tant que la culture ne recouvre pas le sol, est élevée.

D'après les données du GIS SOL (GIS Sol, 2011), 18% du territoire français est concerné par un aléa d'érosion des sols de moyen à très fort. Les facteurs à l'origine de cet aléa d'érosion varient selon les zones géographiques. Dans le Nord de la France, les terres arables sont particulièrement vulnérables en raison d'un faible couvert végétal sur une partie de l'année. Dans le Nord du Bassin parisien et le Sud-Ouest de la France, l'aléa d'érosion est lié à la battance des sols à forte teneur en limons, ainsi qu'à une topographie propice à la concentration du ruissellement. Dans l'arc alpin et en Corse, les fortes pentes et l'agressivité des épisodes pluvieux expliquent l'aléa érosif élevé ; cf. Figure 2.1.

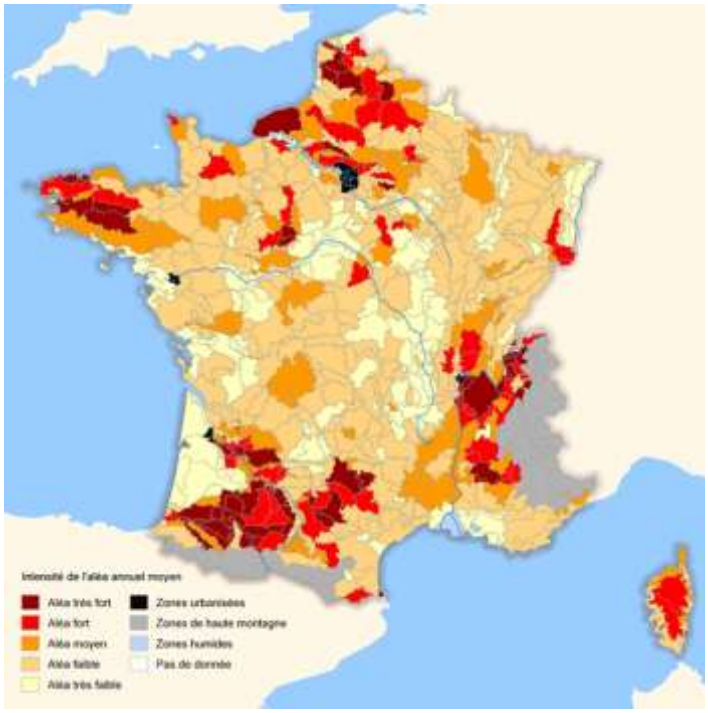

Figure 2.1 : *Aléa érosif des sols par petite région agricole, déterminé à l'aide du modèle Mesales qui combine plusieurs caractéristiques du sol (sensibilité à la battance et à l'érodibilité), du terrain (type d'occupation du sol, pente) et climatiques ; Source : GIS Sol – Inra – SOeS, 2010*

Les cultures exigeantes en matière de qualité du lit de semences (betterave, colza, luzerne…) ne sont pas adaptées à cette pratique élémentaire car elles ont besoin d'un contact terre/graine favorable à la levée. Son emploi peut donc entraîner des pertes à la levée pour ces cultures. Cependant l'adaptation des matériels de semis permet de limiter l'affinement à une bande de semis étroite et maintenue en relief.

Cette pratique élémentaire permet de diminuer les charges de mécanisation, la consommation d'énergie directe et les émissions de CO^2 au travers de la réduction du poste « travail du sol ». Elle peut se traduire par une légère augmentation des débits de chantier, d'où une potentielle réduction du temps de travail (Agropeps).

B6 - Gestion des intrants (engrais et produits phytosanitaires) pour la qualité de l'eau

B6.1 - Utiliser des buses anti-dérive

La dérive est le transfert par voie aérienne de gouttelettes chargées en pesticides hors de la zone ciblée par le traitement. Plus les particules sont fines, plus la distance parcourue est grande avant leur dépôt. La dérive sur de courtes distances donne lieu à des concentrations de pesticides relativement élevées au sol et/ou dans l'air et susceptibles de causer immédiatement des dommages aux cultures, aux animaux, aux hommes, à la faune et à la flore. La dérive sur de longues distances se traduit par de faibles concentrations de pesticides, peu susceptibles de causer des dommages substantiels, mais contribuant néanmoins à la pollution des milieux, y compris les eaux de surface.

Outre leur rôle principal lors de la pulvérisation, les buses anti-dérive déterminent la forme du jet et le débit du produit pulvérisé ; elles jouent aussi un rôle important dans l'amélioration de la qualité de la pulvérisation : pulvérisation homogène, débit constant, etc.

Si l'outil est bien maîtrisé, l'utilisation de buses anti-dérive permet de diminuer un peu l'emploi de produits phytosanitaires et surtout les risques potentiels associés pour l'environnement et l'utilisateur. Les buses anti-dérive peuvent être utilisées au même débit, à la même vitesse d'avancement, avec le même taux d'application et d'efficacité que la buse standard (Agropeps).

B6.2 - Raisonner et adapter les doses appliquées

Optimiser, au sens de raisonner et d'adapter, les apports d'engrais et de produits phytosanitaires aux besoins réels de la plante (en s'appuyant sur des observations du terrain, des conseils techniques, des OAD, etc.) est en première approche avantageux à de multiples égards. Relativement à une utilisation intensive, non raisonnée, des engrais et des produits phytosanitaires, la gestion raisonnée de ces intrants permet de maintenir, voire d'augmenter, le rendement tout en améliorant les performances en termes économiques, d'utilisation des ressources naturelles fossiles et de préservation de l'environnement (Viaux, 1999 ; Butault *et al.*, 2010). De fait, les performances qui peuvent être détériorées sont (i) le temps de travail, dès lors que le raisonnement demande le recueil et le traitement d'une quantité plus ou moins importante de données, et que l'adaptation des interventions à chaque parcelle ou zone homogène au sein de celle-ci suppose de modifier les réglages des engins, voire dans certains cas la nature des intrants ; (ii) le coût de recueil des informations et d'obtention du conseil, non négligeable par exemple pour les analyses de terre et conseils de fumure, aussi bien pour l'azote que pour les autre éléments ; (iii) la complication de l'organisation du travail, par exemple lorsque le recueil et traitement des données nécessaires à l'aide à la décision se font en période de pointe de travail et/ou risquent d'engendrer un retard d'intervention préjudiciable à la culture.

Sur la base de ce constat, la question pratique posée est alors, d'abord d'apprécier la réalité d'un raisonnement défaillant ou d'une mauvaise adaptation des doses appliquées, et leurs causes (compétences insuffisantes, sur-fertilisation ou surprotection phytosanitaire par peur du risque, conseils et outils insuffisamment disponibles ou ergonomiques, etc.) ; ensuite, sur la base de l'appréciation de l'état des lieux et des causes, de définir les mesures, privées et/ou publiques, à court ou plus long terme, à mettre en œuvre pour corriger les défaillances constatées et favoriser le recours aux dispositifs et outils de raisonnement et aide à la décision.

B6.3 - Utiliser des matières actives à risque écotoxicologique plus faible

Il s'agit ici de choisir, préférentiellement à d'autres, des substances actives phytopharmaceutiques dont les caractéristiques physico-chimiques limitent leur présence dans la solution du sol et les risques de transfert vers

les cours d'eau. Un tel choix est principalement basé sur deux indicateurs : (i) la persistance du produit dans le sol ou DT50[11] qui doit être la plus faible possible et (ii) le Koc (coefficient de partage carbone organique - eau) qui représente la capacité du produit à se fixer sur le complexe argilo-humique et donc à ne pas passer dans la solution du sol (Koc > 1000 cm^3/g).

Ces données sont disponibles dans la base de données Agritox, fournies pour chaque substance active. Pourtant, choisir les produits selon cette procédure est une opération complexe et fastidieuse avec les outils actuellement disponibles : la comparaison des profils écotoxicologiques des substances actives selon les objectifs techniques de l'agriculteur n'est aujourd'hui ni automatisée, ni intuitive. Il y a donc une détérioration de la performance relative au temps et à la pénibilité du travail.

Par ailleurs, utiliser des matières actives à faible risque écotoxicologique ne signifie pas nécessairement réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires, et donc de l'IFT (Indice de Fréquence de Traitement). Certaines substances moins dangereuses pour l'environnement peuvent également se révéler moins efficaces pour lutter contre les bioagresseurs (Agropeps). Enfin, les interactions entre différentes molécules (« effets cocktail ») ne sont que peu prises en compte dans l'analyse des impacts écotoxicologiques. Des efforts de recherche sont nécessaires pour mieux évaluer ces risques.

Selon les cultures et le mode d'action recherché, un large éventail de substances actives n'est pas toujours disponible pour l'agriculteur. L'emploi répété des mêmes substances actives, à faible risque écotoxicologique ou non, augmente les risques d'apparition de résistances au sein des populations de bioagresseurs. Il est donc important de veiller à conserver une diversité de substances actives disponibles pour l'agriculteur.

B7 - Aménagement du foncier et du paysage pour la qualité de l'eau

B7.1 - Implanter des haies en bordure de parcelle

On appelle haie toute structure linéaire composée d'arbres, d'arbustes, de taillis, de buissons, etc., large de un à quelques mètres et d'une hauteur pouvant atteindre 15 mètres. Les haies contribuent à la fourniture de divers services écosystémiques, relevant notamment des dimensions ressources naturelles et environnement : protection des cultures et des animaux contre le vent et la pluie, protection contre l'érosion, prélèvement de nitrates et donc amélioration de la qualité de l'eau, préservation de la biodiversité et des paysages, mais aussi fourniture de bois de chauffage, de piquets, de gibier, de fruits, etc. L'installation et l'entretien de ces éléments fixes du paysage peuvent se faire au détriment des surfaces productives et entraîner une concurrence (eau, lumière) pour les cultures adjacentes ; d'où une baisse possible de la production et des résultats économiques (rentabilité et soldes de gestion).

Le rendement est légèrement moindre dans la zone où se déploie l'ombre portée de la haie, mais cette diminution est compensée par les effets bénéfiques de l'action brise-vent de la haie. L'impact sur la performance « rendement » est donc le plus souvent neutre ; il est de même pour l'impact sur la qualité de la production. Cet impact sera toutefois lié à l'importance du linéaire de haies par unité de surface, une densité excessive pouvant devenir contre-productive. Mais la majorité des régions agricoles françaises ne sont pas dans cette situation.

L'entretien des haies peut légèrement détériorer le bilan énergétique mesuré à l'aune de la consommation énergétique directe, ceci d'autant plus que les haies peuvent contraindre l'agriculteur à allonger ses temps de travaux (contournement d'éléments fixes du paysage) ; cette détérioration est néanmoins pour partie compensée par la production de biomasse à partir des éléments constitutifs des haies, sous réserve d'adapter les engins utilisés pour l'entretien, en privilégiant les lamiers et en disposant d'équipements de ramassage.

[11] DT50 ou durée de dégradation de 50 % de la substance active dans l'eau sous l'influence de la lumière, exprimée en jours ou en heures à un pH donné et déterminée par un test de laboratoire.

Les haies permettent de limiter le ruissellement de surface, ainsi que la dérive de pesticides lors de leur pulvérisation et leur entrainement vers les eaux de surface. Elles assurent une fonction de stockage de carbone et le bois produit peut être utilisé comme ressource renouvelable pour le chauffage (bûches ou plaquettes) : il y a donc réduction des émissions de GES.

Les haies favorisent la diversité biologique, microbienne, végétale et animale. Elles sont des refuges et des sources de nourriture pour de nombreux organismes, sans qu'il soit à ce jour possible d'établir de façon claire, les bilans des impacts sur les bioagresseurs et les auxiliaires, respectivement.

La pratique élémentaire a également un coût propre, à l'installation (entre 535 à 710 €/100 m linéaires) et à l'entretien (entre 10 et 13 €/100 m linéaires/an) selon les chiffres du CASDAR IBIS (Cervek, 2012). La mise en place et l'entretien des haies augmentent la charge globale de travail de l'agriculteur. Cette augmentation est surtout liée à la phase d'implantation (environ 17h pour 100 mètres linéaires de haies d'après les résultats du CASDAR IBIS 2010) ; l'entretien est en pratique relativement peu exigeant en travail (quelques minutes pour la fauche du pied de la haie, et de 2 à 5 heures pour la taille, toujours selon les résultats du CASDAR IBIS 2010). Coût et temps d'entretien dépendent de la fréquence des interventions qui varient en fonction de la valorisation de la haie et de ses produits, ainsi que du matériel utilisé (Agropeps).

Il faut également souligner que, parmi les effets environnementaux bénéfiques avérés des haies, plusieurs augmentent au fil des années. La dimension temporelle est particulièrement importante à considérer lors du choix d'implantation de haies ; ce choix doit être considéré comme un investissement pour les décennies suivantes.

B7.2 - Développer les zones humides

Les zones humides (ZH) sont des espaces de transition entre la terre et l'eau. Elles sont régulièrement inondées pendant les périodes pluvieuses et ainsi assurent la fourniture de nombreux services écosystémiques : épuration (principalement par dénitrification, mais aussi par piégeage et dépôt des particules en suspension) et filtrage des eaux, réduction de l'érosion, contribution au renouvellement des nappes phréatiques, stockage de carbone, atténuation des crues, etc. Pourtant, au cours du siècle dernier, plus de la moitié des ZH ont disparu dans le monde et en Europe (CE, 1995). L'activité agricole a participé à cette régression au travers des différentes politiques d'aménagement rural (remembrement, drainage des parcelles, etc.).

La préservation et l'aménagement de ZH sur des terres aptes à la culture viennent en contradiction, par définition, d'une logique de production agricole sur ces terres : la performance « rendement » pour l'agriculteur est donc dégradée. En dépit de la diminution des charges variables (du fait de la baisse de la superficie cultivée), la pratique élémentaire entraîne une détérioration des résultats économiques de court terme, du moins tant qu'il n'y a pas compensation budgétaire (aides spécifiques) ou marchande (marchés des services écosystémiques environnementaux fournis par les ZH).

Les ZH permettent de limiter les risques de pollutions diffuses des eaux de surface en jouant un rôle de zone tampon : réduction des transferts de nitrate, de phosphore et de résidus de pesticides vers les cours d'eau. L'impact sur les divers volets de la biodiversité est également positif.

L'entretien des ZH entraîne un travail spécifique, le plus souvent inférieur à celui requis pour la production agricole sur les terres ainsi retirées d'un usage agricole.

B7.3 - Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle

Le terme de bande enherbée (BE) recouvre « toute surface en herbe susceptible d'intercepter des écoulements de surface diffus ou concentrés » (Corpen, 1997). Ce sont des espaces végétalisés, semés ou naturels, d'une largeur minimale de 5 mètres, généralement situés en aval de la parcelle pour protéger les cours d'eau des risques de pollutions diffuses.

La production quantitative et les résultats économiques de l'exploitation sont dégradés du fait de la substitution d'une zone productive par une zone non productive. De plus, la BE a un coût, aux stades de la mise en place (de 17 à 25 €/100 m linéaires) et de l'entretien (entre 7 et 8 €/100 m linéaires/an, selon les résultats du Casdar IBIS (2010).

Cette pratique élémentaire offre un intérêt environnemental indéniable, notamment en termes de diminution des risques d'érosion, d'augmentation de la qualité de l'eau (rétention des éléments en suspension et réduction des pollutions diffuses), et de protection de la faune (corridors écologiques et réservoirs d'auxiliaires). Néanmoins, la qualité des services environnementaux de la BE dépendra de sa composition botanique et de son entretien. L'implantation de BE à forte composante de graminées pérennes va favoriser le piégeage de l'azote, des produits phytosanitaires et des particules fines, mais ne sera guère favorable à la biodiversité.

Les BE demandent moins de travail que les productions commerciales (sauf peut-être l'année de leur implantation) ; des passages spécifiques pour l'entretien sont néanmoins nécessaires. Selon les cas, l'augmentation de la charge de travail est très faible ou au contraire substantielle si la pratique élémentaire exige des efforts importants en matière de formation, conseil, planification de l'implantation et de la gestion des espaces ainsi enherbés, etc. (Agropeps).

Une réflexion doit également être menée pour optimiser la localisation de la BE à l'échelle des territoires, ceci de maximiser les bénéfices environnementaux en limitant les surfaces mobilisées et les pertes de revenu. Les modèles spatialisés proposés par Souchère *et al.* (2012) permettent d'optimiser le positionnement des BE, dans un objectif de limitation des phénomènes érosifs.

B7.4 - Implanter des bassins de rétention

Les bassins de sédimentation et de rétention des eaux servent à diminuer les nuisances aval (inondations boueuses) liées à l'érosion du sol en interceptant et retenant les sédiments et autres matières hydrosolubles. La rétention a pour effet de ralentir le débit de l'eau et de favoriser le dépôt des sédiments, des débris ou des déchets avant qu'ils atteignent la structure d'évacuation, voire les zones d'habitation ou les infrastructures à protéger.

On suppose ici que ces bassins de rétention sont gérés collectivement, à l'échelle du bassin versant, et donc que la perte de surface productive est négligeable au niveau individuel de chaque agriculteur. Sauf cas particulier impliquant une emprise sur les terrains cultivés, les résultats productifs et économiques ne sont donc pas détériorés.
Les principaux bénéfices des bassins de rétention concernent les performances environnementales, en particulier la dimension « qualité de l'eau » : réduction des émissions de produits phytosanitaires et de phosphore principalement, de nitrate secondairement.

La gestion collective de ces bassins peut demander un surplus de travail ; ce surplus reste toutefois modéré.

C - Eléments-clefs à retenir

C1 - Gestion quantitative de l'eau

La gestion quantitative de l'eau se place avant tout dans le cadre d'une limitation plus ou moins sévère des ressources affectables à l'irrigation des cultures. Ce degré de restriction détermine en grande partie

les choix d'assolement et succession de l'agriculteur : si la restriction est sévère (voire totale), et si le déficit climatique estival est important, l'agriculteur devra impérativement autolimiter la consommation en eau en privilégiant des cultures peu consommatrices.

Dès lors que cette restriction devient moins sévère (par exemple s'il est possible de construire et utiliser des retenues hivernales) les choix d'assolement sont moins contraints et peuvent inclure des cultures irriguées. Cette tendance peut aller jusqu'à l'hyper-spécialisation et uniformisation des cultures.

Cette situation de disponibilité modérément à peu limitée, correspond au domaine d'élection des pratiques de raisonnement et d'optimisation des apports d'irrigation. La gestion quantitative optimisée de la ressource disponible a des effets positifs, au pire neutres, sur les performances productives (quantité et qualité) et les performances économiques à l'exception des pratiques élémentaires qui requièrent des équipements spécifiques, coûteux (« construire des bassines » ; « pratiquer l'irrigation localisée »). Toutes les pratiques élémentaires relevant de cette pratique ont également un impact positif sur la consommation d'eau d'irrigation qui est réduite. Elles ont aussi un impact positif ou neutre sur les performances environnementales, sauf potentiellement la pratique élémentaire « construire des bassines » dès lors que ladite construction entraîne une perturbation trop forte de l'écosystème. Elles ont enfin pour effet de limiter la sensibilité aux aléas climatiques du fait d'une moindre dépendance à l'état de la ressource eau ; cf. Encadré 2.1.

Encadré 2.1

Les retenues collinaires

Dans de nombreux bassins versants, la mise en œuvre de la Directive cadre européenne sur l'eau remet en question les autorisations de prélèvements agricoles d'eau. Dans ce contexte, les agriculteurs irrigants réclament la création de (nouvelles) réserves d'eau (ou retenues collinaires) pour compenser la réduction de leur quota d'eau d'irrigation, et éviter la chute de revenu qu'elle peut induire.

De façon générale, les professionnels agricoles défendent la coresponsabilité des services des pouvoirs publics qui, dans les années 1980 à 1990, ont consenti aux agriculteurs des autorisations de pompage pour développer l'irrigation, sans parfois s'assurer au préalable que la ressource en eau était / est disponible en quantité suffisante.

Les coûts d'investissement pour la création de ces réserves étant particulièrement élevés, les agriculteurs irrigants sollicitent un soutien financier public. Le décideur public est ainsi confronté à un problème traditionnel croisant la rentabilité financière de l'investissement du point de vue de l'usager et sa rentabilité économique du point de vue de la collectivité dans son ensemble. D'après les résultats d'une étude par modélisation microéconomique (Loubier *et al.,* 2011), si les pouvoirs publics décident de subventionner la création de telles retenues de manière à permettre aux irrigants de compenser une partie de la baisse de leurs revenus, le seuil de rentabilité financière serait atteint pour un taux de subvention compris entre 20 et 70%. Lorsque les prix agricoles sont bas, des taux de subventions élevés sont nécessaires pour assurer la rentabilité financière des réserves de substitution. A l'inverse, lorsque les prix agricoles sont (très) élevés, les réserves de substitution peuvent être rentables sans soutien public. La forte volatilité des prix agricoles de ces dernières années ne facilite évidemment pas la prise de décision par les pouvoirs publics qui tentent d'élaborer des politiques à moyen et long terme.

En outre, la pertinence de la décision de construction d'une retenue collinaire, et du taux de son subventionnement par les pouvoirs publics, ne doivent pas se limiter à la seule analyse des bénéfices et coûts privés des différents acteurs impliqués, directement et indirectement. Au-delà de l'acceptabilité sociale, l'analyse doit nécessaire inclure les coûts et bénéfices environnementaux. C'est à l'échelle de chaque bassin versant que la pertinence de la création de ces réservoirs d'eau doit être appréciée à l'aune d'une analyse coûts-bénéfices étendue dans les dimensions environnent, risques et acceptabilité.

L'impact sur le temps de travail de l'agriculteur et sa pénibilité dépend de la pratique élémentaire considérée. Des bénéfices sont possibles, notamment en termes d'étalement des pointes de travail, mais la charge est généralement augmentée, lors de la phase de construction des infrastructures et plus quotidiennement du fait de temps d'observation accrus.

Au total, on ne saurait que recommander l'extension des pratiques élémentaires visant à optimiser, au sens de rationaliser, la gestion quantitative de l'eau dès lors qu'il s'agit de jouer sur l'efficacité de l'usage (en d'autres termes, sur les aspects demande). Les freins à cette extension sont à chercher, outre le coût possible de nouveaux équipements, du côté du travail, plus spécifiquement des compétences à acquérir et maitriser, et donc en amont au niveau de la formation, du conseil, de l'accompagnement, etc. Pour ce qui est de la pratique élémentaire « construire des retenues collinaires », on recommandera une analyse coûts-bénéfices au cas par cas, cette analyse ne devant pas se limiter aux seuls coûts et bénéfices privés et inclure les aspects non marchands, notamment environnementaux liés à l'écrêtement des crues et excès d'eau hivernaux. Nous recommanderons également une étude d'impact pour ces ouvrages, avec notamment une étude hydraulique qui permettrait d'analyser l'importance des risques encourus par les populations situées en aval de ces digues.

La recommandation faite *supra* suppose implicitement que la base de comparaison est une situation d'irrigation dite conventionnelle ; dans un tel contexte, toute pratique élémentaire qui permet, toutes choses égales par ailleurs, une meilleure efficacité de l'utilisation / de la consommation d'eau peut être conseillée. Reste la question de l'opportunité économique de l'irrigation, opportunité qu'il convient également de considérer dans une optique élargie en intégrant tous les coûts et bénéfices marchands et non marchands. Dans cette perspective, le prix de l'eau d'irrigation payé par les agriculteurs, prix moins élevé relativement à d'autres usages (Amigues *et al.*, 2006), n'intègre pas tous les coûts marchands et non marchands, dans les deux dimensions quantitative (renouvellement de la ressource) et qualitative (qualité de la ressource). Une gestion globalement optimisée de la ressource en eau exige de ne pas se limiter à l'exploitation agricole et de raisonner à des échelles plus larges en incluant tous les usages, qu'ils soient marchands ou non. De fait, augmenter le coût de l'irrigation est sans nul doute le levier le plus efficace pour faire face aux situations de déséquilibres excessifs entre offre et demandes en eau, et inciter à modifier des choix productifs d'exploitation dans une orientation nettement plus économe en eau.

C2 - Gestion qualitative de l'eau

A l'exception des trois pratiques élémentaires « adapter l'ordre des cultures au piégeage du nitrate », « utiliser des buses anti-dérive » et « adapter et raisonner les doses appliquées » qui impactent positivement toutes les performances - on ne saurait donc que recommander la généralisation de ces trois pratiques élémentaires, voire les rendre obligatoires ! -, les pratiques élémentaires relevant de la gestion qualitative de l'eau font apparaître un trade-off entre, d'une part, les bénéfices environnementaux (notamment en termes de qualité de l'eau et du sol), et, d'autre part, les résultats économiques et, dans une moindre mesure, productifs. Dans un tel contexte, on serait tenté de recommander le subventionnement de ces pratiques élémentaires au titre de bénéfices environnementaux positifs et de la compensation des pertes de revenus des agriculteurs. Mais procéder ainsi revient à légitimer la situation actuelle, en contradiction avec le fait que cette situation n'internalise pas, ou trop peu, les effets contraires de l'activité agricole sur la qualité de l'eau. Mais rendre obligatoire la généralisation de ces pratiques élémentaires pourrait s'avérer trop préjudiciable à la viabilité d'un trop grand nombre d'exploitations. Par suite, notre recommandation sera d'inscrire le subventionnement de ces pratiques élémentaires dans une dynamique de long terme : elles ne seraient donc subventionnées que temporairement, ceci d'autant plus que pour plusieurs d'entre elles le coût premier est celui de la mise en œuvre initiale, avant de les rendre obligatoires.

Les pratiques d'aménagement spatial (haies, zones humides, bandes enherbées « hydraulique douce ») ont des effets souvent retardés dans le temps. Ils nécessitent la prise en compte de la structure spatiale, et parfois une emprise foncière sur des espaces cultivés. L'utilisation préalable de modèles spatialisées doit être encouragée. Il faut inscrire la réflexion et l'action relative à ces pratiques dans des dynamiques collectives d'aménagement, qui peuvent impliquer un certain degré de réaffectation du foncier.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	**Pratiques**	**Pratiques élémentaires**	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Gestion de l'eau et de sa qualité	Choix des cultures	Choisir des assolements et successions de cultures plus économes en eau	+/-	=	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+	=	=	+	+/-	+	=
		Choisir des variétés plus économes en eau	+/-	=	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+	+/-	=	=	=	+	=	=/+	=
	Pilotage de l'irrigation et gestion de la ressource	Construire des retenues collinaires (ou bassines)	=/+	=	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	=	=	=
		Utiliser des OAD pour le raisonnement des stratégies d'irrigation	=/+	=/+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	+	=	+	=
		Utiliser des outils de diagnostic et de pilotage de l'irrigation	=/+	=/+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	+	=	+	=
		Pratiquer l'irrigation localisée	=/+	=/+	+	+	+	+	+	+	+	=	-	+	-	=	+	=
	Couverture du sol	Assurer un paillage, un mulch à la surface du sol	+/-	=/-	=	+/-	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	+	=
	Gestion de la succession des cultures pour la qualité de l'eau d'infiltration	Adapter l'ordre des cultures au piegeage des nitrates	=/+	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	+/-	+	=	=
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+/-	=	=/-	+/-	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	=	=	=	+/-	=/+	+/-	=
	Ruissellement et pollution des eaux de surface	Travailler en courbes de niveau	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=
		Maintenir un état de surface rugueux	=/-	=	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
	Gestion des intrants (engrais et produits phytosanitaires) pour la qualité de l'eau	Utiliser des buses anti-dérives	=	=	=/+	+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	+	=	=
		Adapter et raisonner les doses appliquées	=/+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	+	+	=	=
		Utiliser des matières actives à faible risque écotoxicologique	=	=	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Aménagement du foncier et du paysage pour la qualité de l'eau	Implanter une haie en bordure de parcelle	+/-	=	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=/+	=	=	=	=	=	=
		Réaménager les zones humides	-	=	-	+	-	-	-	=	-	=	=	=	=	=	=	=
		Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle	-	=	=/-	+	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=
		Implanter des bassins de rétention	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Gestion de l'eau et de sa qualité	Choix des cultures	Choisir des assolements et successions de cultures plus économes en eau	=	=	=	=	+/-	+/-	=	=	+/-	=	=	=	=	+	+	=	+/-	=	=	+
		Choisir des variétés plus économes en eau	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	+
	Pilotage de l'irrigation et gestion de la ressource	Construire des retenues collinaires (ou bassines)	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=/-	=/-	+/-	=	=	+
		Utiliser des OAD pour le raisonnement des stratégies d'irrigation	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	+
		Utiliser des outils de diagnostic et de pilotage de l'irrigation	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	+
		Pratiquer l'irrigation localisée	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	+
	Limiter l'évaporation	Assurer un paillage, un mulch à la surface du sol	+	+	+	=	+	+/-	+	=	+	=	=	=	=	=	=	+	+	=	=	=
	Gestion de la succession des cultures pour la qualité de l'eau d'infiltration	Adapter l'ordre des cultures au piegeage des nitrates	=	+	+	=	+	=	=	=	+	+	=	=	=	=/+	=	=	+/-	=	=	=
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+	+	+	=	+	=/+	+	=	+	+	=	=	=	+	=	=	-	=	=	=
	Lutter contre le ruissellement et la pollution des eaux de surface	Travailler en courbes de niveau	=	+	=/+	=	+	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=/-	=	=	+
		Maintenir un état de surface rugueux	=	+	=/+	=	+	=	+	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=/+	=/+	=	=	+
	Gestion des intrants (engrais et produits phytosanitaires) pour la qualité de l'eau	Utiliser des buses anti-dérives	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=	+	=	+	=	=
		Adapter et raisonner les doses appliquées	=	=	=	=	+	+	+	=	+	+	=	+	=	=	=	+	+/-	+	=	+
		Utiliser des matières actives à faible risque écotoxicologique	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=	=	=	+	=	=	=	+	-	+	=	=
	Aménagement du foncier et du paysage pour la qualité de l'eau	Implanter des haies en bordure de parcelle	=	+	=	=	+	+	+	=	+	+	+	=	+	=/+	+	+	-	=	=/+	+
		Développer les zones humides	=	=	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	+	=	+	+	+	=	=	=
		Implanter des aménagements épurateurs : bandes enherbées, …	=	+	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	+	=	=/+	+	=/-	=	=	=
		Implanter des bassins de rétention	=	=	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=/-	=	=	=

E - Références bibliographiques

AGROPEPS. « Adapter le travail du sol au sens de la pente » [en ligne]. (page visitée le 06/03/2013). http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Adapter_le_travail_du_sol_au_sens_de_la_pente

AGROPEPS. « Implanter des bandes herbeuses et florales dans les parcelles » [en ligne]. (page visitée le 06/03/2013). http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Implanter_des_bandes_herbeuses_et_florales_dans_les_parcelles

AGROPEPS. « Implanter des haies » [en ligne]. (page visitée le 06/03/2013) http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Implanter_des_haies

AGROPEPS. « Réaliser un travail du sol plus grossier » [en ligne]. (page visitée le 6 mars 2013). http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/R%C3%A9aliser_un_travail_du_sol_plus_grossier

AGROPEPS. « Utiliser des buses anti-dérive et/ou des buses de gros calibre » [en ligne]. (page visitée le 6 mars 2013). http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Utiliser_des_buses_anti-%C3%A9rive_et/ou_des_buses_de_gros_calibre

AMIGUES J.P., DEBAEKE, P., ITIER, B., LEMAIRE, G., SEGUIN, B., TARDIEU, F., THOMAS, A. (éditeurs). 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. Inra (France), 72 p.

BUTAULT J.P., DEDRYVER C.A., GARY C., GUICHARD L., JACQUET F., MEYNARD J.M., NICOT P., PITRAT M., REAU R., SAUPHANOR B., SAVINI I., VOLAY T. (éditeurs). 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Inra (France), 90 p.

CARROUEE B., SCHNEIDER A., FLENET F., JEUFFROY M.H., NEMECEK T. 2012. Introduction du pois protéagineux dans des rotations à base de céréales à paille et colza : impacts sur les performances économiques et environnementales. CASDAR Innovation et partenariat : Résultats 2007. MAAF-CASDAR, 04/12/2012, Paris, 198 p.

CERVEK, C. 2012. Intégrer la biodiversité dans les systèmes d'exploitation agricole : le projet IBIS. CASDAR Innovation et partenariat : Résultats 2007. MAAF-CASDAR, 04/12/2012, Paris, 198 p.

DUBOIS A. 2012. Les prélèvements d'eau en France en 2009 et leurs évolutions depuis dix ans. Commissariat général au développement durable. Service de l'observation et des statistiques. 290, 8 p.

GIS SOL. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.

POINTEREAU P., BOCHU J.L., COUTURIER C., COULON F., ARNAL A., GIORGIS S. 2009. Les impacts environnementaux et paysagers des nouvelles productions énergétiques sur les parcelles et bâtiments agricoles. Rapport final, 152 p.

ROGER-ESTRADE, J., LABREUCHE J., RICHARD G. 2011. Effets de l'adoption des techniques culturales sans labour (TCSL) sur l'état physique des sols : conséquences sur la protection contre l'érosion hydrique en milieu tempéré. *Cahiers Agricultures*, 20 (3), 186-93

ROSIQUE, P. 2012. Le goutte-à-goutte enterré en grandes cultures ? *AGRO Mag.* 27, 52-53

SOUCHERE V., LE BISSONNAIS Y., OUVRY J.F. 2012. La maîtrise du risque érosif : quels leviers de la parcelle au paysage agricole ? CIAG Evaluer et gérer la fertilité des sols, Inra, 06/04/2012, Orléans (France)

VIAUX P. 1999, Une 3ème voie en Grande Culture : Environnement, Qualité, Rentabilité. *Editions Agridécisions.* 145 p.

CHAPITRE 3

GESTION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX (AZOTE, PHOSPHORE, POTASSIUM ET AUTRES) ET DU STATUT ORGANIQUE DES SOLS

A - Introduction **54**
B - Description par pratique élémentaire **58**
C - Eléments-clefs à retenir **73**
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique **79**
E - Références bibliographiques **80**

CHAPITRE 3
Gestion des éléments minéraux (azote, phosphore, potassium et autres) et du statut organique des sols

A - Introduction

La MP Gestion des éléments minéraux et du statut organique des sols a été décomposée en cinq classes de pratiques, soit (i) la réalisation d'apports organiques pour la nutrition minérale, (ii) le-raisonnement et l'ajustement de la fertilisation, (iii) l'utilisation de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, (iv) l'introduction de légumineuses dans les systèmes de polyculture-élevage et (v) l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol par amendement.

- La première consiste à diversifier les sources d'éléments fertilisants, par des produits organiques en substitution partielle ou totale aux engrais minéraux ;
- La deuxième consiste à mettre en œuvre des méthodes de raisonnement, outils de pilotage et modalités d'apports de la fertilisation qui visent à optimiser les quantités apportées tout en minimisant les impacts environnementaux négatifs. Ce double objectif est obtenu (i) en ajustant les apports au plus près des besoins théoriques déterminés par analyses du sol ou des plantes, selon les principes de la fertilisation raisonnée, (ii) en fractionnant et localisant ces apports pour maximiser leur efficience (ratio du rendement de la culture relativement aux apports de fertilisants), (iii) en mettant en œuvre des stratégies et tactiques de piégeage et recyclage (entre autres *via* des cultures intermédiaires) pour éviter la perte de reliquats d'éléments minéraux non consommés par les cultures (voir à ce sujet MP successions culturales) ;
- La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique fait référence à la capacité de certaines espèces (légumineuses) à rendre biologiquement disponible le diazote (N_2) atmosphérique. L'association entre la plante (qui fournit l'énergie nécessaire à la fixation) et la bactérie du genre *Rhizobium* (qui est dotée de la capacité de fixation), naturellement présente dans le sol ou apportée par inoculation, peut permettre à la légumineuse d'atteindre un niveau d'autonomie de sa nutrition azotée dans une fourchette de 40 à 90%, le complément étant apporté par l'assimilation de l'azote minéral du sol (Duc *et al.,* 2010) ;
- L'introduction de légumineuses dans les systèmes de polyculture-élevage inclut deux pratiques élémentaires visant essentiellement à améliorer l'autonomie alimentaire des troupeaux : introduire de la luzerne dans la succession culturale et introduire des légumineuses fourragères en association dans les prairies. C'est en raison de cette différence d'objectif et de contexte qu'on l'a différenciée de la pratique précédente, alors qu'on aurait pu la considérer comme une pratique élémentaire de celle-ci ;
- Enfin, l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol par les amendements rassemble des pratiques élémentaires qui visent à maintenir ou accroître la fertilité du sol[12].

[12] La fertilité d'un sol est la synthèse de ses aptitudes culturales, c'est-à-dire de l'ensemble des caractères du sol susceptibles d'influer dans un sens favorable sur l'extériorisation des potentialités, par l'intermédiaire (i) d'une réduction des écarts entre rendements réalisés et potentiels ; (ii) d'une diminution des coûts à mettre en œuvre pour les atteindre et

Les principaux enjeux liés à cette MP peuvent être ainsi résumés :

- La levée des carences minérales (en P, K, Mg, Zn, Cu, oligoéléments…) et la correction de l'acidité excessive des sols, ont été dans les décennies 1950-60, un très important facteur d'accroissement de la productivité agricole française. Aujourd'hui le niveau de fertilité minérale des sols français est globalement satisfaisant (Gis Sol, 2011) mais localement peuvent subsister ou réapparaitre des problèmes (notamment pour P dont les niveaux sont assez faibles dans beaucoup de régions) car les soldes des bilans import-export sont très variables et le niveau de surveillance semble très insuffisant si on en juge par l'effectif stagnant des analyses de terres réalisées en France (300 000 environ) ;
- La production végétale est très dépendante de la quantité d'azote disponible dans le sol, en lien avec les apports d'azote (sous forme d'engrais minéraux, d'urée, et/ou de matière organique). En effet, l'azote est un constituant essentiel des protéines, des acides nucléiques et de la chlorophylle, ce qui en fait, généralement l'élément majeur le plus limitant pour la croissance des plantes dans le contexte pédoclimatique et agraire ouest-européen ;
- Les apports d'éléments fertilisants conduisent à des disponibilités pour la croissance de la plante plus ou moins immédiates selon les modalités d'apport, les caractéristiques du sol, et celles du système racinaire quand ces apports ne sont pas réalisés par voie foliaire. Toutes choses égales par ailleurs, pour certains éléments comme l'azote, le phosphore et le soufre, l'apport sous forme organique n'est disponible qu'après décomposition et minéralisation, ce qui entraîne en général une disponibilité plus tardive que pour des engrais minéraux solubles, avec des délais variables selon la température ;
- La gestion des éléments minéraux a des impacts potentiels importants et multiformes sur l'environnement et la gestion des ressources naturelles non renouvelables : (i) la fabrication des engrais industriels induit une consommation importante de ressources minières (P, K) et/ou énergie fossile (N essentiellement) (cf. Encadré 3.1) ; (ii) le cycle biogéochimique (ou « cascade » de l'azote) comporte des risques d'émission de composés en solution (NO_3-) ou gazeux (N_2O, NOx, NH_3) avec de multiples impacts négatifs (pollution des eaux et eutrophisation, effet de serre, acidification, etc.) ; (iii) la pollution et l'eutrophisation des eaux superficielles peuvent dans certains cas être liées à des apports de P d'origine agricole, généralement par l'intermédiaire de l'érosion et du transport de particules terreuses plus ou moins riches en P, parfois par entraînement direct d'engrais ou amendements dans les eaux de ruissellement. ; (iv) certains éléments minéraux (Cu, Zn, métaux lourds) sont toxiques pour les plantes et les microorganismes à trop forte concentration, et leur accumulation dans les sols peut engendrer une dégradation grave et irréversible des aptitudes culturales ; (v) à l'échelle planétaire, l'état des réserves minières qui sont la ressource de base pour la fabrication des engrais P et K, donne lieu à des estimations qui sont de l'ordre de 50 +/- 10 ou 20 ans de disponibilités à coûts comparables à ceux actuels. Sur la même période les pays à forte expansion démographique (donc à forte croissance des besoins alimentaires) sont souvent ceux ou l'intensification agricole est conditionnée par un haut niveau d'emplois des engrais car ils présentent des sols particulièrement pauvres en ces éléments. Il y a donc un fort enjeu d'équité dans la répartition des engrais P (et K, mais dans une moindre mesure) ;
- La fertilisation est pratiquée à différentes échelles de temps. Pour l'azote, les apports au champ sont raisonnés et réalisés aux échelles annuelles et infra-annuelle. Pour les autres éléments nutritifs (et en dehors des cas particuliers des cultures sous serre avec apport continu de solutions nutritives, ainsi que de fertirrigation en maraîchage ou arboriculture fruitière) la fertilisation se raisonne généralement à l'échelle pluriannuelle (durée de la succession-type), et se réalise soit annuellement, soit une année sur deux ou plus si le sol est riche (situations d'impasse). Pour les amendements (organiques ou minéraux) le raisonnement est lui aussi pluriannuel et la réalisation est souvent fonction de contraintes d'épandage (par exemple vidange des installations ou sites de stockage) ;
- Vis-à-vis de l'efficience des apports (mais aussi, dans le cas de l'azote, vis-à-vis de la réduction des risques de fuite préjudiciables), le positionnement des apports dans l'espace et dans le temps est très important. Schématiquement, il s'agit de faire en sorte que la disponibilité et l'accessibilité (proximité vis-à-vis des

(iii) d'un accroissement de la souplesse et de la sécurité dans le choix et la mise en œuvre des systèmes de culture (Boiffin et Sebillotte, 1982).

racines actives) coïncident avec les périodes et sites d'absorption intense par les couverts végétaux. De ce point de vue la localisation des apports au plus près de la plante est bénéfique, en particulier en début de végétation dans le cas des cultures à grands écartements dont la capacité à capter les apports d'éléments nutritifs minéraux est alors réduite et les risques de pertes par lessivage élevés ;

- Pour apporter la bonne dose, au bon moment et au bon endroit, il est important, non seulement de disposer des équipements adaptés, mais aussi de pouvoir s'appuyer sur des Outils d'Aide à la Décision (OAD) permettant de piloter avec précision la fertilisation en fonction des états de la végétation et du milieu ; une condition nécessaire mais non suffisante de ce pilotage fin est de disposer d'indicateurs précis de l'état de nutrition minérale des couverts végétaux. Il en découle un fractionnement progressif des apports dans le temps : les doses d'engrais azotés sur céréales d'hiver sont aujourd'hui couramment apportées en deux ou trois fois ;
- Le stockage du carbone et le maintien de la teneur en matière organique des sols à des niveaux satisfaisants constituent des enjeux importants, vis-à-vis respectivement de la lutte contre l'effet de serre et du maintien des aptitudes culturales des sols cultivés. Du point de vue des aptitudes culturales (et notamment des propriétés physiques contribuant à réduire la sensibilité à la battance et au compactage, et à faciliter la fragmentation par les outils), le principe du conseil agronomique rendu à partir des analyses de terre (logiciel Inra Regifert conçu par l'Inra) consiste avant tout à simuler les évolutions des teneurs à moyen-long terme correspondant au système de culture et régime d'apport/export actuels (Mary *et al.*, 2012), et à éviter une chute des teneurs en deçà de valeurs correspondant à un comportement couramment observé et maîtrisable en conditions climatiques non exceptionnelles. Par contre, la préconisation d'une remontée significative des teneurs reste exceptionnelle compte tenu des coûts et contraintes qu'elle impliquerait pour l'agriculteur. Du point de vue des évolutions, les analyses globales à l'échelle nationale (GIS Sol, 2011 ; Arrouays *et al.,* 2012) font apparaître deux grands ensembles de situations : d'une part, certaines régions où la teneur et le stock baissent en raison de changements d'usage des sols plus ou moins récents (notamment retournement de prairies permanentes, qui engendre une diminution d'allure exponentielle et asymptotique, se prolongeant sur plusieurs dizaines d'années) ; d'autre part, et notamment dans la majorité des régions de grande culture, une stabilisation voire légère remontée à mettre en rapport avec une stabilisation ou réduction des profondeurs de labour (pour ce qui est des teneurs) et des bilans humiques devenus équilibrés voire légèrement excédentaires (pour ce qui est des stocks et teneurs). Par rapport à cette situation, le sujet de préoccupation majeure est l'éventualité d'un changement massif d'usage des terres lié à une régression de l'élevage bovin : retournement de prairies permanentes, nouvelle régression des prairies temporaires ou cultures fourragères pérennes, évolutions susceptibles d'engendrer un déstockage massif et quasi irréversible du Carbone ainsi qu'un relargage lui aussi brusque et massif d'azote minéral, auquel aucune mesure de type CIPAN ou autre ne pourrait remédier. Par ailleurs, une forte extension des surfaces sur lesquelles la biomasse non récoltée à des fins alimentaires serait collectée (cas des pailles) pour des finalités énergétiques, pourrait aussi engendrer une baisse plus progressive mais insidieuse des stocks et teneurs de matières organiques des sols.

Place dans l'exploitation

L'ensemble des pratiques et pratiques élémentaires ici recensées sont directement applicables au niveau de l'exploitation. La pratique « réaliser des apports organiques » est étroitement liée aux MP Gestion des effluents et Choix de successions de culture et assolements ; le pilotage de la fertilisation est en interaction forte avec la MP Choix et gestion des agroéquipements ; et la pratique « utiliser la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique » est en lien étroit avec la MP Choix des successions de cultures et des assolements.

Place au sein de la filière de production

L'introduction d'espèces fixatrices de l'azote atmosphérique doit être appréciée au regard de leur rentabilité intrinsèque, ainsi que de l'assolement et de la rotation dans lesquelles elles s'insèrent. Cela

implique l'analyse de leur valorisation, actuelle et potentielle, au titre de l'alimentation animale, de l'alimentation humaine et/ou de débouchés non alimentaires (Meynard *et al.,* 2012).

Encadré 3.1

Les sources de la fertilisation en France et les problèmes de sur-fertilisation[13]

Les engrais organiques sont produits à partir de matières organiques végétales ou animales alors que les engrais minéraux sont obtenus, soit par synthèse chimique dans le cas de l'azote, soit par exploitation de gisements naturels dans le cas du phosphate et de la potasse.

A – Azote

L'industrie chimique intervient principalement dans la production des engrais minéraux azotés, *via* la synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote de l'air ; cette opération requiert un apport important d'énergie, apport fourni par le gaz naturel (procédé Haber-Bosch). L'appellation des engrais minéraux est normalisée, par référence à leurs trois composants principaux, soit l'azote (N), le phosphore (P) et la potasse (K) ; on distingue les engrais simples (engrais N par exemple), binaires (NP par exemple) et ternaires (NPK).

En France, en 2009, les apports extérieurs d'azote utilisés pour la fertilisation des sols agricoles étaient composés d'engrais azotés de synthèse à hauteur de 2 010 milliers de tonnes (plus de 50% des apports totaux), d'effluents d'élevage à hauteur de 1 820 milliers de tonnes, et marginalement de boues de stations d'épurations et de composts à hauteur de 21 milliers de tonnes (CITEPA, 2011). A ces apports extérieurs, il convient d'ajouter une entrée additionnelle d'environ 520 milliers de tonnes (Duc *et al.* 2010) issus de la fixation symbiotique par les légumineuses ; sur ce tonnage, environ 80% est fixé au sein de prairies permanentes et temporaires et 10% par les cultures de luzerne.

La hausse du prix des engrais azotés, associée à leur instabilité, conduit à s'interroger sur l'adaptation des pratiques de fertilisation. Les raisons de cette hausse sont multiples :

- l'augmentation durable du prix du gaz naturel, matière première indispensable à la synthèse d'engrais azotés ;
- une consommation mondiale accrue d'engrais azotés poussée par la recherche de gains de productivité en Amérique Latine et Asie ;
- des capacités de production limitées, particulièrement en Europe de l'Ouest.

Dans ce contexte, l'exploitation d'autres sources d'azote pour améliorer l'autonomie des systèmes de culture vis-à-vis des engrais azotés est une stratégie pertinente. Le recours aux produits résiduaires organiques et la valorisation des légumineuses dans les systèmes de culture vont dans ce sens.

B – Phosphore et potassium

Le phosphate minéral utilisé dans les engrais est issu de l'exploitation de mines de phosphate. Les principaux problèmes liés à son utilisation sont les risques d'épuisement des stocks mondiaux d'ici 1 à 3 siècles (selon GCL Développement Durable, 2010), et les garanties d'accès à un minerai de qualité (risques de traces de métaux lourds : uranium, cadmium, fluor, etc.).

Contrairement au gaz naturel et dans une moindre mesure au phosphate, les réserves en potassium sont abondantes. Le problème de cette ressource réside dans son inégale répartition sur la surface de la terre : plus de la moitié des ressources (4400 MT) se trouvent dans un seul pays, le Canada. La Russie et la Biélorussie détiennent respectivement 22% et 9% des ressources globales.

C – Les problèmes de sur-fertilisation en France

Suite aux processus de modernisation et de spécialisation de l'agriculture en France, de nombreux problèmes environnementaux sont apparus en lien avec la gestion des éléments minéraux au sein des exploitations. L'épandage d'effluents issus d'exploitations hors-sol sur de trop faibles surfaces, ainsi que la sur-fertilisation minérale, notamment pour l'azote, dans d'autres contextes, ont entraîné une dégradation de la qualité de l'eau (fuites de nitrate conduisant à des phénomènes d'eutrophisation), de la qualité de l'air (émission de microparticules nocives pour la santé des hommes et des animaux), et a contribué au réchauffement climatique (émission de N_2O et O_3) ; cf. Sutton *et al.*, 2011.

[13] Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur vers les travaux menés en 2012 par l'Inra au travers d'une expertise scientifique collective (ESCo) sur "les flux d'azote liés aux élevages". Cette expertise a réalisé un bilan des connaissances scientifiques sur les flux d'azote liés à l'élevage et leur devenir afin de mieux comprendre les pressions environnementales induites et les options permettant de les réduire (Peyraud et Cellier, 2012).

L'azote n'est pas le seul élément responsable de ces problèmes de pollution. Le phosphore peut également engendrer une dégradation de la qualité des eaux superficielles lorsque des transferts se mettent en place depuis les sols vers les écosystèmes aquatiques (Pellerin et Nesme, 2012). En revanche, il n'existe aucun effet négatif connu du potassium sur la qualité de l'environnement (Pellerin *et al.*, 2006). L'enjeu actuel concernant le phosphore est donc de concilier la maîtrise de la nutrition phosphatée des cultures et la limitation des transferts de ce minéral vers les écosystèmes aquatiques. En France, on estime qu'environ 50% du phosphore rejeté dans le réseau hydrographique est d'origine urbaine.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Réaliser des apports organiques pour la nutrition minérale

B1.1 - Apporter des effluents organiques issus de l'élevage en substitution aux engrais minéraux

Cette pratique élémentaire consiste à recourir à des effluents organiques issus des élevages en substitution partielle ou totale aux engrais minéraux. Elle peut par exemple concerner un producteur céréalier achetant des effluents organiques chez des éleveurs plus ou moins éloignés.

A l'échelle de l'exploitation associant cultures et élevages et encore plus à l'échelle des territoires à fortes densités animales, l'évacuation des effluents d'élevage est une contrainte incontournable. La valorisation des apports minéraux qu'ils représentent pour les cultures permet d'abaisser considérablement le coût de la fertilisation. Quand productions animales et végétales sont réalisées dans des exploitations différentes mais néanmoins proches, l'organisation des transferts est un point clé, fréquemment structuré autour d'un échange fumier-paille. A plus longue distance, cette organisation du transfert est un défi qui nécessite de tenir compte des coûts économique et environnemental du transport et souvent aussi des problèmes d'acceptabilité des nuisances qui peuvent y être associées, vis-à-vis des zones résidentielles.

Utiliser des effluents d'élevage pose néanmoins plusieurs problèmes liés à la caractérisation de ces produits (connaissance de leur composition et de leur pouvoir fertilisant), à la maitrise de la disponibilité des éléments nutritifs pour le couvert, aux risques bactériologiques[14], et aux risques d'impacts contraires sur l'environnement, notamment vis-à-vis des compartiments aquatiques et atmosphériques, du fait des pertes azotées (nitrate, ammoniac, protoxyde d'azote) ; au sein de ces différents points, l'homogénéisation et la caractérisation fine du potentiel fertilisant des effluents d'élevage constituent un point central et permettraient de réduire la sensibilité aux aléas pour l'agriculteur.

Cette pratique élémentaire peut avoir un impact négatif sur le rendement du fait des incertitudes de caractérisation des effluents ; il est néanmoins possible d'ajuster les apports, y compris *via* une complémentation d'ammonitrate, et donc de limiter les pertes potentielles de rendement. Des outils de mesure au champ (par exemple, l'outil Quantofix ; cf. Peyraud *et al.,* 2012a) ont été mis au point pour aider l'agriculteur à mieux raisonner les doses d'engrais (organiques et minéraux) apportés et ainsi sécuriser les rendements. Ainsi les logiciels Azofert et Regifert permettent de tenir compte de ces apports et de la dynamique de minéralisation des fractions organiques pour évaluer les doses et modalités d'apport d'éventuels compléments minéraux. Au total, l'impact sur le rendement a donc été jugé neutre, de même que l'impact sur la qualité de la production.

[14] Par exemple, présence possible dans les lisiers de porcs de bactéries telles que des salmonelles ou Escherichia coli (D'Allaire *et al.,* 1999) et/ou de de virus tels que l'hépatite E, reconnus comme des pathogènes pour l'homme (EFSA 2005).

Les charges variables liées au coût d'acquisition et d'utilisation des engrais minéraux diminuent, alors que les coûts d'épandage des effluents organiques sont faibles, voire pris en charge par le propriétaire des effluents ; au total, l'impact sur les charges variables est donc jugé neutre à positif. Il en est de même de la rentabilité et des autres soldes de gestion (VA, EBE, RCAI) alors que les autres performances économiques sont inchangées (dépendance aux aides, diversification des productions, diminution de l'endettement,[15] et amélioration de la transmissibilité). L'autonomie productive est améliorée par un moindre recours aux engrais minéraux achetés en dehors des exploitations.

La pratique élémentaire permet de réduire la consommation indirecte d'énergie (moindre recours aux engrais de synthèse) et la consommation de phosphore. Son impact sur la consommation directe d'énergie est ambigu selon que l'économie réalisée par moindre recours aux engrais minéraux est supérieure, ou pas, à l'utilisation de carburant requise par l'épandage des effluents d'élevage.

La pratique élémentaire a un effet positif net sur la teneur en MO des sols. D'autres performances environnementales peuvent être dégradées : compactage du sol plus élevé du fait du passage des engins d'épandage, plus forte teneur des sols en ETM, en particulier le cuivre et le zinc issus des lisiers, risques de persistance des médicaments vétérinaires, en particulier les antibiotiques et les produits antiparasitaires, et par suite, pollution potentielle des masses d'eau. Ces effets contraires possibles sont toutefois d'ampleur et fréquence limitées. Si on les situe par rapport aux impacts qu'aurait la même quantité d'éléments NPK par voie d'engrais minéraux, on peut même considérer qu'il y a un avantage relatif important. De plus, il a été montré que l'efficacité des Cultures Intermédiaires Piège à Nitrate (CIPAN) est équivalente quelle que soit la source de fertilisation utilisée (Leterme et Morvan, 2010). Les risques liés aux pertes d'azote et de phosphore vers les masses d'eau sont donc jugés neutres, encore une fois en se situant par référence à une fertilisation d'origine industrielle externe.

L'utilisation d'effluents d'élevage peut s'accompagner d'émissions importantes de NH_3 lors du stockage ou de l'épandage des effluents organiques au champ par volatilisation (Peyraud *et al.*, 2012b). Cette pratique élémentaire peut également se traduire par des émissions d'odeurs qu'il est possible de réduire, dans le cas des fumiers par compostage (réduction très significative), dans le cas des lisiers, avant tout par des techniques d'enfouissement concomitant à l'épandage, secondairement *via* des traitements par oxygénation qui réduisent fortement les odeurs au moment de l'épandage.

Enfin, le temps de travail de l'agriculteur et sa pénibilité augmentent du fait des opérations culturales supplémentaires engendrées par cette pratique élémentaire, des apprentissages et observations supplémentaires à réaliser ou des débits de chantier plus faibles.

B1.2 - Apporter des effluents organiques d'origine urbaine ou industrielle en substitution aux engrais minéraux

Cette pratique élémentaire est très proche de la précédente à l'exception de l'origine des effluents organiques qui sont ici d'origine urbaine (par exemple, des boues de stations d'épuration) et/ou industrielle (par exemple, des eaux de rinçage). Ses impacts sur les différentes performances sont donc identiques, à l'exception d'une altération possible de la qualité de la production (par la présence d'éléments trace métalliques ou de composés traces organiques, issus de contaminants tels que les hydrocarbures ou les détergents, qui ne sont pas présents dans les effluents d'élevage).

[15] Il n'y a pas ici, au niveau de la présente pratique élémentaire, d'augmentation de la charge d'endettement qui serait liée à la nécessité de disposer, d'une manière ou d'une autre (possession, location, entraide, etc.), d'un matériel d'épandage des effluents d'élevage. Le choix de la neutralité de la performance « endettement » s'explique par le fait que nous avons défini une MP spécifiquement dédiée à la gestion des effluents d'élevage, y compris leur épandage. Nous reconnaissons bien volontiers que ce choix est subjectif, illustration si besoin était de la difficulté d'analyser les performances de chaque pratique élémentaire toutes choses égales par ailleurs, illustration aussi de la nécessité de dépasser le stade de chaque pratique élémentaire considérée individuellement pour une analyse des systèmes, plus spécifiquement des pratiques élémentaires et pratiques qui font système.

Les effluents d'origine urbaine ou industrielle étant relativement peu onéreux à l'achat, les résultats économiques sont ici jugés comparables à ceux obtenus dans le cadre de la pratique élémentaire précédente.

B2 - Raisonner et ajuster la fertilisation

Raisonner et ajuster la fertilisation sont des démarches cruciales, tant pour assurer la production en quantité et en qualité que pour assurer la préservation des ressources naturelles fossiles, limiter les risques pour l'environnement et assurer à moyen long-terme l'entretien des aptitudes culturales des sols. De façon générale, les quatre pratiques élémentaires décrites ci-après ont pour objectif d'optimiser les quantités apportées au vu des objectifs de production et de durabilité, d'améliorer l'efficience des apports de fertilisants minéraux et/ou organiques, et de réduire les consommations énergétiques indirectes et les risques d'impacts environnementaux contraires.

B2.1 - Réaliser des apports d'éléments fertilisants localisés

Sur le plan technique, la localisation des apports consiste à positionner les éléments fertilisants dans la zone optimale d'exploration racinaire du couvert afin de les rendre accessibles plus rapidement et facilement, ceci permettant une accélération du développement de la plante pendant les jeunes stades. Une telle localisation est particulièrement adaptée aux cultures à grands écartements, notamment en semis de printemps car c'est en conditions froides que les effets positifs de cette pratique élémentaire (cf. infra) sont les plus importants.

L'engrais solide est apporté au moment du semis à proximité immédiate du rang de semis. Cette pratique élémentaire est fréquemment utilisée dans le cas de la conduite du maïs, de la betterave et plus rarement du tournesol. De plus en plus de constructeurs d'agroéquipements proposent aujourd'hui des semoirs adaptés pour la fertilisation localisée.

Cette pratique élémentaire a possiblement deux effets négatifs, mais d'ampleur limitée : elle peut entraîner un besoin de traction matérielle légèrement plus élevé, besoin accru qui conduit à une augmentation de la consommation directe d'énergie (carburant) ; elle peut également entraîner une augmentation de l'endettement du fait d'un investissement accru car des socs spécifiques sont requis pour disposer l'engrais au plus près de la plante. A ces deux exceptions, toutes les autres performances sont ou améliorées ou laissées inchangées. La pratique élémentaire permet en particulier d'accroître la production quantitative et qualitative ; d'améliorer les performances économiques (rentabilité, soldes de gestion, autonomie productive, dépendance aux aides) ; de réduire les consommations d'énergie indirecte et de phosphore ; de réduire les utilisations et émissions de nitrate et de phosphore, ainsi que les émissions de GES et de NH_3. Le temps de travail de l'agriculteur est inchangé et la sensibilité aux aléas économiques (prix des engrais) et climatiques (sécurisation de l'implantation des cultures en conditions défavorables) est réduite.

Au final, il s'agit d'une pratique élémentaire à effet globalement positif mais d'ampleur modeste, dont on ne peut que recommander la généralisation sur les cultures et les sols où il est possible et intéressant de la mettre en œuvre : cultures à grand écartement (maïs, betterave, tournesol), semis très précoces (orge de printemps, pois de printemps) et sols dont la disponibilité en phosphore est réduite.

B2.2 - Fractionner les apports

Le fractionnement des apports permet lui aussi d'adapter au plus près la dose apportée aux capacités d'adsorption de la plante, ces dernières étant très variables au cours du cycle.

Pour l'azote, cette pratique élémentaire est aujourd'hui d'usage généralisé en céréales, avec des apports en deux, trois voire quatre passages. Les travaux de Mignolet *et al.* (2004) illustrent bien cette transition, qui a été corrélative d'une augmentation des apports et des rendements (cf. Figure 3.1).

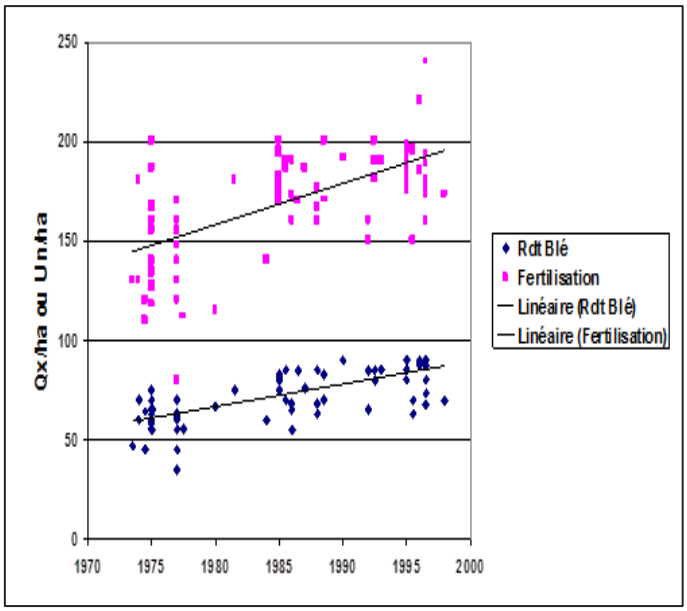

Figure 3.1 : *Evolution de la quantité apportée d'azote minéral apportée et du rendement du blé entre 1970 et 2000 sur le territoire du Bassin de la Seine ; Source : Mignolet et al. (2004) sur la base d'une enquête à dire d'experts.*

En assurant une meilleure couverture des besoins des cultures, cette pratique élémentaire améliore à la fois le rendement et la qualité des produits (teneur en protéines des céréales). Dans la mesure où elle n'entraîne que peu de coûts additionnels (augmentation du nombre de passages) et permet de réaliser des économies en matière de consommation d'engrais, les charges variables sont inchangées, voire légèrement réduites. Les autres performances économiques de court terme sont également améliorées (rentabilité, VA, EBE, RCAI, autonomie productive et dépendance aux aides).

Le fractionnement des apports augmente la consommation directe d'énergie du fait d'un nombre de passages plus élevé, ce qui a pour effet d'accroître les émissions de GES liées à la consommation de carburant. En revanche, plusieurs performances en matière de consommation de ressources fossiles et de préservation de l'environnement sont améliorées : diminution de la consommation indirecte d'énergie et de la consommation de phosphore, réduction des utilisations et des émissions de nitrate et de phosphore, diminution des émissions de NH_3.

En revanche, cette pratique élémentaire augmente le temps de travail de l'agriculteur. On peut se demander si elle accroit ou non la sensibilité aux aléas : les conditions météorologiques et leurs conséquences sur le milieu physique peuvent en effet empêcher la réalisation d'un apport au moment pourtant où celui-ci serait nécessaire : soit le sol n'est pas assez ressuyé à la date où l'apport devrait être réalisé, soit les conditions météorologiques (absence de pluies) ne permettent pas une solubilisation de l'engrais et favorisent sa volatilisation en ammoniac (phénomène exacerbé si les températures sont élevées). De fait, les régions les plus défavorables à la mise en œuvre de cette pratique élémentaire sont celles où des périodes sèches (défavorable à l'absorption par le couvert en fin de cycle) surviennent fréquemment. Néanmoins, en réalité, les apports fractionnés se situent au printemps, à des périodes où les conditions climatiques ne sont que rarement défavorables de façon prolongée et permettent de tenir compte de la croissance réelle pour définir les apports. De fait, il y a plutôt réduction de la sensibilité aux aléas (climatiques), ce qui, combiné avec l'amélioration de nombreuses autres performances (cf. *supra*), explique la généralisation de cette pratique élémentaire.

B2.3 - Utiliser des OAD pour le raisonnement des apports (N, P, K et autres éléments)

Le raisonnement des apports requiert la prise en compte de nombreuses informations : (i) les quantités et la disponibilité des éléments minéraux dans le sol, le plus souvent fournies par divers types d'analyse de terre, (ii) l'espèce cultivée voire la variété, (iii) l'objectif de rendement atteignable sur la parcelle (iv) dans certains cas, l'état nutritionnel des cultures (cf. ci-dessous B.2.4.) ; (v) un grand nombre de paramètres complémentaires, accessibles soit par analyse de terre, soit par les enregistrements des agriculteurs, soit par divers types de bases de données et référentiels (carte des sols, données météo, etc.) : le type de sol et sa profondeur, la quantité et les caractéristiques des effluents, la période et les modalités des apports, les antécédents culturaux, le climat et la météo, etc. Compte tenu de la quantité des données à mobiliser, de leur difficulté d'accès, de la complexité des calculs à réaliser, le raisonnement des apports met aujourd'hui en jeu non seulement des OAD assez sophistiqués (cf. par exemple Azofert, Regifert), mais plus globalement de véritables chaînes de services incluant divers types d'opérateurs spécialisés (notamment laboratoires d'analyses, incluant ou non selon les cas des services de conseil). Malgré ce degré important d'externalisation, l'utilisation des OAD relatifs à la fertilisation demande de la part de l'agriculteur une technicité et un niveau d'implication personnels assez élevés, tant en amont au niveau de la planification des analyses, qu'en aval pour bien exploiter les conseils, de la parcelle jusqu'au plan de fumure et à la commande d'engrais. De tels outils et services existent pour les grandes cultures, mais aussi pour les espèces ligneuses en vigne et arboriculture fruitière. Ils sont mobilisés dans une perspective stratégique en amont de la campagne culturale (plan de fumure) ou, pour l'azote, à la sortie de l'hiver après la phase de drainage ; certains outils peuvent également être utilisés pendant le cours de la campagne de façon à permettre des ajustements, en s'appuyant alors sur des indicateurs de l'état de nutrition azotée des plantes obtenus à l'aide d'outils ad hoc ; ces derniers sont décrits et analysés dans la pratique élémentaire suivante B2.4, mais on notera d'ores et déjà la complémentarité des outils ici considérés et de ceux de la pratique élémentaire suivante.

La pratique élémentaire a un effet positif sur les performances productives, quantitatives et qualitatives, et les performances économiques de court terme malgré son coût non négligeable : en effet il a été souvent montré que la pratique des analyses de terre et OAD associés se traduisait le plus souvent, par rapport à une situation de non-pratique, soit par la correction de carences préjudiciables au rendement, soit par une réduction substantielle de coûts inutiles. Elle réduit la consommation indirecte d'énergie et l'utilisation de phosphore, ainsi que les émissions de nitrate, de phosphore et de GES. Elle permet aussi de réduire la sensibilité aux aléas. Toutes les autres performances sont inchangées à l'exception du temps de travail de l'agriculteur qui peut être notablement accru : sauf exception (et le service supplémentaire est alors payant), il doit planifier les prélèvements d'analyse de terre, remplir le questionnaire d'accompagnement, prendre connaissance des résultats et faire des choix pour établir un plan de fumure et une commande d'engrais aussi proche que possible du conseil théorique. Enfin, la fertilisation raisonnée implique obligatoirement un nombre d'épandages et de formules d'engrais plus élevé qu'une fertilisation « passe-partout » qui ne serait différenciée que selon les cultures, et qui serait simplifiée à l'extrême grâce à l'utilisation d'engrais ternaires.

B2.4 - Utiliser des outils de pilotage de la nutrition en cours de campagne

La croissance de la culture dépend de facteurs climatiques non maîtrisés par le producteur agricole. Ce dernier a défini, en début de campagne, un plan stratégique de fertilisation, c'est-à-dire un plan prévisionnel de fertilisation, obligatoire d'un point de vue réglementaire et basé sur le principe d'un « équilibre des fumures »[16] en ayant éventuellement recours à des OAD de raisonnement des apports (cf.

[16] Le bilan de masse du stock d'azote minéral du sol sur la profondeur explorée par les racines de la culture se résume ainsi : État final - État initial = Entrées – Sorties. Les entrées étant, entre autres, les apports d'azote minéral des engrais et des fertilisants organiques, la fixation symbiotique ou encore la minéralisation de l'humus, des produits résiduaires organiques ; tandis que les sorties sont l'absorption par le couvert, la lixiviation de l'azote nitrique ou encore la volatilisation de l'azote ammoniacal, entre autres. (COMIFER 2012, d'après les travaux de Rémy et Hébert 1977).

supra). Des outils de pilotage tactique des apports, pendant le cours de la campagne, permettent d'optimiser de façon précise les apports en fonction du développement du couvert (par exemple, en tenant compte de la nutrition déjà réalisée), mais aussi en fonction des prévisions météorologiques.

L'équipement N-tester est l'outil de pilotage le plus utilisé aujourd'hui dans l'hexagone. Il mesure optiquement la teneur en chlorophylle des feuilles car c'est un indicateur très fiable de l'état de nutrition azotée de la plante. L'Inra, de son côté, a développé la méthode Jubil qui, sur la base de l'analyse du jus de base de tige ou de pétiole, permet de gérer la fertilisation azotée du blé.[17] Citons aussi le suivi satellitaire de la production de biomasse à l'aide de l'outil Farmstar, coproduit par Astrium, Arvalis-Institut du Végétal et le Cetiom, et déployé sur 500 000 hectares en 2012.[18] Ces outils visent à adapter la fertilisation azotée selon le développement de la plante en suivant de façon dynamique la croissance de cette dernière.
Il existe également des équipements embarqués sur des tracteurs qui mesurent en temps réel l'état de la végétation, ce qui permet d'adapter en temps réel les apports d'engrais à l'état de la végétation (pour plus de détails, voir la pratique élémentaire « Moduler la fertilisation au sein des parcelles » issue de la MP « Choix et gestion des agroéquipements »).

Les impacts de cette pratique élémentaire sur les différentes performances sont quasiment identiques à ceux de la pratique élémentaire précédente. Néanmoins, les coûts d'acquisition, d'abonnement et d'utilisation de certains de ces dispositifs peuvent être élevés, ce qui peut impacter négativement certaines performances économiques. C'est le cas, en particulier, des dispositifs Farmstar et N-Sensor, outils qui ont néanmoins l'avantage de permettre une automatisation accrue des tâches et ainsi de réduire la surcharge de travail occasionnée par ces outils.

B3 - Utiliser la fixation symbiotique comme source d'azote

Les légumineuses (protéagineux, légumineuses fourragères, légumes secs, etc.) ont la capacité d'utiliser directement l'azote de l'air pour leur nutrition azotée, grâce au processus dit de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

B3.1 - Introduire des légumineuses à graines dans la rotation

Les légumineuses cultivées pour la production de graines (pois, fèves et féveroles, lentilles, lupins, pois chiches), parfois aussi regroupées sous les noms de protéagineuses pour certaines d'entre elles et de légumes secs pour d'autres, peuvent être introduites au titre de cultures de rente (elles sont alors récoltées pour être vendues et/ou autoconsommées), en ajout ou en substitution à d'autres cultures non légumineuses de la rotation.[19]

Les cultures de légumineuses à graines ont connu une forte augmentation en France au début des années 1980 et ont atteint un maximum en 1991. Ce plafond de 700 000 hectares, en pois protéagineux pour l'essentiel, a été suivi d'une longue période de décroissance qui s'explique par la faiblesse des rendements, et même leur décroissance, et un accroissement du différentiel de marge à l'hectare relativement à d'autres cultures de rente, céréales et oléagineux. La baisse des rendements est liée à la forte pression sanitaire forte, en particulier le développement d'une maladie tellurique engendrée par

[17] Pour plus de détail, voir http://www7.inra.fr/internet/Directions/DIC/presinra/SAQfiches/jubil.htm : Jubil, d'un indicateur précoce, sensible et robuste...à un système de pilotage fiable et performant.
[18] Pour plus de détails, voir https://www.farmstar-conseil.fr/agriculture_durable.html.
[19] Lorsque la succession des cultures d'une même parcelle constitue un motif régulier (culture A - culture B - culture C - culture A - etc.), on parle de rotation (notion temporelle) ; on parle aussi, de façon équivalente, de succession des cultures. L'assolement quant à lui décrit la répartition dans l'espace (et en termes de surfaces) des cultures des différentes parcelles (notion spatiale). Pour plus de détails, voir la MP Choix des successions de cultures et des assolements.

Aphanomyces euteiches, et, corrélativement, le déplacement de la production, pour éviter la pression d'Aphanomyces, vers des parcelles voire des régions moins bien adaptées au pois, notamment parce que disposant d'une réserve hydrique plus faible (Duc *et al.*, 2010).

En conséquence, l'introduction de légumineuses à graines de façon générale, du pois protéagineux plus spécifiquement, a été considérée comme entraînant une diminution de la production sur la parcelle concernée lors de l'année de culture. En outre, le rendement des légumineuses à graines varie (très) fortement d'une année sur l'autre, ce qui a pour effet d'augmenter l'exposition et la sensibilité aux aléas : il s'agit là de la performance la plus impactée négativement ; cf. Figure 3.2.

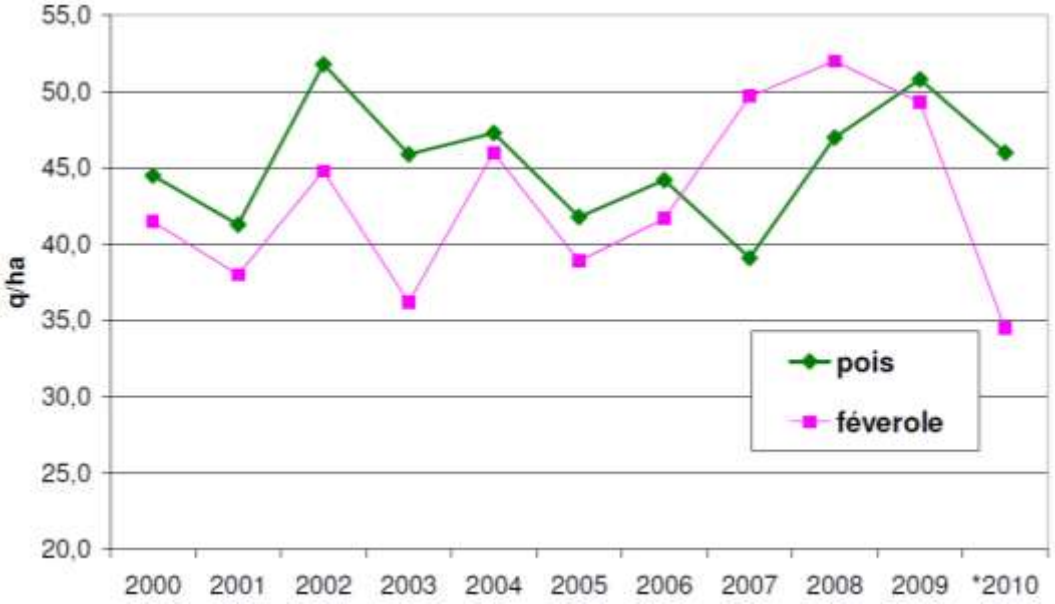

Figure 3.2 : *Evolution des rendements des pois et féveroles en France (q/ha). Source : Duc* et al. *(2010)*

Néanmoins, et c'est un point crucial, les légumineuses à graines peuvent entraîner un gain de rendement pour la culture qui les suit, par exemple + 7,4 quintaux par hectare pour un blé tendre d'hiver implanté après un pois selon les résultats du CASDAR Pois-Colza-Blé (Carrouée *et al.*, 2012), avec une variabilité de ce gain en fonction des contextes pédoclimatiques et des ajustements de fertilisation (de +6 à +12 quintaux).

La maîtrise technique de la conduite des légumineuses et des cultures qui leur succèdent est un paramètre clef pour l'obtention d'un rendement optimisé à l'échelle de la rotation, toutes cultures de la rotation confondues ; cette maitrise technique concerne en particulier le travail du sol (les sols profonds qui permettent une bonne couverture des besoins en eau seront plus favorables) et la position des légumineuses à graines dans la rotation (adaptation de la légumineuse au précédent et au successeur, notamment en termes de sensibilité aux bioagresseurs : les espèces de la rotation ne devant pas être sensibles aux mêmes bioagresseurs).

Dans cette perspective, on insistera sur les conditions d'implantation des légumineuses à graines qui déterminent pour une large part l'efficacité du processus de fixation symbiotique. Les légumineuses à graines étant des espèces à grosses graines, un semis à faible profondeur dans un sol bien préparé et peu sensible à la battance est une condition importante pour assurer une bonne implantation ; seule la féverole, en particulier la féverole d'hiver, tolère les semis profonds.

De l'analyse précédente, il ressort qu'il faut mieux quantifier l'effet de l'introduction de légumineuses à graines dans la rotation sur les rendements mesurés à l'échelle de la rotation ; on a ici jugé que l'effet est neutre ou négatif pour tenir compte de la pénalisation que constitue l'introduction de la légumineuse elle-même, mais nous avons conscience que cette pénalisation, en partie arbitraire, devra être remise en

question si les rendements et débouchés des légumineuses à graines permettent à nouveau à celles-ci de concurrencer avantageusement blé et colza dans les assolements céréaliers. De plus, cette introduction permet le plus souvent d'améliorer la qualité des cultures de l'exploitation, notamment en matière de teneur en protéines avec, à nouveau, une variabilité selon les contextes pédoclimatiques et les rotations considérées ; on a jugé que l'effet sur la qualité est neutre ou positif.

L'introduction de légumineuses à graines permet de réduire les apports extérieurs d'azote et par suite, les charges de fertilisation azotée. C'est la moindre production quantitative de la légumineuse à graines et sa moindre valorisation économique qui dictent l'évolution à la baisse des performances économiques de court terme (rentabilité, VA, EBE et RCAI), et ceci en dépit d'une production, quantitative et qualitative, égale ou améliorée de la culture suivante et de charges variables ajustées à la baisse. La valorisation d'une rotation comprenant des légumineuses à graines est aujourd'hui plus difficile que celle d'une rotation alternative sans légumineuses à graines, ceci quel que soit le débouché visé pour ces dernières : alimentation humaine, alimentation animale et/ou débouchés non alimentaires.

La pratique élémentaire a pour effet d'augmenter l'autonomie productive de l'exploitation (par moindre recours aux engrais azotés acquis en dehors de l'exploitation), et de diversifier les cultures de l'exploitation, concourant ainsi à augmenter la classe de performances « Robustesse ». Néanmoins, cette même classe de performances peut être détériorée du fait d'une dépendance aux aides augmentée dans la mesure où les légumineuses à graines bénéficient / bénéficieraient d'un soutien budgétaire spécifique.

La pratique élémentaire réduit la consommation indirecte d'énergie fossile (moindre consommation d'engrais azotés) ; elle n'a pas d'impact sur la consommation directe d'énergie et la consommation de phosphore ; elle a un impact potentiellement négatif sur la consommation d'eau pour l'irrigation là où celle-ci est utilisée dans la mesure où les légumineuses à graines sont sensibles à la contrainte hydrique (dans ce cas, l'efficacité de la fixation symbiotique de l'azote de l'air diminue sensiblement). Ses impacts sur les performances environnementales sont positifs ou neutres : augmentation du taux de MO des sols ; réduction des utilisations de produits phytosanitaires, en particulier d'herbicides, à l'échelle de la succession culturale et de la rotation ; diminution des émissions de GES par réduction de la quantité d'ammonitrate à l'échelle de la succession culturale et de la rotation ;[20] diminution des émissions de NH_3 ; et plus grande diversité des cultures.

L'impact sur les émissions de nitrate est ambivalent : d'une part on observe une moindre consommation d'engrais azotés industriels ou organiques, mais d'autre part des reliquats post-récolte et entrée hiver souvent plus importants juste après un pois. Il y a donc un risque de lessivage des nitrates plus sévère après la culture de pois (corrigeable par l'implantation d'une culture intermédiaire ou le placement après précédent pois d'un « suivant » colza à absorption précoce). Il est donc essentiel de bien positionner la légumineuse au sein de la rotation (Carrouée *et al.*, 2012).

Cette pratique élémentaire peut être étendue à l'introduction de légumineuses fourragères dans la rotation, en particulier la luzerne. Les performances productives, environnementales et sociales sont identiques. De même pour les performances économiques qui requièrent une valorisation en alimentation animale possible par déshydratation et/ou utilisation en foin (sur l'exploitation et/ou à la vente à des éleveurs).

B3.2 - Cultiver des légumineuses en association avec des cultures annuelles

La présente pratique élémentaire est un cas particulier de la pratique élémentaire B1.1 « Pratiquer des associations de cultures sur une même parcelle » de la MP Choix des successions de cultures et des assolements, pratique élémentaire B1.1 qui n'est ni limitée aux légumineuses, ni aux cultures annuelles.

[20] Carrouée *et al.* (2012) ont montré que les absences d'émissions de N_2O en période de culture du pois protéagineux et d'émissions de N_2O et CO_2 lors de la fabrication des engrais azotés économisés permettent une diminution significative des émissions de GES à l'échelle de la rotation : cette baisse est de 2,2 tonnes $eqCO_2$ sur 5 ans pour une succession colza/blé tendre/pois/blé tendre/orge et de 1,8 tonne sur 4 ans pour une succession pois/colza/blé tendre/orge.

Pratiquer l'association de cultures consiste en la culture simultanée d'au moins deux espèces distinctes sur une même parcelle durant une période significative de leurs cycles de développement. Cette pratique élémentaire consiste en la combinaison d'une légumineuse et d'une espèce non fixatrice d'azote, en général une graminée (céréale), plus rarement une crucifère (par exemple le colza). Les principaux bénéfices attendus d'une telle association sont une moindre sensibilité aux aléas, un accroissement de la biomasse totale produite, une amélioration de qualité des grains de la culture principale et une amélioration de plusieurs performances environnementales (Hellou, 2013 ; Justes *et al.,* 2009 ; Bedoussac *et al.,* 2010).

Dans le cas des associations avec valorisation marchande du grain hors de l'exploitation, plusieurs contraintes techniques freinent, du moins jusqu'à ce jour, le développement des associations de cultures ; le frein principal est lié à la difficulté de trier les graines au stade de la collecte pour utilisation en alimentation humaine, cette utilisation étant le plus souvent celle qui est à même d'assurer la meilleure valorisation économique des récoltes. Sauf exceptions, les organismes de collecte ne sont pas aujourd'hui équipés pour assurer la séparation des différents composants d'un mélange ; or, il s'avère que la présence de résidus d'une autre espèce conduit souvent à diminuer la valeur marchande du grain, voire exclure ce dernier de plusieurs usages en alimentation humaine. Les développements technologiques récents, en particulier le développement de trieurs optiques à haut débit, pourraient modifier la donne sur la ou les prochaines décennies. La situation est différente dans les cas des utilisations de la récolte en autoconsommation, le problème étant alors celui de la caractérisation de la valeur alimentaire du mélange récolté.

Dans l'état actuel des équipements en aval des exploitations, la pratique élémentaire ici considérée a donc des effets ambivalents sur les performances économiques de l'exploitation (rentabilité, VA, EBE et RCAI), en dépit d'effets plutôt positifs sur le volume et la qualité de la production végétale de l'exploitation. L'impact économique serait plutôt positif dès lors que les associations de cultures sont consommées par les animaux de l'exploitation, ou d'une exploitation voisine, et cet impact économique pourrait également devenir positif demain si le triage en aval devient une technique répandue, facile et peu couteuse.

L'association de légumineuses et de céréales permet de réduire les charges variables (engrais et produits phytosanitaires) et donc d'accroître l'autonomie productive. La fixation de l'azote de l'air par la légumineuse est encouragée par la compétition pour l'azote minéral par l(es) espèce(s) associée(s) non fixatrices et plus efficaces que la légumineuse pour capter l'azote minéral. Dans le cas d'associations à deux partenaires implantés avec les mêmes densités, ceci conduit à préconiser une réduction de la fertilisation azotée minérale par quatre. La fertilisation doit être précisément adaptée aux objectifs de production en tenant compte de la présence simultanée des deux espèces qui ont des dynamiques de développement distincts ; si le raisonnement de la fertilisation est inadapté, les risques de fuites de nitrate peuvent être plus importants.

Le stock d'azote et de carbone organiques du sol augmente, ce qui permet d'assurer une meilleure stabilité structurale de ce dernier et de limiter les risques d'érosion et de ruissellement. Plusieurs performances liées aux propriétés du sol sont donc améliorées (moindre risques d'érosion et augmentation de la teneur en MO). Plusieurs performances liées à la qualité de l'eau (réduction des utilisations de produits phytosanitaires notamment) peuvent être notablement améliorées.
L'association de cultures permet de réduire la pression des bioagresseurs (maladies, adventices et ravageurs) par rapport à celle exercée en régime de cultures utilisées pures. Cette moindre pression a pu être observée en grandes cultures (Bedoussac *et al.,* 2010), observée et analysée dans le cas des prairies à flore complexe (Latz *et al.,* 2012). Elle permet une réduction au minimum potentielle des utilisations de pesticides, en particulier de fongicides, en régime de cultures mixtes relativement à un régime où les mêmes cultures sont également cultivées, mais séparément.
La baisse de la consommation d'engrais azotés a pour corollaire une diminution de la consommation indirecte d'énergie fossile, ainsi que des émissions de GES et de NH_3. L'association des cultures a aussi un impact favorable sur la biodiversité.

L'impact de cette pratique élémentaire sur le temps de travail de l'agriculteur est ambivalent : elle complique la conduite et en particulier la récolte, mais en contrepartie, la pression phytosanitaire réduite et la moindre utilisation d'engrais permettent de diminuer le nombre de passages dans les parcelles et donc le temps de travail associé. Moins de pesticides et d'engrais diminue l'exposition aux risques potentiels associés. Enfin, la pratique élémentaire permet de réduire la sensibilité aux aléas économiques et climatiques.

B3.3 - Introduire des légumineuses comme cultures intermédiaires, en culture pure ou en mélange

En périodes d'interculture, les parcelles peuvent être emblavées avec des couverts d'interculture. Ces derniers peuvent être constitués d'une légumineuse, soit en association avec d'autres espèces (légumineuses ou non), soit en cultures pures. Nous nous intéressons ici au cas de figure où le couvert est constitué d'au moins une espèce de légumineuse (ex. pois, féverole, vesce, trèfle incarnat, etc.).

A la lumière des impacts sur les différentes performances, la présente pratique élémentaire est proche de la pratique élémentaire B3.1 *supra* (« introduire des légumineuses à graines dans la rotation »), puisqu'il s'agit aussi d'insérer une légumineuse à la différence que celle-ci s'intercale entre deux cultures de rente et ne fait pas l'objet d'une récolte. Nous pouvons également faire le parallèle avec la pratique élémentaire « implanter des couverts d'interculture à fonction agroécologique » que l'on retrouve dans les MP « Travail du sol et gestion de l'état de surface », « Gestion de l'eau et de sa qualité » et « Diversification des successions de cultures et des assolements ».

L'impact de cette pratique élémentaire sur les performances productives, sur les plans quantitatif et qualitatif, doit être apprécié en fonction de la culture suivante : l'apport d'azote par la légumineuse aurait alors pour conséquence d'améliorer quantité et qualité de la culture suivante (Justes *et al.*, 2012), tout en diminuant l'apport d'engrais azoté nécessaire.

Les principaux impacts de la pratique élémentaire sur les différentes performances peuvent être ainsi résumés :

- Les impacts sur les performances économiques sont ambivalents du fait d'une hausse des charges liés à la conduite du couvert d'interculture (coût onéreux des semences de légumineuses, charges de mécanisation) mais en contrepartie d'une économie d'engrais azotés et d'un léger gain de rendement pour la culture suivante. Au final, d'après les essais menés par ARVALIS - Institut du Végétal (Labreuche, 2011), les impacts de l'implantation d'un couvert d'interculture à base de légumineuses sur la marge nette de l'exploitation sont légèrement négatifs, tout en étant moins pénalisants que les résultats issus d'une interculture implantées avec des non-légumineuses. Seule l'autonomie productive est jugée positivement car cette pratique élémentaire permet de diminuer la part d'engrais azotés achetés en dehors de l'exploitation ;
- L'implantation d'une culture (pure ou mixte) de légumineuses lors de l'interculture augmente la consommation directe d'énergie, la consommation d'énergie indirecte et les émissions de GES qui leur sont liées par rapport à une conduite de l'interculture sans implantation d'un couvert. Malgré tout, on estime que ces impacts négatifs sont plus que compensés par la réduction de la fertilisation azotée sur la culture suivante : au total, il y a donc diminution des consommations directe et indirecte d'énergie, et des émissions de GES ;
- La consommation d'eau peut être légèrement augmentée, la légumineuse consommant de l'eau pour son propre développement au détriment potentiel de la culture suivante ; cet effet est de toute façon limité dans la mesure où l'interculture est positionnée en hiver où il y a normalement un excédent pluviométrique, cependant la recherche hydrique de l'aquifère sera effectivement diminué de la quantité transférée ;
- Par sa fonction de couverture du sol pendant l'interculture, cette pratique élémentaire permet de limiter les risques d'érosion et de lessivage de nitrate et de phosphore vers les masses d'eau. La

légumineuse permet également d'enrichir le sol en MO et, d'améliorer la structure du sol, si elle est implantée et détruite dans de bonnes conditions ;

- Le temps de travail de l'agriculteur est augmenté du fait de la culture supplémentaire, même si certaines opérations culturales préalables à la culture suivante peuvent ainsi être réduites, notamment le labour. Enfin, la sensibilité aux aléas économiques est réduite grâce à une moindre dépendance aux engrais azotés achetés à l'extérieur.

B3.4 - Introduire des légumineuses comme couvert associé (non récolté) d'une culture de rente

En lien avec la pratique élémentaire précédente, une technique alternative consiste à introduire une ou plusieurs légumineuses en association temporaire avec une culture de rente. La(les) légumineuse(s) n'étant pas destinée(s) à produire des graines.

Alors que plusieurs essais sont toujours en cours, de nombreux résultats positifs ont déjà été obtenus sur colza en association temporaire avec un couvert gélif de légumineuses (lentille, gesse, fenugrec, pois, féverole, vesce, etc.). Les couverts associés peuvent alors répondre à plusieurs objectifs : concurrencer les adventices (couvert de lentilles, par exemple) ; participer à la restructuration du sol par son système racinaire (couvert de féverole ou de gesse, par exemple.) ; ou encore fournir de l'azote au printemps pour le colza. En automne, le couvert se développe au côté du colza ; et en hiver, le gel détruit le couvert, sans recours aux herbicides, de sorte à ce qu'il ne concurrence pas le colza au printemps et au contraire lui fournisse de l'azote par une minéralisation rapide (Labreuche, 2011). Des travaux plus anciens aux Etats-Unis avaient testé l'utilisation de luzernes annuelles (*Medicago truncatula, Medicago polymorpha, Medicago scutellata*) comme espèce compagne du maïs, avec des résultats trop variables pour qu'ils aient donné lieu au moindre développement pratique. Le développement de la luzerne annuelle était difficilement prévisible, avec parfois des situations de compétition forte vis-à-vis du maïs lors de la phase d'installation (Smeltekop *et al.,* 2002).

L'introduction de légumineuses au titre de couvert associé non récolté a un impact variable sur le rendement de la culture principale. Ce rendement est généralement augmenté grâce à l'apport d'azote par la légumineuse compagne et la réduction de la compétition avec certaines adventices. Néanmoins, si le dispositif n'est pas bien maîtrisé, le couvert associé peut entrer en compétition avec la culture de rente (énergie photosynthétique) et ainsi pénaliser sa croissance. Cette compétition sur les ressources peut aussi s'exercer sur l'eau et nécessiter une irrigation de la culture de rente qui n'en a pas nécessairement besoin quand elle est cultivée seule (un tel processus n'a pas lieu avec le colza).

L'impact de la pratique élémentaire sur les charges variables est plutôt positif, les économies d'engrais azotés sur la culture de rente étant généralement supérieures au coût d'implantation du couvert associé. En dépit, et parce que l'impact sur la production quantitative est ambigu (cf. *supra*), la pratique élémentaire a un impact également ambigu sur la rentabilité, la VA, l'EBE et le RCAI. L'autonomie productive de l'exploitation est augmentée par moindre recours aux engrais azotés acquis en dehors de celle-ci.
La présence temporaire d'une légumineuse dans l'inter-rang permet de réduire les risques de transferts de nitrate par lessivage et d'améliorer la structure du sol. Les risques d'érosion sont également réduits alors que le taux de MO du sol augmente, notamment grâce à la décomposition de la légumineuse après l'hiver.
L'introduction de légumineuses au titre de culture compagne permet de réduire, de façon toutefois limitée, la pression des adventices ; très rares sont les données disponibles quant aux effets sur les autres bioagresseurs, champignons et insectes notamment : ces effets devraient plutôt être positifs, mais d'ampleur de toutes façons limitée car la culture compagne ne reste en place que peu de temps.

La difficulté essentielle de cette technique émergente est sa réussite aléatoire (du moins à ce jour), et ceci pour plusieurs raisons. En premier lieu, il s'agit d'une technique nouvelle, à un stade encore exploratoire pour plusieurs dimensions / impacts. Dans le cas du colza, des premiers travaux encourageants ont été

conduits par InVivo et le Cetiom ; ils doivent encore être confortés dans l'objectif premier d'identifier les déterminants de la réussite, notamment les espèces compagnes les plus pertinentes et les densités d'implantation. La seconde raison tient au fait que les semis sont réalisés normalement dans les conditions optimales pour la culture de rente, conditions qui ne sont pas forcément optimales pour la légumineuse associée. Enfin, la pratique élémentaire correspond, par définition, à une association avec des espèces en compétition, compétition qui peut être défavorable à la culture de rente : il y a donc une forte sensibilité aux aléas que des travaux de recherche, de recherche-développement et d'expérimentation vont progressivement réduire.

Pour terminer cette analyse de la pratique élémentaire, on mentionnera le cas particulier de la luzerne que l'on peut semer sous couvert d'une culture de rente, la luzerne entrant en croissance et en production après la récolte de la culture de rente. Les cultures de rente les mieux adaptées à cette pratique sont l'orge de printemps et le tournesol. Cette pratique élémentaire, très courante dans les années 1960-1980, a progressivement régressé au bénéfice d'implantation de luzerne en plein, après la récolte de la culture de rente, mais avec des conditions d'implantation qui peuvent être délicates car les semis sont alors réalisés en sol sec. Les agriculteurs ont donc arbitré entre un risque de mauvaise implantation en raison de la compétition avec la culture de rente et un risque de mauvaise implantation liée aux conditions pédoclimatiques, au bénéfice de la seconde option. Les raisons agronomiques ayant conduit à une régression progressive des implantations de luzerne sous couvert, ces dernières ne trouvent pas de réponse dans l'offre technologique d'aujourd'hui et il n'est pas nécessaire, à ce stade, de recommander de nouveaux efforts et travaux en faveur d'implantation de luzerne sous couverts.

B4 - Introduire des légumineuses en système de polyculture-élevage

B4.1 - Introduire de la luzerne dans la succession de cultures

La luzerne (*Medicago sativa*) est une plante fourragère pérenne très riche en protéines. Cette teneur très élevée en protéines et sa richesse en fibres et en calcium assimilable en font un fourrage très apprécié des ruminants. Sa productivité en biomasse par unité de surface est très élevée, et elle a la plus forte production de protéines par hectare (jusqu'à 2 500 kilogrammes de protéines par hectare, soit deux fois plus que le soja). Cette espèce pérenne (une luzernière correctement conduite a une durée de vie de 3 à 4 ans) offre une production fourragère importante en été car la luzerne a la capacité à aller puiser l'eau en profondeur grâce à son système racinaire pivotant. En raison de ses qualités agronomiques et nutritionnelles, la luzerne connait une augmentation importante de ses emblavements et utilisations ; pour preuve, les augmentations de vente de semences certifiées depuis le début des années 2000 (Duc *et al.*, 2010). Cette croissance est essentiellement localisée dans l'Ouest, le Centre-Ouest et le Sud-Ouest en vue d'implanter des associations destinées au pâturage ou à la fauche. La luzerne peut également être cultivée en association avec une graminée fourragère (dactyle et fétuque élevée).
Introduire de la luzerne dans la rotation présente de nombreux avantages qui sont décrits ci-dessous, mais la culture de la luzerne suppose qu'il y ait des ruminants pour la consommer. Par suite, elle est essentiellement cultivée, soit dans des exploitations de polyculture - élevage, soit dans des régions agricoles mixtes qui permettent les échanges entre producteurs de grandes cultures et éleveurs. Elle est alors récoltée et conservée sous forme de foin et/ou en enrubannage ; ses caractéristiques biologiques ne permettent pas son exploitation au pâturage (risque de météorisation) ou en ensilage (l'absence de sucres solubles limite l'acidification du fourrage ensilé et nuit à sa conservation). La luzerne est aussi utilisée dans les régions céréalières de Champagne-Ardenne sous une forme déshydratée. Ce deuxième usage représente 70 000 hectares de luzerne sur un total de 300 000 ha à l'échelle de l'hexagone. La déshydratation consomme de grandes quantités d'énergie fossile, même si des économies importantes ont pu être achevées au cours des dernières décennies en optimisant les chaines de récolte, en particulier en déployant le pré-séchage à plat au champ (Huyghe et Delaby, 2013).

Les principaux impacts de la pratique élémentaire peuvent être ainsi résumés :

- Augmentation de la production, sur les plans quantitatif et qualitatif, relativement à la plupart des autres cultures fourragères, permettant la constitution de stocks riches en protéines ;
- Amélioration des différentes performances économiques de court terme : diminution des charges variables et de la dépendance aux aides (sous réserve que la luzerne ne bénéficie pas d'aides spécifiques « suffisantes ») ; augmentation de la rentabilité, de la VA, de l'EBE, du RCAI, de l'autonomie productive et de la diversité des productions. Insistons en particulier sur l'amélioration de l'autonomie productive liée à la réduction des achats d'engrais azotés et de compléments protéiques pour l'alimentation des animaux. Mentionnons aussi que cette amélioration des performances économiques est bien moindre, voire devient une détérioration, dans le cas d'une utilisation de la luzerne sous forme déshydratée car (i) la luzerne est alors introduite dans des rotations céréalières qui présentent aujourd'hui des performances économiques très élevées, liées aux prix des céréales eux aussi très élevés et (ii) l'évolution de la PAC s'est traduite par la suppression du versement d'aides directes à la luzerne déshydratée depuis la récolte 2012. Cela signifie que les primes perçues jusque-là par les producteurs de luzerne déshydratée seront intégrées dans les DPU (Droits à Paiement Unique). Néanmoins, il subsiste toujours une aide couplée française aux protéagineux mise en place à partir de 2010 (Circulaire Dgpaat/Sdea/C2012-3031 du 11 avril 2012). Cette dernière prévoit une enveloppe de 8 millions d'euros pour les légumineuses fourragères destinées à la déshydratation ;
- Amélioration des performances en matière d'utilisation des ressources fossiles et de préservation de l'environnement : réduction de la consommation indirecte d'énergie (sauf pour la luzerne utilisée sous forme déshydratée) ; augmentation du taux de MO des sols ; réduction des utilisations d'engrais azotés et des émissions de nitrate ; réduction des utilisations de produits phytosanitaires ; diminution des émissions de GES et de NH3 ; et augmentation de la diversité des cultures ;
- La charge de travail de l'agriculteur est augmentée si la luzerne est récoltée en foin, inchangée si la luzerne est déshydratée car le travail nécessaire à cette fin est alors pris en charge entièrement au niveau de l'usine de déshydratation ;
- Amélioration du bien-être animal car l'apport de luzerne dans les rations animales permet de limiter les phénomènes d'acidose ; réduction de la sensibilité aux aléas.

B4.2 - Introduire des légumineuses fourragères en association dans les prairies

Les prairies françaises couvrent plus de 12 millions d'hectares en 2012 et constituent la première ressource alimentaire des herbivores (ruminants et équins). On les qualifie de « prairies permanentes » lorsqu'elles sont consacrées à la production d'herbages depuis une période de cinq ans ou plus. Si cette durée est inférieure à cinq ans, il s'agit alors de « prairies temporaires ».[21]
Les prairies permanentes sont composées d'une flore complexe, déterminée par le milieu et le mode d'utilisation des surfaces (Launay *et al.*, 2011). Les prairies temporaires peuvent être conduites en espèces pures ou constituées de *mélanges*. Ces derniers peuvent être simples (moins de deux espèces de légumineuses mélangées à deux à quatre espèces de graminées) ou complexes (plus de deux espèces de légumineuses associées avec plus de quatre espèces de graminées). Néanmoins, d'après le recensement agricole de 2010, les deux tiers des surfaces de prairies temporaires sont composées de moins de 20 % de légumineuses (Agreste, 2010).
Les prairies permanentes peuvent être sursemées avec des légumineuses ; des équipements spécifiques ont été développés pour accroître les réussites ce ces opérations.

Les performances de la pratique élémentaire sont appréciées en comparaison à une situation de référence correspondant à des prairies composées uniquement de graminées et bénéficiant d'une fertilisation azotée minérale.

[21] Pour plus de détails, voir la MP « Gestion de l'alimentation animale »

Sur cette base, il n'y a pas d'impact sur la production de biomasse de la prairie, la productivité des prairies temporaires à flore complexe avec légumineuses non fertilisées étant identique à celle des prairies de graminées pures fertilisées à hauteur de 160 kilogrammes d'azote par hectare (Surault *et al*., 2008). La présence de légumineuses augmente la qualité de la biomasse récoltée, avec une teneur accrue en protéines, sans dégradation de la digestibilité.

Les performances économiques sont améliorées : diminution des charges variables liée à la réduction des consommations d'engrais azotés et aux achats de compléments protéiques pour équilibrer les rations animales ; par suite, augmentation de la rentabilité, de la VA, de l'EBE, du RCAI et de l'autonomie productive, diminution de la dépendance aux aides directes.

Plusieurs performances en matière d'utilisation des ressources fossiles et de préservation de l'environnement sont améliorées : réduction de la consommation indirecte d'énergie ; augmentation du taux de MO des sols ; réduction des utilisations d'engrais azotés et des émissions de nitrate ; réduction des utilisations de produits phytosanitaires ; diminution des émissions de GES et de NH3 ; et augmentation de la diversité des cultures.[22]

Il n'y a pas d'impact sur le temps de travail de l'agriculteur, mais une augmentation du besoin de technicité. Le pilotage de prairies en association est plus complexe que celui de prairies uniquement composées de graminées dans la mesure où l'équilibre entre les graminées et les légumineuses est essentiel à l'obtention des différentes performances positives mentionnées ci-dessus. Cet équilibre dépend de la conduite de la prairie au cours des cycles et des années précédentes. La sensibilité aux aléas augmente donc.

B5 - Amender le sol pour améliorer ses propriétés physico-chimiques

B5.1 - Pratiquer le chaulage raisonné

La pratique élémentaire du chaulage raisonné vise à corriger une acidité excessive qui peut s'avérer pénalisante, mais aussi à compenser les processus continuels qui tendent à appauvrir le sol en calcium et/ou à l'acidifier progressivement (Fabre et Faure, 2009). Le groupe « chaulage » du Comifer a produit plusieurs documents de référence sur cette pratique élémentaire en vue de la raisonner au mieux, en fonction de l'état du milieu. L'analyse qui suit s'inspire largement de cette documentation.[23]

L'acidification du sol est un processus naturel multifactoriel qu'il convient de corriger dans les terrains non calcaires. La plupart des espèces cultivées ne supportent pas un pH très bas, les optima de pH se situant entre 6 et 8. Un effort considérable a été fait en France pour corriger le pH des sols acides entre 1950 et 1980, en particulier dans les zones à sols sableux et limoneux non calcaires. Cette correction a souvent été associée à des travaux de drainage.

Cette pratique élémentaire engendre des charges variables liées à l'achat des produits de chaulage et à leur application. Dans les situations de forte acidité, des toxicités aluminiques et/ou manganiques peuvent apparaître. Le chaulage permet donc alors d'améliorer la production, quantitative et qualitative, effet supérieur à l'augmentation des charges variables et il y a donc amélioration des performances économiques de court terme : augmentation de la rentabilité, de la VA, de l'EBE, du RCAI, de l'autonomie productive ; diminution de la dépendance aux aides. En revanche dans les situations à pH situé autour de 7, son effet positif ne se situe qu'à moyen-long-terme ; elle fait partie des « bonnes pratiques » usuelles.

[22] Les impacts de cette pratique élémentaire et de la pratique élémentaire précédente (« introduire de la luzerne dans la rotation » sont qualitativement identiques.
[23] http://www.comifer.asso.fr/index.php/groupes-de-travail/chaulage.html

Le chaulage utilise une ressource obtenue à partir de dépôts calcaires fossiles et utilise de l'énergie, émettrice de GES, pour être extraite et transportée avant épandage sur les sols. Il permet en contrepartie d'améliorer d'autres performances liées à l'utilisation d'autres ressources fossiles et à la préservation de l'environnement.

L'augmentation du pH va en outre affecter la biodiversité des sols et de l'ensemble de l'écosystème, sans qu'il soit possible de qualifier et quantifier l'impact. Le pH va en effet déterminer une flore particulière. Cette détermination a été bien documentée dans le cas des prairies permanentes. Si le pH est bas (inférieur à 5,5), la flore est essentiellement composée de graminées et de caricées de faible valeur alimentaire (Launay et *al.*, 2011). Le pH va également déterminer la microflore du sol ; ainsi, la survie des rhizobiums des légumineuses dépend étroitement de ce pH, *Rhizobium lupini* se maintenant à un pH du sol compris entre 5 et 7,5 alors que *Rhizobium meliloti* est plus actif à un pH du sol de situant autour de 7. Autre illustration de cette dépendance de l'écosystème au pH du sol ; le pouvoir pathogène de la hernie du chou, pathogène de nombreuses crucifères, diminue avec l'augmentation du pH du sol. En résumé, on retiendra que l'état des connaissances ne permet pas de disposer d'une image claire de la relation entre le redressement du PH et la microflore du sol, tant en termes d'abondance que de diversité fonctionnelle.

La pratique élémentaire a plutôt pour effet d'augmenter la charge de travail de l'agriculteur.

Deux points pour terminer l'analyse des performances de cette pratique élémentaire. Le premier a trait au fait que les conséquences du chaulage ne peuvent être observées qu'à long terme. Le second pour rappeler que le chaulage est incompatible avec un apport trop rapproché de fertilisants organiques (volatilisation de l'azote ammoniacal), susceptible de générer des émissions de nitrate et d'ammoniac.

B5.2 - Enfouir les résidus de récolte

Les résidus de récolte sont riches en carbone, généralement en potassium, parfois en azote ; leur enfouissement peut ainsi permettre un retour au sol d'éléments fertilisants et ainsi contribuer au maintien, voire à l'augmentation, de sa teneur en MO. Cette pratique élémentaire est en lien avec « éliminer ou enfouir les résidus contaminés » de la MP « Protection phytosanitaire des cultures ». Elle est par contre opposée à la pratique « Couverture du sol » présentée dans la MP « Travail du sol et gestion de son état de surface ».

Les impacts de l'enfouissement des résidus de récolte sont appréciés au regard d'un régime de retrait de ces mêmes résidus de récolte. Sur cette base de comparaison, la pratique élémentaire a un impact positif sur la performance productive, quantitative et qualitative, et les performances économiques (rentabilité, VA, EBE, RCAI, autonomie productive) ; les charges variables peuvent très légèrement augmentées.

L'effet premier de cette pratique élémentaire est d'augmenter le taux de MO des sols. Mais l'enfouissement des résidus de récolte nécessite des passages supplémentaires d'outils de travail du sol qui entraînent une augmentation de la consommation directe d'énergie et des émissions de GES associées ; ces passages additionnels peuvent aussi aggraver les processus d'érosion. On notera aussi que la consommation indirecte d'énergie peut augmenter, parce qu'il peut être nécessaire d'assurer des apports d'engrais azotés de façon à permettre la dégradation de résidus présentant un rapport C sur N (très) élevé. Il faut, soit prendre en compte ce point dans le choix des cultures intermédiaires qui pourront être implantées en favorisant alors les légumineuses, soit augmenter la fertilisation azotée de la culture de rente qui suit l'enfouissement.

La pratique élémentaire peut avoir des effets positifs sur la consommation de produits phytosanitaires en enfouissant des résidus contaminés. Elle génère un temps de travail additionnel faible, proche du temps de ramassage des résidus de récolte.

Comme pour la pratique élémentaire précédente, on notera enfin que l'enfouissement a un effet cumulatif, uniquement perceptible sur le long terme.

B5.3 - Insérer des prairies temporaires de longue durée dans la rotation

L'insertion de prairies temporaires de longue durée dans la rotation correspond à un changement d'affectation (temporaire) de surfaces dédiées aux cultures de rente, les céréales en particulier, ou à des fourrages annuels (maïs ensilage notamment). Cette pratique élémentaire peut être mise en œuvre dans des exploitations de polyculture-élevage, ou dans des exploitations en grande culture si celles-ci peuvent valoriser la production de fourrages ainsi réalisée chez des éleveurs du voisinage. La situation de référence retenue pour apprécier les performances de cette pratique élémentaire correspond à un régime où il n'y a que des cultures annuelles, non fourragères et/ou fourragères, ou des prairies temporaires de courte durée. En d'autres termes, l'analyse qui suit revient à apprécier les conséquences d'un allongement de la durée d'exploitation des prairies temporaires au sein d'une succession culturale.

Les rendements des prairies temporaires tendent à diminuer avec leur durée d'exploitation, même si le choix des espèces qui composent la prairie permet de retenir celles dont la productivité décline (plus) lentement. La pratique élémentaire a donc pour conséquence de réduire les performances productives, sur les plans quantitatif et qualitatif, et de détériorer la rentabilité, la VA, l'EBE et le RCAI en dépit de la baisse des charges variables (due à une fréquence réduite de renouvellement des prairies). L'autonomie productive de l'exploitation est réduite du fait d'une production moindre de fourrages pour l'alimentation du bétail et la dépendance aux aides augmente du fait des aides spécifiques pour la mise en place et le maintien de telles prairies ; la diversité des productions augmente.

La pratique élémentaire entraîne une réduction de la consommation directe d'énergie (diminution de la fréquence de retournement des prairies), et des risques de compaction et d'érosion des sols. L'allongement de la durée de vie des prairies temporaires permet progressivement d'augmenter le stockage de MO dans les sols, contribuant par ce biais au stockage de carbone. L'impact sur les émissions de nitrate est ambivalent : d'une part la couverture permanente du sol limite les risques de lessivage mais d'autre part, lors du retournement de ces prairies, les fuites de nitrate sont potentiellement importantes si la date de retournement et la nature des espèces qui suivent celui-ci ne permettent pas de capter l'azote libéré *via* la minéralisation.

D'autres performances environnementales sont positivement impactées par cette pratique élémentaire : réduction des risques de pertes de phosphore vers les masses d'eau, diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires à l'échelle de la culture et de la succession de cultures, réduction des émissions de GES et de NH_3 *via* les économies d'engrais et d'opérations culturales.

L'impact sur le temps de travail est positif du fait d'une charge de travail réduite sur cette parcelle. En revanche, la sensibilité aux aléas économiques est dégradée par la diminution des performances économiques induite par cette pratique élémentaire.

C - Eléments-clefs à retenir

L'importance de cette MP sur le plan environnemental tient à plusieurs points imbriqués, qu'il faut à la fois analyser distinctement mais appréhender globalement sous peine de traiter les problèmes de façon incomplète et insatisfaisante. Un premier ensemble concerne la pollution nitrique des eaux, une part très importante de celle-ci étant d'origine agricole, avec pour conséquences d'une part la disqualification de nombreux captages pour cause de dépassement des seuils de potabilité ; d'autre part la détérioration de

l'état écologique des masses d'eau et milieux aquatiques. On notera que ce deuxième aspect est probablement encore bien plus exigeant que le premier vis-à-vis du contrôle des teneurs en nitrate des eaux drainées à partir des parcelles agricoles. La gravité de la situation française vis-à-vis de la pollution nitrique est attestée par le(s) contentieux en cours entre l'Etat français et la Cour de Justice de l'Union européenne pour application défaillante de la directive « nitrates » (91/676 CEE) et ses conséquences sur le « bon état écologique » des eaux brutes et de la qualité de celles destinées à la consommation humaine. Une part très significative des nitrates est d'origine agricole et cette implication souligne l'importance de la MP ici considérée, notamment sur le plan environnemental.

Par ailleurs, la production d'engrais azotés de synthèse constitue un poste majeur de consommation énergétique ; il faut en effet 2 kilogrammes d'équivalent pétrole (sous forme de gaz naturel) pour obtenir une unité d'azote (sous forme d'ammonitrate).

En outre, l'épandage des engrais azotés, minéraux ou organiques, peut générer de façon plus ou moins directe (en amont ou en aval de l'épandage, au sein ou à l'extérieur des sites d'applications) des émissions de GES sous la forme de N_2O, gaz qui a un pouvoir de réchauffement global près de 300 fois supérieur à celui du CO_2. Et pourtant, la fertilisation azotée des cultures est un élément clef de leur productivité, de même que la fertilisation phosphorique; cette importance peut être illustrée, en quelque sorte « en creux », par la production moindre de l'agriculture biologique où les apports sont limités (Fontaine *et al.,* 2012).

Toutes les pratiques élémentaires ici considérées visent à réduire les apports d'engrais de synthèse, plus spécifiquement les apports d'engrais azotés de synthèse ; de ce fait, *via* la réduction des quantités d'engrais azoté industriel injectées dans l'agroécosystème et indirectement dans les écosystèmes voisins, toutes les pratiques élémentaires ici considérées permettent de réduire la consommation indirecte d'énergie, et la plupart les émissions de GES et de nitrate. La mise en place d'une culture intermédiaire (légumineuse comme évoqué dans ce chapitre, ou autres comme évoqué dans le Chapitre 6 relatif aux successions culturales) est un moyen efficace pour absorber et soustraire au drainage ou à la fuite vers l'atmosphère, les quantités d'azote minéral non absorbées par les cultures principales et potentiellement polluantes. Mais cette mise en place génère des opérations culturales additionnelles, opérations consommatrices d'énergie, directe et indirecte, pour les opérations de travail du sol. De même, les pratiques élémentaires de fertilisation qui engendrent plus de passages des équipements (fractionnement des apports, introduction de légumineuses en cultures intermédiaires, chaulage, enfouissement des résidus de récolte) ou nécessitent une puissance de traction plus grande (substitution des engrais minéraux par des engrais organiques, quelle que soit leur origine, réalisation d'apports localisés) augmentent la consommation directe d'énergie.

Dans une large mesure, les pratiques élémentaires considérées ont un impact faible sur la production et la qualité des produits de récolte, et dégradent peu les performances économiques de court terme (rentabilité et soldes de gestion). L'autonomie productive, ici définie comme le rapport des intrants sur le chiffre d'affaires, est très largement améliorée.

C1 - Utilisation d'apports organiques pour la nutrition minérale des plantes

Apporter des effluents organiques pour la nutrition minérale des plantes permet de valoriser les déjections animales ou des boues organiques d'origine industrielle ou urbaine. Cet apport est néanmoins marqué par une difficulté accrue à maitriser la fourniture d'éléments minéraux aux couverts végétaux, en adéquation avec la chronologie des besoins. Cette difficulté tient pour une part à la variabilité de composition de ces produits, et pour une autre part au fait que leur dynamique de décomposition est soumise à des facteurs non contrôlables liés notamment au climat. Dans le cas d'apports minéraux par les engrais de synthèse, cette adéquation peut être plus facilement assurée, grâce au fractionnement des apports, sous condition que ce dernier soit raisonné avec précision. Dans un cas comme dans l'autre, des pertes d'azote peuvent se produire si celui-ci n'est pas correctement

valorisé par le couvert. Enfin, dans les deux cas, tout facteur d'incertitude (en particulier de moindre connaissance ou maîtrise des apports et de leur disponibilité pour les plantes) engendre un comportement d'assurance consistant à accroître les apports.

La substitution (partielle ou totale) des engrais minéraux par des engrais organiques, si elle est bien raisonnée et réalisée, aurait plutôt pour effet de maintenir les performances économiques, sous hypothèse que les rendements ne sont pas sensiblement dégradés. Le maintien des performances productives et économiques passe donc par une caractérisation précise de la composition des effluents organiques et de leur dynamique de décomposition.

Les apports d'effluents organiques en substitution aux engrais minéraux de synthèse ont des conséquences négatives sur plusieurs performances environnementales (teneur des sols en ETM, émissions de NH_3, d'odeurs et de polluants organiques) et sociales (temps de travail et pénibilité, sensibilité aux aléas) ; le traitement préalable des effluents peut réduire une partie au moins de ces impacts négatifs sur l'environnement. Les émissions de GES ne sont pas impactées lors de la phase d'épandage.

Au total, on est conduit à recommander la mise en œuvre de cette pratique (des deux pratiques élémentaires qui la composent), dès lors qu'elle est possible, au triple motif (i) d'un maintien des performances productives et économiques, (ii) de la réduction de consommation d'engrais minéraux de synthèse qu'elle permet (avec diminution de consommation indirecte d'énergie et des émissions de GES), et (iii) de la nécessité d'évacuer les résidus organiques des activités, notamment des effluents d'élevage (cf. MP Gestion des effluents d'élevage). Une condition première pour que cette substitution soit efficace est de mettre à disposition des exploitations des outils simples leur permettant de caractériser précisément, rapidement et à un coût modéré la valeur fertilisante des effluents organiques. En outre, mettre en œuvre cette pratique n'est possible qu'au sein des exploitations de polyculture-élevage ou que si les sites de production animale et végétale ne sont pas trop distants, même s'il s'agit d'exploitations spécialisées ; dans ce dernier cas, il y a légitimité, au sens de l'économie publique, à soutenir les arrangements entre les exploitations qui viseraient à optimiser la gestion des effluents des unes et la substitution des engrais minéraux de synthèse par ces effluents des autres.

Il est à signaler que la problématique d'appui à une substitution accrue des engrais minéraux de synthèse par des produits résiduaires va prendre une nouvelle dimension si la méthanisation des effluents d'élevage se développe comme le prévoient les pouvoirs publics, rendant potentiellement disponibles des gisements importants de matières fertilisantes plus faciles à utiliser que les fumiers voire les lisiers. On ne développera pas ici ce point, dans la mesure où il se situera souvent à des échelles supérieures à l'exploitation. On se bornera à souligner qu'il faudra veiller à ce que les agriculteurs trouvent avantage à utiliser les fertilisants issus de la méthanisation. Ce qui impliquera peut-être qu'une partie des coûts de déshydratation et transport soient (temporairement) pris en charge.

C2 - Raisonnement et ajustement de la fertilisation

Toutes les démarches relevant de ce principe permettent une réduction des apports et émissions de nitrate, *via* (i) la réduction des quantités apportées (outils de raisonnement) et l'adéquation temporelle entre les apports et les besoins des cultures (outils de pilotage, fractionnement) et/ou (ii) la mise à disposition optimisée dans l'espace des éléments nutritifs (localisation des apports).

Dans la mesure où ces démarches ne dégradent pas les performances productives et économiques de l'exploitation, tout en permettant d'améliorer plusieurs performances relatives à l'utilisation de ressources fossiles et à la protection de l'environnement, elles ne peuvent être qu'encouragées. Néanmoins, le fractionnement des apports pour l'azote et l'utilisation d'OAD génèrent une hausse du temps de travail et requièrent l'acquisition de compétences techniques ; il s'agit là d'un frein à l'adoption

de ces pratiques élémentaires qui peut être réduit *via* la formation, le conseil, l'entraide, l'appui à la mise en place des dispositifs et services d'aide à la décision.

C3 - Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique

La fixation symbiotique est une source d'azote alternative aux engrais azotés minéraux de synthèse. En 2010, environ 12% (0,52 million de tonnes) de l'azote était ainsi issu de la fixation symbiotique (principalement *via* des légumineuses fourragères, implantées en culture pure ou dans des prairies temporaires et permanentes), pourcentage à mettre en regard des 2,1 millions de tonnes d'azote apportés par les engrais minéraux de synthèse et des 1,8 millions de tonnes d'azote apportés par les effluents d'élevage.

L'analyse des différentes performances des pratiques élémentaires qui contribuent à augmenter la fixation symbiotique de l'air *via* un accroissement des légumineuses à graines fait ressortir des incertitudes qui portent sur (i) le rendement et (ii) la valorisation économique des produits par et vers l'aval (en particulier dans le cas des associations de céréales et de protéagineux), incertitudes qui *in fine* se répercutent sur les performances économiques. En outre, la dépendance aux aides risque d'être plus élevée dans l'hypothèse où les légumineuses à graines ne seraient réintroduites que grâce à des aides spécifiques. Ces différentes raisons expliquent la baisse drastique des légumineuses à graines sur les dernières années. *A contrario*, l'utilisation de légumineuses fourragères, utilisation en pur (luzerne) ou en association, tend à augmenter, ceci pour deux raisons principales : d'une part, une meilleure maîtrise de la mise en œuvre et de la gestion des prairies d'association par les éleveurs, et, d'autre part, l'augmentation des coûts des engrais azotés minéraux et des matières premières riches en protéines utilisées pour la complémentation des rations animales ; ces deux facteurs, qui devraient toujours être à l'œuvre sur les prochaines années, accroissent l'intérêt d'une plus grande autonomie protéique des élevages (*via* l'augmentation de la part des protéines produites sur les exploitations). Les légumineuses fourragères, en culture pure ou en association avec des graminées, trouvent une place croissante dans les élevages de ruminants, comme en témoigne l'augmentation constante sur la dernière décennie des ventes de semences. Elles font dorénavant partie intégrante de la stratégie de ces éleveurs qui en maitrisent bien la conduite. Dans le cas des légumineuses à graines, le niveau moyen trop faible des rendements et les fortes variations interannuelles limitent réellement leur utilisation et donc leur contribution à l'apport d'azote d'origine symbiotique dans les systèmes de culture. L'amélioration génétique de ces espèces constitue donc une priorité. Le développement de légumineuses en interculture ou en espèces compagnes offre une nouvelle voie pour accroître la part de la fixation symbiotique dans la fourniture d'azote aux cultures de rente.

C4 - Amélioration des propriétés physico-chimiques du sol par amendement

Le bon état structural, chimique et biologique du sol est nécessaire à la fonction de production de l'agriculture. Le chaulage, l'enfouissement des résidus de récolte et l'insertion de prairies temporaires de longue durée dans la rotation, ainsi que l'apport de produits résiduaires organiques, répondent à cet enjeu. Néanmoins, le chaulage et l'enfouissement contribuent aussi à augmenter la consommation directe d'énergie. Quant à l'introduction de prairies temporaires de longue durée (supérieure ou égale à 3 ans), elle n'est envisageable que dans le cadre d'une exploitation de polyculture-élevage de ruminants, voire de façon beaucoup plus rare dans celui d'un assolement en commun entre exploitations d'élevage et cultures annuelles : si elle se situe bien dans ce cadre et si elle correspond non à un bouleversement des rotations mais à un simple allongement de la durée d'utilisation des prairies temporaires, on peut alors considérer qu'elle n'entraîne qu'une légère réduction des rendements et des performances économiques (rentabilité et soldes de gestion).

C5 - Un fort besoin de connaissances et donc de recherches

L'analyse résumée ci-dessus fait ainsi apparaître plusieurs zones d'incertitude qui nécessitent que des travaux de recherche et de recherche - développement leur soient consacrés. On citera trois pistes principales :

- La gestion et la conduite des légumineuses cultivées en association restent particulièrement délicates, à l'origine d'aléas de performances. Néanmoins, des progrès importants ont pu être enregistrés ces dernières années dans le cas des légumineuses fourragères, grâce à une meilleure maîtrise de la proportion des légumineuses dans les associations, progrès qui ont permis leur adoption par les éleveurs. Une démarche similaire pour les légumineuses à graines, cultivées soit en culture de rente, soit en interculture, permettrait de tirer profit des apports positifs des légumineuses à la fertilité des sols et à la gestion globale des éléments minéraux. Elle passe par une compréhension des causes de la variation de rendement entre années ou entre lieux et par l'exploration de voies ambitieuses : au-delà de la résistance aux maladies telluriques ou foliaires, la modification de la phénologie vers des variétés d'hiver (ou printemps à semis précoce) capables d'échapper ou résister aux stress hydriques et thermiques, ou au contraire vers des cycles très courts afin de réduire la période d'exposition à l'aléa avec des indices de récolte augmentés, permettrait de proposer des idéotypes qui seraient alors mieux positionnés ouvrant la voie à un remaniement des systèmes de culture.
- Le devenir des éléments minéraux dans les sols, en lien avec les performances productives et environnementales, mobilise fortement la biologie des sols. La compréhension des régulations biologiques des cycles biogéochimiques et des fonctions microbiennes des sols, ainsi que des déterminants de la structure de la flore microbienne des sols, est un domaine encore largement méconnu. Les outils de la génomique doivent être mobilisés pour explorer ce domaine dans le cadre d'approches nouvelles et plus complètes : au-delà d'approcher la masse du compartiment microbien par la quantité d'ADN, la génomique doit aussi permettre de qualifier et quantifier les différentes fonctions que la vie microbienne du sol remplit, d'identifier les agents ou groupes d'agents qui en sont responsables, et de déterminer par quels leviers ils peuvent être introduits ou favorisés. On peut donc espérer que les progrès dans ce domaine permettront de mieux comprendre, prévoir et maîtriser la variabilité spatio-temporelle des flux qui interviennent dans les cycles biogéochimiques, tout particulièrement ceux de l'azote et du carbone, sans se contenter de relations de type « boîte noire », et finalement assez instables, entre flux et facteurs pédoclimatiques ou facteurs de composition des produits.
- Enfin, de nombreuses inconnues demeurent quant à la quantification des émissions de N_2O qui résultent des épandages d'azote minéral et/ou organique. Il y a eu, il y a quelques années, une controverse sur le fait de savoir si les légumineuses entraînent, on non, des émissions de N_20 durant le processus de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Cette controverse est aujourd'hui clarifiée. Les émissions de N_2O d'une légumineuse sont en moyenne du même ordre que celles d'un sol nu. Il y a néanmoins possibilité d'émissions lors du retournement de la légumineuse et de la minéralisation de la matière organique. Mais les variations et les incertitudes sont grandes d'une situation à l'autre, ce qui fait qu'il est difficile d'attribuer un niveau d'émissions à une légumineuse donnée mise en place dans un milieu pédoclimatique donné, dans un système de cultures donné (Philibert *et al.,* 2012). Une meilleure compréhension des processus biologiques et l'intensification des campagnes de mesure et d'analyse permettront de progresser en ce domaine.

C6 - Principaux enseignements

A l'issue de l'analyse, on retiendra cinq enseignements principaux et une remarque complémentaire pour ce qui est de cette MP essentielle de par son rôle dans la fonction de production et ses impacts potentiels sur les milieux naturels :

- 1/ Il est nécessaire d'adapter au mieux les besoins des cultures et les différentes sources et formes d'apports, dans le temps (*via* la caractérisation précise des effluents organiques, le fractionnement des apports et les outils de pilotage) et dans l'espace (*via* la localisation aussi précise que possible des apports). Cette optimisation spatio-temporelle est la voie majeure de réduction des pertes d'éléments et impacts négatifs qui en résultent tout en maintenant les performances productive et économique ;
- 2/ La valorisation optimale du potentiel fertilisant des effluents organiques reposera sur une meilleure caractérisation de leur valeur fertilisante et sur la réalisation d'apports répondant à une stratégie agronomique (en termes de dates et de modalités d'apports) plutôt que de normes et seuils induits par la contrainte réglementaire.
- 3/ L'insertion de légumineuses dans les rotations, en cultures pures, en association avec des cultures annuelles ou fourragères ou encore en cultures intermédiaires, permet de bénéficier de leur potentiel de fixation de l'azote atmosphérique. Dans le cas des cultures annuelles produisant des graines, le frein principal au développement est la valorisation économique de la récolte, ceci étant particulièrement prégnant lors des campagnes avec des prix de marché très élevés pour les céréales et les oléagineux. Les intercultures incluant des légumineuses, ainsi que leur utilisation au titre de cultures compagnes constituent également des voies de progrès qu'il convient de mieux explorer ;
- 4/ La raréfaction de la ressource sédimentaire en phosphore est un enjeu croissant, déjà aujourd'hui et encore plus demain (Pellerin *et al.,* 2012), alors que les exploitations et systèmes agricoles ont un accès inégal à la ressource en phosphore que représentent les effluents organiques (exploitations d'élevage spécialisées versus exploitations de culture spécialisés). L'analyse des pratiques élémentaires de cette MP ne permet pas d'identifier des leviers simples à mettre en œuvre pour se soustraire à cette contrainte qui pèsera à long terme sur les productions agricoles, animales et végétales. Dans le même temps, la préservation des sols contre l'érosion permettra d'éviter les pollutions générées par la présence de phosphore soluble dans les eaux de surface ;
- 5/ Enfin, la teneur en MO des sols est en baisse tendancielle, certes modérée, depuis plusieurs décennies dans certaines régions de France. La contribution de la MO à de nombreux enjeux (diminution de l'érosion, stockage de l'eau, réduction des émissions nettes de GES, etc.) lui confère une importance capitale dans la préservation du potentiel de production. Il faut donc veiller à prévenir et limiter la diminution des stocks de carbone des sols, au moyen, par exemple, de l'enfouissement des résidus de récolte au lieu de les exporter ou encore *via* l'insertion de prairies temporaires de longue durée dans la rotation, en limitant le retournement des prairies permanentes et/ou l'abandon des prairies temporaires comme source de ressources fourragères ; ce qui renvoie à la maîtrise de l'évolution des systèmes de productions.
- 6/ En complément à ces 5 conclusions il faut souligner que la maîtrise des cycles biogéochimiques des éléments minéraux ne doit pas se restreindre à l'échelle de l'exploitation agricole. En complément des pratiques qui se situent à cette échelle, des approches et actions se situant à des niveaux d'organisation plus élevés (bassin hydrologique, bassin de production, ou territoire) peuvent être entreprises, que ce soit pour mieux réguler les flux de matière et d'éléments, ou pour aménager et gérer l'espace de façon à maîtriser les impacts et services liés à ces flux. On renvoie sur ce point aux développements inclus dans le Chapitre 8 (Aménagement foncier).

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Gestion des éléments minéraux (azote, phosphore, potassium et autres) et du statut organique des sols	Réaliser des apports organiques pour la nutrition minérale	Apporter des effluents organiques issus de l'élevage	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	+	=	=	=	=	+/-	+	=	+
		Apporter des effluents organiques d'orgine urbaine ou industrielle	=	=/-	=/+	+	=/+	=/+	=/+	+	=	=	=	=	+/-	+	=	+
	Pilotage de la fertilisation	Réaliser des apports localisés	=/+	=/+	+	+	+	+	+	+	+	=	=/-	=	=/-	+	=	+
		Fractionner les apports	=/+	=/+	+	=/+	+	+	+	+	+	=	=	=	=/-	+	=	+
		Utiliser des OAD pour le raisonnement des apports (N, P et K et autres éléments)	=/+	=/+	+	=/+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	=/+	=	=/+
		Utiliser des outils de pilotage de la nutrition en cours de culture	=/+	=/+	+	=/+	=/+	=/+	=/+	+	=/+	=	=	=	=	=/+	=	=/+
	Utiliser la fixation symbiotique comme source d'azote	Introduire des légumineuses à graines dans la rotation	=/-	=/+	=/-	+	=/-	=/-	=/-	+	=/-	+	=	=	=	+	=/-	=
		Cultiver des légumineuses en association avec des cultures annuelles	=/+	=/+	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+	=	=	=	+	=	=
		Introduire des légumineuses comme cultures intermédiaires, en culture pure ou en mélange	=/+	=/+	=/-	+/-	=/-	=/-	=/-	+	=/-	=	=	=	+	+	=	=
		Introduire des légumineuses comme couvert associé (non récolté) d'une culture de rente	+/-	=	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+	+/-	=	=	=	=	+	=/-	=
	Introduire des légumineuses en système de polyculture-élevage	Introduire de la luzerne dans la rotation	+	+	+	+	+	+	+	+	=/+	+	=	=	=	+	=	=
		Introduire des légumineuses fourragères en association dans les prairies	=	+	=/+	+	=/+	=/+	=/+	+	=/+	=	=	=	=	+	=	=
	Amender le sol pour améliorer ses propriétés physico-chimiques	Pratiquer le chaulage raisonné	=/+	=/+	=/+	=/-	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	-	=/+	=/+	=/+
		Enfouir les résidus de récolte	=/+	=/+	=/+	=/-	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	-	=	=	=
		Insérer des prairies temporaires de longue durée dans la rotation	=/-	=/-	=/-	+	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	+	=	=	+	=	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Gestion des éléments minéraux (azote, phosphore, potassium et autres) et du statut organique des sols	Réaliser des apports organiques pour la nutrition minérale	Apporter des effluents organiques issus de l'élevage	=/-	=	+	-	=	=	=	=	+/-	-	=/-	-	=	=	=	=	-	=	=	-
		Apporter des effluents organiques d'orgine urbaine ou industrielle	=/-	=	+	-	=	=	=	=	+/-	-	=/-	-	=	=	=	=	-	=	=	-
	Pilotage de la fertilisation	Réaliser des apports localisés	=	=	=	=	+	=	=/+	=	+	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+
		Fractionner les apports	=	=	=	=	+	=	=/+	=	=/-	=/+	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=/+
		Utiliser des OAD pour le raisonnement des apports (N, P et K et autres éléments)	=	=	=	=	=/+	=	=/+	=	+	=/+	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=/+
		Utiliser des outils de pilotage de la nutrition en cours de culture	=	=	=	=	=/+	=	=/+	=	+	=/+	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=/+
	Utiliser la fixation symbiotique comme source d'azote	Introduire des légumineuses à graines dans la rotation	=	=	+	=	+/-	=/+	=	=	+	+	=	=	=	+	=	=	=/-	=	=	-
		Cultiver des légumineuses en association avec des cultures annuelles	=	+	+	=	=/+	=/+	=/+	=	+	+	=	=	=	+	+	=	+/-	=/+	=	=/+
		Introduire des légumineuses comme cultures intermédiaires, en culture pure ou en mélange	=/+	+	+	=	+	=	=	=	+	+	=	=	=	+	=	=	=/-	=	=	=/+
		Introduire des légumineuses comme couvert associé (non récolté) d'une culture de rente	=	=/+	=/+	=	=/+	=/+	=	=	=/+	=/+	=	=	=	+	=	=	=/-	=	=	=/-
	Introduire des légumineuses en système de polyculture-élevage	Introduire de la luzerne dans la rotation	=	=	+	=	=/+	=/+	=	=	+	+	=	=	=	+	=	=	=/-	=	=/+	=/+
		Introduire des légumineuses fourragères en association dans les prairies	=	=	+	=	=/+	=/+	=	=	+	+	=	=	=	+	=	=	=/-	=	=	=/-
	Amender le sol pour améliorer ses propriétés physico-chimiques	Pratiquer le chaulage raisonné	=/+	+	+/-	=	=	=	+	=	-	=	=	=	=	=	=	+/-	=/-	=	=	=
		Enfouir les résidus de récolte	=	=/-	+	=	+	+	=	=	-	=	=	=	=	=	=	-	+/-	=	=	=
		Insérer des prairies temporaires de longue durée dans la rotation	+	+	+	=	+/-	+	+	=	+	+	=	=	=	+	=	+	=/+	=	=	=/-

E - Références bibliographiques

AGRESTE. 2010. Prairies temporaires, renouvellement. *Agreste*, 8, 55-68

ARROUAYS D., ANTONI V., BARDY M., BISPO A., BROSSARD M., JOLIVET C. 2012. Fertilité des sols : conclusions du rapport sur l'état des sols de France. *Innovations Agronomiques*, 21, 1-11

BOIFFIN J., SEBILLOTTE M. 1982. Fertilité, potentialité, aptitudes culturales. Signification actuelle pour l'agronomie. *Bulletin Technique d'Information*, 370/372, 354-353

CARROUEE B., SCHNEIDER A., FLENET F., JEUFFROY M.H., NEMECEK T. 2012. Introduction du pois protéagineux dans des rotations à base de céréales à paille et colza : impacts sur les performances économiques et environnementales. *Innovations Agronomiques,* 25, 125-142

CITEPA. 2011. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France. Citepa, 328 p.

FABRE B., FAURE B.F. (coord.). 2009. Chaulage, des bases pour le raisonner. Comifer (Ed), 112 p.

D'ALLAIRE S., GOULET L., BRODEUR J., ROCH G. 1999. Literature review on the impacts of hog production on public health. **In**: Proceedings from Symposium of the Hog Environmental Management Strategy (HEMS), Canadian Pork Council and Agriculture and Agri-Food Canada, 10-11/12/1999, Ottawa (Canada), 59-62

DUC G., MIGNOLET C., CARROUEE B., HUYGHE C. 2010. Importance économique passée et présente des légumineuses : Rôle historique dans les assolements et les facteurs d'évolution. *Innovations Agronomiques,* 11, 1-24

EFSA. 2005. Résumé d'avis du groupe scientifique sur les risques biologiques concernant la sécurité biologique du traitement thermique du lisier. Question n° EFSA-Q-2004-104, 07/09/2005, 2 p.

FONTAINE L., FOURRIE L., GARNIER J.F., MANGIN M., COLOMB B., CAROF M., AVELINE A., PRIEUR L., QUIRIN T., CHAREYRON B., MAURICE R., GLACHANT C., GOURAUD J.P. 2012. Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques. *Innovations Agronomiques*, 25, 27-40

GCL Développement Durable. 2010. Etat, perspectives et enjeux du marché des engrais. Rapport final, Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pèche, 94 p.

GIS Sol. 2011. Synthèse sur l'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 24 p.

HELLOU G. (coord). 2013. Associations céréale-légumineuse : concilier productivité et services écologiques par des associations céréale-légumineuse multi-services en agricultures biologique et conventionnelle. Journée Associations céréale-légumineuse, ESA Angers, CASDAR 8058, 24/01/2013, Angers (France)

HUYGHE C., DELABY L. 2013. Prairies et systèmes fourragers. La France Agricole (Ed), 530 p.

JUSTES E., BEAUDOIN N., BERTUZZI P., CHARLES R., CONSTANTIN J., DÜRR C., HERMON C., JOANNON A., LE BAS C., MARY B., MIGNOLET C., MONTFORT F., RUIZ L., SARTHOU J.P., SOUCHERE V., TOURNEBIZE J., SAVINI I., RECHAUCHERE O. 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Synthèse du rapport d'étude, Inra (France), 60 p.

LABREUCHE J. (coord.). 2011. Cultures intermédiaires : impacts et conduite. Arvalis-Institut du Végétal (Ed). 235 p.

LAUNAY F., BAUMONT R., PLANTUREUX S., FARRIE J.P., MICHAUD A., POTTIER E. 2011. Prairies permanentes : des références pour valoriser leur diversité. Institut de l'Elevage (Ed), 128 p.

MARY B., SAFFIH K., DUPARQUE A. 2012. Le modèle AMG: un outil pour gérer le stock de carbone organique du sol. Application à l'évaluation de scénarios. CIAG Evaluer et gérer la fertilité des sols, Inra, 06/04/2012, Orléans (France)

MEYNARD J.M., MESSEAN A., CHARLIER A., CHARRIER F., FARES M., LE BAIL M., MAGRINI M.B., SAVINI I. 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, Inra (France), 52 p.

MIGNOLET C., SCHOTT C., BENOIT M. 2004. Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory: a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin. *Agronomie*, 24, 219-236

NAUDIN C. 2009. Nutrition azotée des associations pois-blé d'hiver (*Pisum sativum* L. – *Triticum aestivum* L.) : analyses, modélisation et propositions de stratégies de gestion. Thèse de doctorat. Soutenue le 10/12/2009, Université d'Angers. 119 p.

PARNAUDEAU V., REAU R., DUBRULLE P. 2012. Un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement à l'échelle du système de culture: le logiciel Syst'N. *Innovations Agronomiques*, 21, 59-70

PELLERIN S., RECOUS S., ROGER-ESTRADE J. 2006. La composante chimique. **In :** DORE T., LE BAIL M., MARTIN P., NEY B., ROGER-ESTRADE J. (coord.). L'agronomie aujourd'hui. Editions Quae. 177-198

PELLERIN S., NESME T. 2012. La maîtrise de la fertilité phosphatée: du raisonnement de la fertilisation à la gestion durable d'une ressource qui se raréfie. *Innovations Agronomiques,* 21, 71-83

PEYRAUD J.L., DELABY L., DOURMAD J.Y., FAVERDIN P., MORVAN T., VERTES F. 2012a. Les systèmes de polyculture-élevage pour bien valoriser l'azote. *Innovations Agronomiques*, 22, 45-69

PEYRAUD J.L., CELLIER P. (coord.). 2012b. Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres. Expertise scientifique collective, Rapport, Inra (France), 527 p.

PHILIBERT A., LOYCE C., MAKOWSKI D. 2012. Quantifying uncertainties in N2O emission due to N fertilizer application in cultivated areas. PLoS ONE, 7, 1-9

SMELTEKOP H., CLAY D.E., CLAY S.A. 2002. The impact of intercropping annual 'Sava' snail medic on corn production. *Agronomy Journal*, 94, 917-924

SURAULT F., VERON R., HUYGHE C. 2008. Production fourragère de mélanges prairiaux et d'associations à diversité spécifique initiale variée. *Fourrages,* 194, 161-174

SUTTON M.A., HOWARD C.M., ERISMAN J.W., BILLEN G., BLEEKER A., GRENNFELT P., VAN GRINSVEN H., GRIZZETTI B. 2011. The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives. Summary for policy makers. Cambridge University Press, 664 p.

CHAPITRE 4
CHOIX DES VARIÉTÉS ET DES SEMENCES

A - Introduction 84
B - Description par pratique élémentaire 85
C - Eléments-clefs à retenir 93
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 96
E - Références bibliographiques 97

CHAPITRE 4
Choix des variétés et des semences

A - Introduction

Cette MP comporte deux ensembles distincts, l'un relatif au choix des variétés et donc à la composante génétique de ce qui est implanté, le second au choix des semences qui sont le véhicule de la valeur génétique.

Au sein de la première composante, on va essentiellement se concentrer sur les traits agronomiques pris en compte par l'agriculteur, ainsi que sur la possibilité de combiner différentes variétés dans la sole d'une espèce cultivée, combinaison soit au sein d'une parcelle donnée (on parlera alors de mélanges variétaux), soit à l'échelle de l'ensemble de l'assolement.

Dans la seconde composante, il s'agit surtout de qualifier les avantages et inconvénients respectifs vis-à-vis des différentes performances productives, économiques, environnementales et sociales de l'usage de semences de ferme versus de l'usage de semences certifiées, qui sont ici associées à une utilisation de traitements de semences et d'un enrobage.

Place dans l'exploitation

Pour ce qui est de la composante « choix des variétés », ce sont des choix tactiques à forte réversibilité dans les cultures annuelles et à (très) faible réversibilité pour les cultures pérennes ; nous essaierons de bien identifier ces deux ensembles de cultures.

Place au sein de la filière de production

C'est une dimension des systèmes de production qui est fortement réglementée, tant au niveau national qu'au niveau européen, la mise en marché des variétés pour la quasi-totalité des espèces faisant l'objet d'une inscription au catalogue, national ou européen, avec une évaluation de la valeur agronomique, technologique et environnementale (VATE). La circulation des semences et des plants est régie par le fait qu'un grand nombre d'espèces doivent faire l'objet d'une certification obligatoire. Les variétés font l'objet d'un mode de protection originale, le Certificat d'Obtention Végétale (COV), gouverné au niveau international par l'UPOV et dont le dernier règlement a été transcrit en droit français par la loi du 8 décembre 2011. Au niveau européen, onze directives régissent le système ; elles sont en cours de refonte dans un système unique, la Seed Law (cf. Figure 4.1).

Les deux composantes « choix des variétés » et « choix des semences (certifiées) » se situent en aval d'un secteur économique privé bien structuré (et fortement exportateur), la régulation sur les traits améliorés se faisant *via* le CTPS, instance paritaire où les créateurs et les utilisateurs des semences et plants et des produits de récolte sont représentés. Ce système a parfois été décrit comme un exemple de verrouillage, mais c'est aussi une puissante instance d'orientation, mobilisable et mobilisée dans le cadre des politiques publiques.

L'aval de l'exploitation agricole intervient également, soit au niveau de la liste des variétés utilisables, soit au niveau des traits qui doivent définir le choix des agriculteurs (et par suite, les orientations des

sélectionneurs). On illustrera cet aspect par trois exemples particuliers en grandes cultures : d'abord la part considérable des blés panifiables (BPS) qui dépasse largement la part des récoltes effectivement utilisée en alimentation humaine et en boulangerie ; ensuite, les orges de brasserie où les variétés utilisées sont dans une liste fermée et restreinte définie par les malteurs ; enfin, le blé dur, espèce pour laquelle la teneur minimale en protéines de 13,5% constitue un point central d'articulation entre choix variétal et itinéraires techniques.

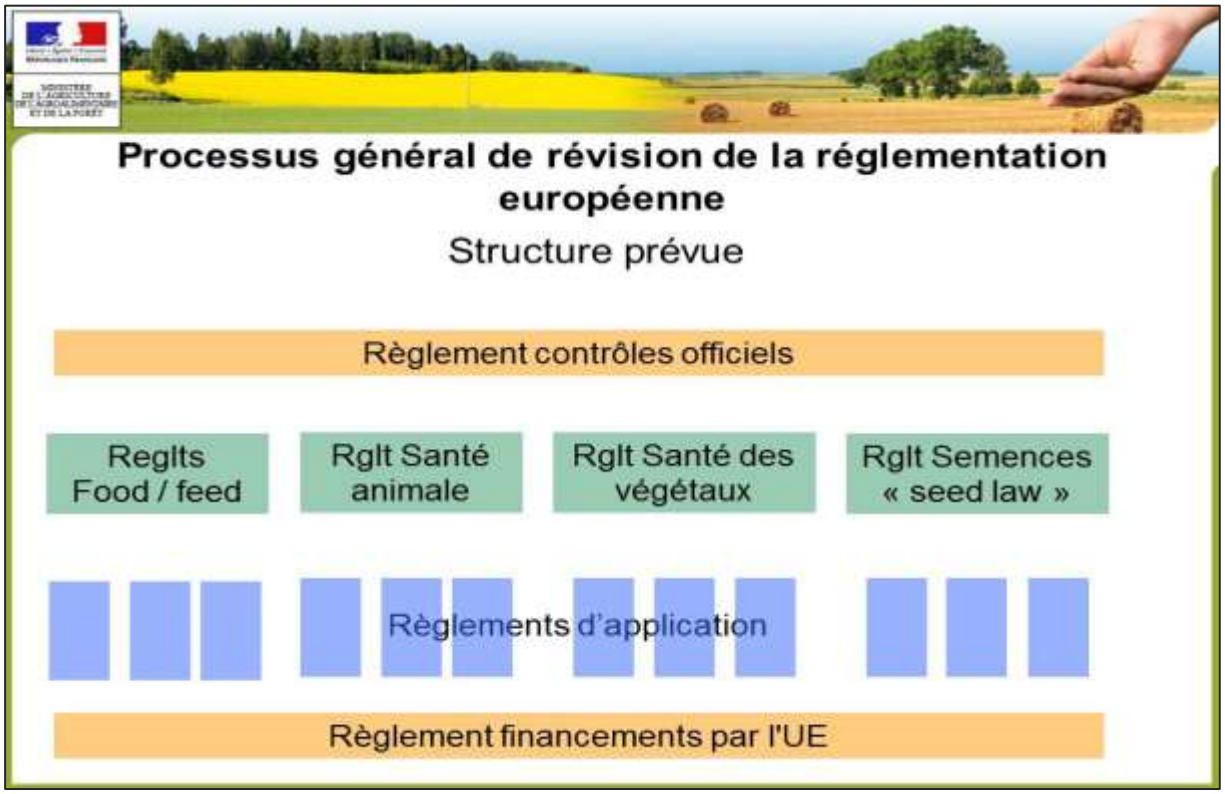

Figure 4.1 : *Processus général de révision de la réglementation européenne en matière de protection variétale*

B - Description par pratique élémentaire

Les différentes pratiques élémentaires identifiées sont regroupées au sein de ceux classes relatives au choix variétal d'une part, au choix des semences d'autre part.

B1 - Choix des variétés

B1.1 - Choix des variétés améliorées pour le rendement

Il s'agit ici de considérer les conséquences du choix par l'agriculteur de variétés ayant le plus haut rendement potentiel (exprimé en termes de biomasse récoltée).

L'amélioration du rendement d'une variété est souvent la conséquence d'un grand nombre de modifications, concernant notamment l'architecture des plantes et la résistance aux stress biotiques et

abiotiques. Nous ne chercherons pas ici à faire la part de ces différentes composantes, qui seront reprises plus loin pour certaines.

Le progrès génétique mis à la disposition des agriculteurs *via* les variétés disponibles sur le marché a été analysé pour différentes espèces et mis en regard du rendement effectivement obtenu, qui plafonne pour plusieurs espèces. Ainsi, dans le cas des grandes cultures annuelles, il est démontré un progrès génétique régulier dans la plupart des espèces récoltées en grains (cf. Oury *et al.,* 2012 pour le blé ou Sampoux *et al.,* 2010 pour le ray-grass anglais). Dans le cas particulier du blé tendre, Brisson et *al.* (2010) montrent que le progrès génétique a permis de compenser les facteurs de limitation du rendement, notamment le changement climatique, le raccourcissement des rotations et la simplification des pratiques culturales. Dans le cas des espèces fruitières et de la vigne, l'utilisation de variétés améliorées pour le rendement n'est pas la préoccupation majeure des agriculteurs.

De façon générale, le choix des variétés améliorées pour le rendement :

- Permet d'améliorer la productivité par hectare, toutes choses égales par ailleurs ;
- Tend à dégrader la qualité des produits, en raison de la relation entre quantité et teneur en constituants majeurs, en particulier la teneur en protéines (*via* un mécanisme général connu sous le terme de loi de dilution) ;
- Permet d'augmenter la rentabilité *via* une valeur ajoutée plus élevée sans hausse des charges variables. Il existe néanmoins des situations où les charges variables augmentent avec l'utilisation de variétés améliorées pour le rendement car des apports augmentés d'engrais, de produits phytosanitaires ou d'eau peuvent être requis pour permettre l'expression du potentiel génétique pour le rendement. En dehors de ces situations, la pratique élémentaire tend à diminuer la dépendance aux aides en augmentant le revenu hors aides. L'utilisation des variétés améliorées pour le rendement ne pèse pas directement sur la diversification des productions. Elle ne modifie ni l'endettement ni la transmissibilité de l'outil productif ;
- Peut affecter négativement la mobilisation de ressources fossiles de façon à permettre l'expression du potentiel génétique, avec une utilisation accrue d'intrants chimique (notamment des engrais azotés) qui entraine une dégradation de la performance « consommation d'énergie indirecte ». Il en est de même pour l'eau puisque le recours à l'irrigation peut être accru, à nouveau pour permettre l'expression du potentiel productif ;
- Affecte négativement la qualité de l'eau puisqu'il y a augmentation des apports d'engrais azotés, dont l'efficience d'utilisation n'est pas améliorée, et des apports de pesticides pour améliorer la protection phytosanitaire. En raison de l'utilisation accrue d'engrais azotés, les émissions de GES sont accrues (émissions de CO_2 liées à la synthèse d'engrais azotés et de N_2O liées à l'épandage des engrais minéraux et organiques) ;
- Enfin ne modifie pas les performances relatives aux différentes dimensions de la biodiversité dans les zones de production (supposées ici inchangées), pas plus que les performances sociales.

La dépendance au milieu physique est faible ; elle existe cependant. L'utilisation de variétés améliorées pour le rendement sera privilégiée dans les milieux à haut potentiel agronomique qui sont les plus à même de permettre l'expression maximale du potentiel génétique. La dépendance au contexte économique est favorable pour le prix du produit, défavorable pour les prix des consommations intermédiaires (engrais, produits phytosanitaires et eau).

B1.2 - Choix de variétés améliorées pour la qualité des produits

La qualité des produits de récolte a fait l'objet d'une amélioration pour un très grande nombre d'espèces agronomiques sous des formes diverses : composition en macroéléments (teneur en protéines pour les protéagineux, les céréales et les fourrages ; en huile pour les oléagineux ; en sucres) ; composition en microéléments (tannins chez la féverole ; polyphénols chez la vigne) ; valeur technologique (valeur boulangère chez le blé tendre ; digestibilité chez les fourrages ; présence de métaux lourds et/ou de mycotoxines) ; qualité

organoleptique. En production légumière et fruitière, ce sont aussi des composantes relatives à la forme, au calibre, à la texture et la couleur qui vont être prises en compte par les agriculteurs dans le choix des variétés.

Dans le cas des variétés des espèces où il existe une VATE obligatoire, les composantes de qualité figurent dans la rubrique « technologique ».

Dans le cas des espèces de grandes cultures, et dans une moindre mesure pour les fruits et la vigne, il existe une relation négative entre le rendement et la teneur en macroéléments ; par suite, les variétés améliorées pour la qualité présentent, en général, une productivité par hectare légèrement plus faible. Il existe toutefois des exceptions à cette relation.

Les conséquences du choix de variétés améliorées pour la qualité des produits sur les performances peuvent découler d'une réponse à une attente du marché final ou intermédiaire (industries d'aval) ; dans ce cas, il y a meilleure valorisation et donc amélioration de la rentabilité et de la valeur ajoutée ; l'impact sur l'endettement est nul.

En raison de la relation le plus souvent négative entre rendement et qualité, l'emploi de variétés améliorées pour la qualité des produits s'accompagne généralement d'une moindre intensification en termes d'intrants chimiques. On peut observer une augmentation de l'irrigation pour obtenir une expression de la qualité, notamment dans le cas des fruits.

Sans conséquence sur la qualité des sols, on peut observer, dans certaines conditions, une augmentation de la protection phytosanitaire, toujours pour une expression de la qualité ; une telle situation sera observée en particulier dans le cas des blés de force, du blé dur et/ou des fruits.

Aucun autre impact sensible sur l'environnement ne peut être identifié.

L'impact sur le travail peut être négatif, en particulier quand la valorisation de la qualité améliorée conduit à une modification des pratiques de récolte pour atteindre la qualité recherchée.

B1.3 - Choix de variétés dont l'architecture est améliorée pour la régularité de production

Cette pratique élémentaire est assez limitée. On va essentiellement la rencontrer dans le cas des espèces de grandes cultures où la verse est une réelle contrainte, ainsi que dans le cas des espèces fruitières.

Dans le cas des grandes cultures, la recherche des variétés naines a été longuement explorée chez le blé tendre et le blé dur, ceci afin d'éviter la verse et/ou réduire l'utilisation de raccourcisseurs. A cette fin, les deux gènes de nanisme issus des géniteurs de type Norin 10 ont été valorisés. La plupart des variétés actuelles de blé ne comportent plus qu'un seul, voire aucun, de ces gènes de nanisme, d'autres sources ayant été identifiées et utilisées depuis. De même, des gènes de nanisme ont été et sont utilisés en colza avec des variétés semi-naines ou naines, ainsi qu'en lupin. Pour ce qui est des grandes cultures, on soulignera également le cas du maïs qui a fait l'objet d'améliorations substantielles pour la résistance à la verse dans les années 1990. Plus récemment, le pois protéagineux a bénéficié de progrès importants en termes de tenue des tiges et ceci, de façon à faciliter la récolte, la mauvaise tenue de tiges des variétés anciennes pouvant conduire à des pertes importantes à la récolte ainsi qu'à des temps très longs à ce stade de production.

En cultures fruitières, le développement de variétés adaptées à une conduite en tige vise à permettre le recours à la taille mécanique. Ces variétés ont connu un fort développement en Europe du Nord, en particulier au Royaume-Uni, mais pas dans l'hexagone où leur emploi est resté très limité à ce jour.

De façon générale, les variétés à architecture améliorée pour une plus grande régularité de la production permettent d'augmenter la régularité du rendement et la qualité des produits récoltés ; par ce biais, elles ont

ainsi un impact positif sur la rentabilité, la Valeur Ajoutée (VA), l'Excédent Brut d'Exploitation (EBE) et le Revenu Courant avant Impôt (RCAI) ; elles améliorent l'autonomie productive et elles diminuent la dépendance aux aides et à l'aléa ; elles n'ont pas d'impact sur la diversification des productions, pas plus que sur l'endettement.

Ces variétés peuvent, dans certaines situations, réduire l'utilisation d'eau d'irrigation, en particulier dans le cas des variétés précoces ou des variétés ayant un développement foliaire plus limité ; elles peuvent aussi limiter les risques de lessivage d'azote et les émissions de GES car le pilotage de la culture est plus facile ; elles tendent également à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires ; elles sont sans conséquences sur le sol.

On notera enfin que ces variétés permettent de diminuer les temps de récolte et ainsi de réduire le temps de travail.

B1.4 - Choix de variétés améliorées pour la tolérance aux stress abiotiques

Cette pratique élémentaire recouvre l'ensemble des variétés qui présentent une résistance améliorée à la sécheresse, au froid et aux hautes températures. C'est donc un ensemble vaste de contraintes qui est ici regroupé. On prend également en compte ici les variétés dont la phénologie a été modifiée pour échapper aux stress hydriques.

De telles variétés ont fait l'objet d'un travail important en génétique, en particulier la résistance au gel dans le cas des espèces de grandes cultures. C'est à ce titre que l'ensemble des variétés de céréales d'hiver font l'objet d'une évaluation sur le site de Chaux des Prés (Jura) au moment de leur inscription au catalogue. On peut aussi mentionner ici l'ensemble des travaux de recherche que conduit l'Inra sur le pois d'hiver dans le but de développer des variétés Hr échappant au gel, ceci en raison d'un passage à l'état floral de l'apex qui dépend de la longueur du jour et non plus des sommes de températures. L'année 2012 qui a connu un hiver particulièrement froid est venue rappeler la fragilité de nombre de variétés de blé dur au gel.

Le choix de variétés améliorées pour la tolérance aux stress abiotiques conduit globalement à améliorer la productivité et la qualité, à diminuer les charges variables et à accroître rentabilité, VA, EBE et RCAI, à augmenter l'autonomie productive et à réduire la sensibilité aux aléas, notamment climatiques.

Les variétés plus tolérantes à la sécheresse (qui ne sont pas nombreuses) ou ayant une phénologie modifiée (cycle reproducteur plus précoce) réduisent le besoin d'irrigation. Aucun autre impact sur l'environnement n'est à signaler.

B1.5 - Choix de variétés améliorées pour une meilleure valorisation des engrais

Il s'agit essentiellement de variétés dont l'efficience d'utilisation de l'azote (NUE pour *Nitrogen Use Efficiency*) est améliorée. Ce trait ne fait pas l'objet d'une évaluation dans le cadre de l'inscription des variétés au catalogue et les données mobilisables, peu nombreuses, sont donc issues de la littérature. Il n'existe pas à ce jour de variétés améliorées spécifiquement pour la valorisation du phosphore.

Ces variétés présentent globalement une productivité et une qualité améliorées, en particulier dans les situations de fertilité minérale limitée. Elles permettent d'améliorer les résultats économiques, soit en augmentant la productivité pour un même niveau de consommations intermédiaires, soit en maintenant la productivité pour des niveaux de fertilisations plus faibles. Elles vont également présenter une meilleure résistance aux variations de fertilité minérale du sol.

En maintenant la productivité pour des niveaux de fertilisation plus faibles, la consommation d'énergie indirecte sera réduite. En conséquence, il y aura une diminution des pertes de nitrates et des émissions de GES et de NH_3. La plus faible fertilisation minérale peut être assimilée à une réduction de la perturbation de l'écosystème qui permet de réduire le nombre d'apports azotés, notamment dans le cas d'apports fractionnés, ce qui a un impact positif sur la performance « temps de travail ».

Ce choix de variétés n'a pas de conséquence sur la structure du sol, même si la réduction du nombre d'épandage d'engrais permet de limiter un peu la compaction.

B1.6 - Choix de variétés améliorées pour la résistance aux bioagresseurs

Le choix de ce type de variétés est une préoccupation forte des producteurs pour l'ensemble des cultures, annuelles comme pérennes. La résistance aux maladies fongiques foliaires ou telluriques, aux ravageurs et, dans une moindre mesure, aux adventices, a fait l'objet de nombreux travaux, conduisant à une offre variétale considérable, les résistances étant caractérisées lors de l'inscription des variétés aux catalogues nationaux. Les chercheurs et obtenteurs se sont attachés à développer des résistances polygéniques durables, le déploiement à grande échelle de résistances monogéniques fortes conduisant souvent à leur contournement (cas des gènes de résistance à la tavelure chez le pommier, de la résistance au phoma chez le colza, etc.). Les résistances polygéniques s'avèrent plus stables, même s'il existe des exceptions à cette règle (cas de la résistance au Bremia chez la laitue).

La résistance aux bioagresseurs permet d'améliorer les performances productives, sur les plans quantitatif et qualitatif, ainsi que les performances économiques (diminution des charges variables, amélioration des soldes de gestion, augmentation de l'autonomie productive).

En réduisant le nombre d'applications de produits phytosanitaires, le choix de variétés résistantes aux bioagresseurs permet de réduire les consommations directes d'énergie (et les consommations indirectes *via* une réduction du coût énergétique de synthèse des pesticides), les émissions de GES, la compaction du sol (en limitant le nombre de passages), ainsi que l'accumulation des ETM dans les cas où le cuivre est utilisé sous forme sulfate pour protéger les cultures. Et surtout, ce choix réduit les utilisations de produits phytosanitaires.

Ce choix permet aussi *via* la réduction du nombre d'applications de produits phytosanitaires, de diminuer la charge de travail ; toutefois, cet effet positif est à qualifier dans la mesure où l'utilisation de variétés résistantes aux bioagresseurs doit être couplée à une protection phytosanitaire adaptée s'appuyant sur une observation plus fine de l'état sanitaire des cultures, et des compétences spécifiques en matière d'observation.

On insistera sur l'importance à coupler l'utilisation de variétés résistantes à des bioagresseurs et l'adaptation du programme de protection phytosanitaire. Des suivis d'exploitations effectués par ARVALIS - Institut du Végétal ont pourtant montré que dans les exploitations de grandes cultures ayant recours à une palette large de variétés, dont des variétés tolérantes aux bioagresseurs, le programme de protection de ces variétés tolérantes est / reste souvent le même que celui des variétés sensibles. Le bénéfice potentiel lié à ce progrès génétique n'est donc pas totalement valorisé par les agriculteurs qui, pour des raisons de simplification du travail, hésitent à moduler le programme de protection phytosanitaire au niveau de résistance variétale vis-à-vis des maladies. Cette situation est différente en production fruitière où le programme de protection prend toujours en compte les particularités variétales et en vigne, où les variétés ayant des résistances polygéniques au mildiou et à l'oïdium sont attendues avec impatience et où la problématique de la durabilité des résistances est un enjeu majeur.

B1.7 - Choix de variétés tolérantes aux herbicides

Ce choix recouvre deux ensembles de variétés, d'une part, des variétés OGM résistantes à des herbicides, essentiellement au glyphosate (*Roundup Ready*), et, d'autre part, des variétés issues de mutations naturelles ou induites ; ces dernières présentent principalement des résistances aux herbicides de type sulfonylurées. L'emploi de variétés OGM est aujourd'hui interdit à la culture en France ; il est autorisé à l'importation.

Les modes d'obtention des variétés tolérantes aux herbicides et les conséquences de leur déploiement ont fait l'objet d'une expertise scientifique collective (ESCO) récente conduite par l'Inra et le CNRS dont les résultats ont été restitués en 2012 (Beckert *et al.,* 2012). L'évaluation des performances de la pratique élémentaire est largement déduite de cette expertise.

Les effets sur la productivité et la qualité du produit sont positifs lors des premières utilisations de ce type de variétés ; ils peuvent devenir négatifs à plus long terme dans le cas de sélection d'une flore adventice tolérante à la classe ou aux classes d'herbicides utilisées. Il y a tendance à une diminution des charges variables couplée à une baisse de l'usage de produits phytosanitaires, ainsi qu'à une réduction de la charge de travail consécutive à la simplification du programme de traitement herbicide des cultures.

Pour assurer une durabilité pérenne de la résistance aux herbicides, il faut que le choix de ce type de variétés soit combiné à une diversité des cultures au sein de l'assolement et de la rotation. Cette diversité des cultures doit correspondre à une diversité des cycles (semis de printemps, semis d'automne) et des programmes herbicides pour éviter qu'une seule classe d'herbicides ne soit utilisée sur l'ensemble de la succession culturale.

B1.8 - Choix de variétés adaptées au changement climatique

Cette pratique élémentaire reste théorique à ce jour car aucune variété inscrite au catalogue ne peut aujourd'hui revendiquer une adaptation au changement climatique. Il s'agit pourtant d'une pratique élémentaire qui pourrait devenir cruciale à l'avenir compte tenu de l'enjeu climatique, à condition que les efforts de recherche en ce domaine soient couronnés de succès et se traduisent par la mise au point de variétés adaptées au changement climatique (dans les dimensions température et manque d'eau, en moyenne et en variance).

L'adaptation des variétés au changement climatique peut se traduire de diverses manières, à savoir une tolérance augmentée aux températures très élevées en été, une modification de la phénologie permettant que la totalité du cycle reproducteur soit achevée avant que les températures ne soient excessives ou que la contrainte hydrique ne soit trop forte. Dans le cas particulier de l'abricotier (*Prunus armeniaca*), il est également nécessaire de veiller à ce que la floraison ne soit pas trop précoce de façon à éviter une exposition trop forte aux gelées tardives ou au risque de développement de maladies, telles que la moniliose favorisée par des humidités élevées. La même préoccupation existe chez les autres *Prunus*, mais avec une moindre acuité.

L'effet premier du choix de ce type de variétés sera de réduire la sensibilité aux aléas. L'échappement au stress hydrique lié au changement climatique permettra également de réduire le recours à l'irrigation.

B1.9 - Cultiver des mélanges de variétés sur une même parcelle

L'utilisation de mélanges de variétés sur une même parcelle est une pratique élémentaire qui a fait l'objet de différentes études en blé tendre (Lannou *et al.,* 2005 ; Raboin *et al.,* 2012) et en arboriculture (Brun *et al.,* 2007). L'objectif des mélanges de variétés est de réduire la pression parasitaire en augmentant la richesse allélique pour les gènes de résistance, ce qui permet de réduire les risques de contournement des résistances.

Les travaux susmentionnés ont montré que si les variétés utilisées en mélange portaient des allèles / gènes différents, alors il y avait amélioration de la situation parasitaire (au sens de réduction) et donc accroissement des rendements avec moindre recours aux produits phytosanitaires. Un tel résultat a notamment pu être été observé dans le cas du blé tendre vis-à-vis de la rouille (De Vallavieille-Pope *et al.,* 2006). Par contre, ce résultat positif n'a pas pu être observé dans le cas du blé tendre vis-à-vis de la septoriose (Meynard *et al.,* 2009), la diversité des gènes de résistance étant ici trop faible. Il a pu être observé dans le cas du pommier vis-à-vis de la tavelure, mais seulement avec une organisation très précise du verger, i.e., avec une organisation des arbres des différentes variétés en quinconce (Brun *et al.,* 2007).

On pourrait envisager d'utiliser ces phénomènes de facilitation pour d'autres cibles que la résistance aux maladies, en particulier la lutte contre les adventices (meilleure couverture du sol en associant des variétés ayant des ports différents) ou la lutte contre la verse (association de variétés ayant des tenues de tige différentes). Malgré ces avantages, ceci n'est pas mis en œuvre, pour des raisons qui tiennent à l'amont et l'aval de l'exploitation.

En effet, l'utilisation de variétés en mélange pose des questions au niveau de la filière, en amont et en aval de l'exploitation agricole. Dans le cas du blé tendre, la commercialisation de variétés en mélange n'est pas autorisée aujourd'hui ; par suite, si l'agriculteur souhaite utiliser des variétés en mélange, ce mélange doit être réalisé à la ferme avec des risques sanitaires potentiels pour l'agriculteur dans le cas de semences traitées. L'utilisation de variétés en mélange pose aussi des questions en aval des exploitations : la traçabilité variétale ne peut plus être assurée et doit / devrait être remplacée par une traçabilité par mesure de la qualité des lots récoltés.

Sur la base des travaux mentionnés ci-dessus, les performances de cette pratique élémentaire peuvent être ainsi résumées.

En grandes cultures, la pratique élémentaire améliore le rendement et la qualité (cf. travaux de C. Pope) des produits récoltés et, sous réserve d'une acceptabilité par la collecte - il s'agit là d'une réserve importante -, elle améliore aussi les performances économiques (augmentation de la rentabilité et amélioration des différents soles de gestion). Elle augmente l'autonomie productive et diminue la dépendance aux aléas ; elle n'a pas d'impact en termes de diversification des productions puisqu'il s'agit de variétés différentes d'une même espèce sur une même parcelle.

Pour des niveaux de fertilisation équivalents et dans la mesure où il y a augmentation légère du rendement, il y a amélioration des bilans azote et phosphore (réduction des risques d'émissions de nitrate et de phosphore) et diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires, ceci conduisant globalement à réduire l'impact sur l'écosystème. Il n'y a pas de réduction des émissions de GES puisque la fertilisation reste d'un même ordre de grandeur. La réduction de la protection phytosanitaire peut réduire la charge de travail.

En production arboricole, l'utilisation de variétés en mélange requiert des dispositifs de plantation trop complexes pour en permettre la mise en œuvre pratique, essentiellement pour des questions de coûts de conduite (taille) et de récolte prohibitifs.

Pour être réellement efficace, sur les plans productif, économique et environnemental, cette pratique élémentaire requiert une caractérisation fine des variétés, notamment la connaissance précise des gènes de résistance. Il ne suffit pas en effet d'associer des variétés possédant un bon niveau de résistance ; il faut aussi que les variétés utilisées en mélange soient porteuses de gènes / allèles différents. Ceci nécessite donc que ces gènes soient caractérisés et publiés, ce dernier point relevant du domaine du secret industriel.

En plus de l'arboriculture (cf. supra), on soulignera d'autres situations où cette approche s'avère également inopérante. C'est le cas, par exemple, de la laitue vis-à-vis du Brémia : les populations de pathogènes évoluent très vite et parviennent à rapidement contourner rapidement les résistances, y compris dans des cultures associant différents gènes de résistance (Guinebretière J.P., communication personnelle).

B1.10 - Cultiver différentes variétés de la même espèce sur l'exploitation

En grandes cultures, et alors que le turnover des variétés tend à s'accélérer, on assiste aujourd'hui au développement d'un phénomène nouveau, celui de la création de portefeuilles de variétés pour les agriculteurs, combinant différentes variétés.

De façon générale, le portefeuille de variétés consiste, pour l'agriculteur, à disposer de plusieurs variétés, en nombre toutefois limité, variétés qu'il connait bien et/ou qui ont été suffisamment documentées dans un environnement similaire à celui de son exploitation. Ce portefeuille de variétés fait l'objet d'un renouvellement lent, *via* l'introduction chaque année d'une ou de deux variétés nouvelles en remplacement de variétés plus anciennes et/ou moins performantes. Ce renouvellement permet à l'agriculteur de bénéficier du progrès génétique tout en limitant les risques et les aléas interannuels qui seraient générés par la réponse spécifique d'une variété aux conditions climatiques.

ARVALIS-Institut du Végétal pour les céréales et le CETIOM pour les oléagineux, le colza en particulier, diffusent cette démarche, en l'adossant à une analyse des corrélations interannuelles du rendement des variétés

(classement des variétés élites). Toutefois, et même s'il est statistiquement évident que l'augmentation du nombre de variétés d'un portefeuille conduit à une réduction de la sensibilité aux aléas, les critères biologiques et la méthodologie de construction de ce portefeuille de variétés doivent encore être affinés pour remplir l'objectif d'une valeur agronomique maximale et d'une variation interannuelle minimale.

Les trois impacts principaux de cette pratique élémentaire sont (i) une réduction de la dépendance aux aléas ; (ii) une diversification des cultures ; et (iii) une diversification potentielle des paysages et la construction d'une mosaïque des résistances à une échelle paysagère, sous réserve toutefois que les gènes de résistance soient documentés.

B2 - Choix des semences

B2.1 - Utiliser des semences de ferme

Cette pratique élémentaire consiste pour l'agriculteur à produire ses semences à la ferme en utilisant la récolte précédente, et en ayant parfois recours aux services d'un trieur à façon pour assurer la propreté du futur ensemencement (pas ou peu de graines d'adventices, pas de graines cassées, etc.). Le triage à façon permet aussi, si nécessaire, d'assurer un traitement des semences.

Cette pratique élémentaire est particulièrement opérante dans le cas des espèces autogames : les variétés sont alors des lignées pures (la récolte d'une lignée ne modifie pas la composition génétique) et la qualité (faculté et énergie germinatives) ne pose pas de problème particulier. Elle est donc répandue en espèces autogames de grandes cultures (environ 50% en blé tendre, orge, pois protéagineux, colza lignées) et aussi, mais de façon plus anecdotique, chez certaines espèces fourragères pour lesquelles il existe des variétés synthétiques (jusqu'à 30% en ray-grass d'Italie, proportion croissante en luzerne mais non quantifiée avec précision).

Cette pratique élémentaire a été prise en compte dès 1994 pour le blé tendre avec versement d'une CVO (Contribution Volontaire Obligatoire). Elle est reconnue par la convention UPOV 1991 qui a été transcrite en droit français par la loi du 8 décembre 2011 dont les décrets d'application sont encore attendus. Selon cette loi, les semences de ferme seront possibles pour 21 espèces moyennant le reversement d'une royaltie dont le taux n'est toujours pas fixé.[24]

Ce dispositif permet à l'agriculteur de bénéficier de la totalité du progrès génétique ; à cette fin, il lui suffit d'ensemencer chaque année une petite partie de sa sole avec des semences certifiées de variétés nouvelles.
Les conséquences de cette pratique élémentaire sur les performances sont un maintien du rendement et de la qualité si le nettoyage des semences est correctement réalisé ; comme les charges variables sont réduites, il y a amélioration des performances économiques (rentabilité et soldes de gestion) et de l'autonomie financière.

Le temps de travail est augmenté en raison de la nécessaire manipulation liée à la préparation des semences.

Aucune performance environnementale n'est affectée sauf possiblement la performance « utilisation de produits phytosanitaires » : cette utilisation peut être réduite car il y a généralement un moindre usage de produits de traitement des semences avec les semences de ferme.

B2.2 - Utiliser des semences certifiées traitées et enrobées

Cette pratique élémentaire recouvre l'utilisation de semences certifiées ayant bénéficié de différentes technologies apportées à la semence : priming, enrobage, pelliculage. Les semences sont certifiées sous l'égide

[24] Ces 21 espèces sont le pois chiche, le lupin, la luzerne, le pois, le trèfle d'Alexandrie, le trèfle de perse, la féverole, la vesce commune, l'avoine, l'orge, le riz, le phalaris, le seigle, le triticale, le blé tendre, le blé dur, l'épeautre, la pomme de terre, le colza, la navette et le lin oléagineux

du SOC (Service Officiel de Contrôle et de certification). Cette certification signifie que les semences correspondent bien à la variété indiquée et que leur qualité (puretés spécifique et variétale, présence d'adventices, faculté germinative) correspond bien aux normes officielles nationales et européennes.

- Les technologies de traitement de semences ont fait l'objet d'améliorations significatives au cours des dernières décennies, en particulier sur la base de travaux d'ingénierie développés par les entreprises semencières. On notera en particulier :
- Le priming : cette technologie qui consiste à initier puis bloquer le processus de germination permet d'accélérer de façon très significative la vitesse d'installation et l'homogénéité de la levée ; elle est d'emploi généralisé pour les semences de betterave et pour plusieurs espèces potagères.
- L'enrobage : cette technologie permet d'apporter en surface de la graine un certain nombre de substances chimiques ou biologiques permettant de protéger la graine et la plantule, et de favoriser la levée. Pendant longtemps, cette technologie fut exclusivement utilisée pour apporter des produits chimiques dont notamment certains néonicotinoïdes aujourd'hui remis en cause : Cruiser OSR, Gaucho, etc. Mais cette technologie permet aussi d'apporter d'autres composés, notamment des bactéries comme des rhizobiums (bactéries symbiotiques des légumineuses) ou des pseudomonas. Cette technologie offre donc un potentiel considérable.
- Le pelliculage : combiné à l'enrobage, ce procédé permet de protéger la graine et de séparer différents composés chimiques ou biologiques apportés par enrobages successifs et ainsi, éviter les interactions négatives.

Les principaux impacts liés à l'utilisation de semences certifiés traitées et enrobées sont une amélioration du rendement et de la qualité du produit récolté (ceci est particulièrement vrai pour la betterave), une amélioration de la rentabilité en dépit d'une augmentation des charges variables (coût augmenté des semences). Il y a augmentation des produits utilisés en traitement de semences plus que compensé par la suppression d'un ou de plusieurs traitements en végétation.

Ces technologies peuvent conduire à une perturbation négative de l'écosystème comme démontré dans le cas des néonicotinoïdes et de leurs effets sur les abeilles (Henry *et al.,* 2012) : cette perturbation est liée non pas la technologie, mais à une des substances apportées lors du traitement.

C - Eléments-clefs à retenir

Cette MP correspond à un domaine fortement réglementé, tant au niveau national qu'européen (inscription des variétés, contrôle et certification des semences), et bénéficiant d'un régime de propriété / protection intellectuelle fort. Ce régime socio-technique permet une orientation du progrès génétique, par l'ensemble des acteurs des filières et en prenant aussi en compte les priorités des pouvoirs publics. Il s'agit néanmoins d'une régulation « lourde » au sens où elle exige un temps long pour inscription au catalogue de nouvelles variétés, prise en compte de nouveaux traits cibles d'amélioration, etc.

De façon générale, le choix de variétés améliorées pour différents caractères contribue à améliorer l'ensemble des performances, notamment les performances productives et économiques, mais aussi les performances environnementales dès lors que tel ou tel compartiment environnemental est la cible de l'amélioration variétale. Il s'agit là d'une voie peu onéreuse (du moins pour l'agriculteur) et efficace à long terme pour une agriculture performante sur les plans productif, économique et environnemental.

L'amélioration génétique de la résistance des cultures aux maladies concentre une part importante des efforts de sélection depuis de nombreuses années, ce qui se traduit par une progression régulière des niveaux de résistance aux maladies. De nombreux travaux de recherche y sont consacrés (cf. Encadré 4.1 relatif aux

Investissements d'Avenir), comme le démontrent les réponses aux appels à projets du CTPS ou de l'axe recherche du plan Ecophyto (Axe 3). La création de variétés porteuses de résistances durables, obtenues par pyramidage de gènes, constitue un objectif majeur de nombreux programmes de sélection. Cette voie de sélection et ce type de variétés constituent une priorité de recherche-développement dans le cadre du plan Ecophyto de réduction des produits phytosanitaires. L'utilisation de ces variétés résistantes doit être couplée à une évolution de l'ensemble du système de culture et du programme de protection des cultures, afin de garantir la durabilité des résistances. Il en va du service que ces résistances rendent aux utilisateurs et à l'environnement. Il en va aussi des gènes. En effet, les gènes de résistance constituent un patrimoine commun rare et quand un gène de résistance est contourné, il est perdu puisqu'il n'est plus alors d'aucune utilité.

Encadré 4.1

Les Investissements d'Avenir en lien avec la MP Choix des variétés et des semences

Dans le cadre des Investissements d'Avenir (IA) initiés par le gouvernement en 2010 et mis en œuvre sous le contrôle de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche), deux thèmes avec dépôts de projets sont pertinents pour la MP ici considérée, à savoir les thèmes « Biotechnologies et Bioressources » et « Infrastructures ».

Un grand nombre de projets ont été soumis dans le thème « Biotechnologies et Bioressources », et de nombreux projets retenus pour financement viennent ainsi irriguer la MP. Sept projets sont en effet directement dédiés à la mise en œuvre de biotechnologies pour accélérer l'amélioration variétale et la sélection sur des espèces d'intérêt agronomique, alors que le projet Genius a pour objet de fournir aux scientifiques et sélectionneurs français un savoir-faire de pointe dans le domaine de la transgénèse, en particulier dans l'utilisation de la technologie de nucléases qui permet de modification du génome végétal avec une très grande précision.

Les sept projets dédiés à des espèces d'intérêt agronomique associent des laboratoires de recherche publique, des entreprises privées de biotechnologie et de sélection, des coopératives ainsi que des instituts techniques. Ils ont pour objectif général d'accélérer le rythme du progrès génétique par une meilleure connaissance des génomes, avec pour objectif concret la mise en œuvre de la sélection génomique. Les traits agronomiques ciblés pour les différentes espèces rejoignent les caractères agronomiques identifiés comme éléments-clefs de choix des variétés utilisées par les agriculteurs et listés dans la présente analyse :

Le projet AKER est dédié à l'amélioration génétique de la betterave sucrière dans le but de doubler le rythme de progrès génétique du rendement en sucre par hectare, en valorisant les ressources génétiques de l'espèce cultivée et des espèces proches et notamment *Beta maritima* (www.aker-betterave.fr).

Le projet AMAIZING est dédié au maïs ; il conjugue des approches de haut débit en génotypage et phénotypage pour identifier les facteurs génétiques impliqués dans les caractères d'intérêt agronomique tels que le rendement, la qualité des produits de récolte et la tolérance aux stress abiotiques (www.amaizing.fr).

Le projet BFF (Biomass For the Future) vise à relever les enjeux environnementaux et sociétaux de la production et de l'exploitation de biomasse pour favoriser le développement des filières d'exploitation de biomasse ; il allie la modélisation et la biologique systémique pour caractériser l'architecture et la composition biochimique des espèces les plus adaptées, en s'attachant en particulier à leur capacité à valoriser des terres agricoles à faible fertilité.

Le projet BREEDWHEAT est dédié au blé tendre et combine de nouvelles technologies de génotypage et de phénotypage à haut débit pour identifier les facteurs génétiques impliqués dans les caractères d'intérêt agronomiques tels que le rendement, la qualité des produits de récolte et la tolérance aux stress biotiques et abiotiques (insectes nuisibles, maladies, sécheresse, etc.) (www.breedwheat.fr).

Le projet PEAMUST est dédié au pois protéagineux et aux légumineuses à graines dans une perspective, notamment, de contribution potentielle à la diversification des systèmes de cultures et d'augmentation de la part des légumineuses dans les systèmes de production. Il utilisera les technologies à haut débit en séquençage, génotypage et phénotypage pour augmenter la tolérance aux stress biotiques et abiotiques (maladies aériennes et racinaires, stress hydrique et thermiques, ravageurs, etc.).

Le projet RAPSODYN a pour objet, par la génétique et la génomique, d'accélérer la sélection de variétés de colza adaptées à une forte contrainte azotée, en optimisant la teneur et le rendement en huile. Ceci passe par une amélioration de l'efficience d'utilisation de l'azote.

Enfin, le projet SUNRISE a pour objectif de contribuer à l'amélioration génétique du tournesol an valorisant la disponibilité prochaine de la séquence génomique, l'arrivée des nouvelles technologies de séquençage et le développement de plateformes de phénotypage et de bio-informatique.

Au titre du thème « Infrastructures », le projet PHENOME contribuera, *via* le soutien aux plateformes technologiques de phénotypage à haut débit de matériel végétal, à automatiser la collecte de caractéristiques phénotypiques de variétés végétales de différentes espèces. Ce projet, qui pourra à terme faire évoluer les pratiques de tous les obtenteurs, permettra de lever le frein croissant que constitue aujourd'hui la capacité à collecter les phénotypes des plantes, dont le génotype est par ailleurs caractérisé. Ce couplage entre collecte des phénotypes et des génotypes est un élément indispensable pour caractériser des zones du génome pertinentes pour des caractères agronomiques quantitatifs variés et nombreux, et le déploiement de la sélection génomique.

Les mélanges de variétés au sein d'une même parcelle et/ou la constitution d'un portefeuille de variétés sont des voies peu explorées aujourd'hui. Ces deux pratiques élémentaires requièrent une démarche collective de l'ensemble de la filière, plus spécifiquement une adhésion de l'aval et une adaptation de la réglementation en termes de secret industriel relatif à la description des variétés et à l'identification des gènes/allèles de résistance, ainsi qu'en termes de commercialisation. Ce sont des voies de progrès majeurs et il convient de voir comment lever les verrous ci-dessus listés. La caractérisation des gènes de résistance pourrait faire partie des caractères de DHS en allant au-delà de la seule caractérisation phénotypique de la résistance.[25] Ceci est d'ailleurs déjà pratiqué sur certaines espèces potagères où la DHS comporte des études de résistance vis-à-vis d'une gamme de races pour une maladie donnée. Pour ce qui est du second verrou, la réponse vient sans doute d'une caractérisation plus fine et plus rapide de la qualité des lots récoltés sur le point de collecte, permettant ainsi de réaliser des assemblages plus raisonnés. Dans la réalité du commerce des graines des espèces de grandes cultures, la plupart des collectes sont regroupés en très grand ensembles pour des raisons logistiques de transport (par exemple, par bateau pour le transport des céréales) ; à l'opposé, la gestion de petits lots supposerait des transports par container engendrant des coûts vraisemblablement prohibitifs.

Les semences et plants forment un domaine où il existe de larges possibilités d'innovations technologiques ciblant l'amélioration de la qualité d'installation et les stades jeunes des cultures. Souvent considérées uniquement à l'aune de la protection chimique, certaines innovations technologiques (le priming en particulier) ont pourtant déjà fait la preuve d'un potentiel considérable d'accroissement des performances productives et économiques ; le développement de l'enrobage recèle aussi des potentiels importants. Trop peu d'efforts sont sans doute consacrés à ces deux aspects pour de nombreuses espèces, les efforts étant aujourd'hui limités à quelques espèces majeures à forte valeur ajoutée.

Les semences de ferme constituent aujourd'hui un enjeu politique fort, certains agriculteurs considérant que le droit de produire ses propres semences à partir de sa récolte ne doit donner lieu à aucune rémunération du créateur de la variété. Selon nous, la loi du 8 décembre 2011 permet de définir un compromis viable et équitable pour la plupart des acteurs. D'autres mécanismes de rémunération de l'activité créatrice existent dans le monde, par exemple le « *end-point royalty*[26] » en Australie, tout en restant très proche du CVO. Quel que soit le mécanisme, la rémunération de l'acte de création est indispensable pour maintenir une activité de sélection dynamique. L'alternative pour les obtenteurs d'espèces autogames pourrait être la production d'hybrides que l'agriculteur ne peut plus multiplier avec maintien de la valeur agronomique. La production d'hybrides est la pratique pour les espèces allogames à reproduction contrôlée (maïs, sorgho, tournesol…) et ne se justifie chez les autogames que si la valeur agronomique est améliorée. La remise en cause du système de rémunération pourrait fragiliser l'ensemble de ce mode de propriété intellectuelle qu'est le COV, particulièrement favorable à l'émergence de variétés adaptées à une agriculture agro-écologique. Sa mise en danger favoriserait la protection des obtentions par brevet que les opérateurs et responsables français et européen ne souhaitent pas.

[25] DHS pour Distinction, Homogénéité, Stabilité.
[26] http://www.intergrain.com/PBR-EPR/end-point-royalties-epr.html

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie									
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité
Choix des variétés et des semences	Choix variétal	Choisir des variétés améliorées pour le rendement	+	-	+	=	+	+	=	+/-	+	=	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour la qualité des produits	+/-	+	+	=	+	+/-	+/-	=	=	=	=	=
		Choisir des variétés dont l'architecture est améliorée pour la régularité de production	+/-	+	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+	+	=	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour la tolérance aux stress abiotiques	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour une meilleure valorisation des engrais	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour la résistance aux bio-agresseurs	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=
		Choisir des variétés tolérantes aux herbicides	+/-	+/-	+/-	=/+	+/-	=	=	=	=	=	=	=
		Choisir des variétés adaptées au changement climatique	+/-	+/-	+/-	=	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=
		Cultiver des mélanges de variétés sur une même parcelle	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=
		Cultiver différentes variétés de la même espèce sur l'exploitation	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Choix des semences	Utiliser des semences de ferme	=	=	=/+	+	=/+	=/+	=/+	+	=	=	=	=
		Utiliser des semences traitées/ enrobées	+	+	=/+	-	+/-	+/-	+/-	-	=	=	=	=

			Ressources naturelles fossiles				Environnement							
			Energie		Quantité d'eau	Phosphore	Sol				Qualité de l'eau			
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires
Choix des variétés et des semences	Choix variétal	Choisir des variétés améliorées pour le rendement	=	-	-	=	=	=	=	=	-	-	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour la qualité des produits	=	=	=/-	=	=	=	=	=	+/-	-	=	=
		Choisir des variétés dont l'architecture est améliorée pour la régularité de production	+/-	=	+	=	=	=	=	=	+	=/+	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour la tolérance aux stress abiotiques	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour une meilleure valorisation des engrais	=	+	=	+	+	=	=	=	+	=	+	=
		Choisir des variétés améliorées pour la résistance aux bio-agresseurs	+	+	=	=	+	=	=	+	=	+	=	=
		Choisir des variétés tolérantes aux herbicides	+/-	+/-	=	=	=	=	=	=	+/-	=/+	=	=
		Choisir des variétés adaptées au changement climatique	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Cultiver des mélanges de variétés sur une même parcelle	=	=	=	=	=	=	=	=	+	+	+	=
		Cultiver différentes variétés de la même espèce sur l'exploitation	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Choix des semences	Utiliser des semences de ferme	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Utiliser des semences traitées/ enrobées	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=

			Environnement								Dimensions sociales			
			Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Choix des variétés et des semences	Choix variétal	Choisir des variétés améliorées pour le rendement	-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Choisir des variétés améliorées pour la qualité des produits	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=
		Choisir des variétés dont l'architecture est améliorée pour la régularité de production	+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	+
		Choisir des variétés améliorées pour la tolérance aux stress abiotiques	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+
		Choisir des variétés améliorées pour une meilleure valorisation des engrais	+	+	=	=	=	=	=	=/+	+	=	=	=/+
		Choisir des variétés améliorées pour la résistance aux bio-agresseurs	+	=	=	=	=	=	=	+	+	=	=	+
		Choisir des variétés tolérantes aux herbicides	+/-	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	+/-
		Choisir des variétés adaptées au changement climatique	=	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	+
		Cultiver des mélanges de variétés sur une même parcelle	=	=	=	=	=	=	=	=/+	+	=	=	+
		Cultiver différentes variétés de la même espèce sur l'exploitation	=	=	=	=	=	+	=	=	+/-	=	=	+
	Choix des semences	Utiliser des semences de ferme	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=
		Utiliser des semences traitées/ enrobées	=	=	=	=	=	=	=	=/-	+/-	=	=	=

E - Références bibliographiques

BECKERT M., DESSAUX Y., CHARLIER C., DARMENCY H., RICHARD C., SAVINI I., TIBI A. (éditeurs). 2011. Les variétés végétales tolérantes aux herbicides. Effets agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, CNRS-Inra (France), 84p.

BRUN L., DIDELOT F., PARISI L. 2007. Stratégies de protection innovantes contre la tavelure du pommier: conception, évaluation et intégration en vergers. *Innovations Agronomiques*, 1, 33-45

DE VALLAVIEILLE-POPE C., BELHAJ FRAJ M., MILLE B., MEYNARD J.M. 2006. Les associations de variétés : accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies. *Dossier de l'Environnement de l'Inra,* 30, 101-109

HENRY M., BEGUIN M., REQUIER F., ROLLIN O., ODOUX J.F., AUPINEL P., APTEL J., TCHAMITCHIAN S., DECOURTYE A. 2012. A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science,* 336, 348-350

LANNOU C., HUBERT P., GIMENO C. 2005. Competition and interactions among stripe rust pathotypes in wheat-cultivar mixtures. *Plant Pathology*, 54, 699-712

MEYNARD J.M., ROLLAND B., LOYCE C., FÉLIX I., LONNET P. 2009. Quelles combinaisons variétés / conduites pour améliorer les performances économiques et environnementales de la culture de blé tendre ? *Innovations Agronomiques*, 7, 29-47

RABOIN L.M., RAMANANTSOANIRINA A., DUSSERRE J., RAZASOLOFONANAHARY F., THARREAU D., LANNOU C., SESTER M. 2012. Two-component cultivar mixtures reduce rice blast epidemics in an upland agrosystem. *Plant Pathology*, 61, 1103-1111

CHAPITRE 5

PROTECTION PHYTOSANITAIRE DES CULTURES

A - Introduction 100
B - Description par pratique élémentaire 102
C - Eléments-clefs à retenir 120
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 124
E - Références bibliographiques 125

CHAPITRE 5
Protection phytosanitaire des cultures

A - Introduction

Les bioagresseurs ou ennemis des cultures sont les organismes susceptibles de provoquer des pertes directes et indirectes de récolte : les pertes directes résultent d'une altération du fonctionnement de la culture et de la quantité ou de la qualité des organes récoltés ; les pertes indirectes résultent d'une réduction des possibilités (ou augmentation des coûts) d'intervention sur la culture en particulier de récolte (par exemple dans le cas de verse des céréales). On distingue usuellement, d'une part, les adventices (ou, vulgairement, les mauvaises herbes), les parasites (microorganismes ou organismes le plus souvent végétaux) qui se développent aux dépens de la plante ou du peuplement végétal en perturbant son fonctionnement de façon plus ou moins dommageable, et les ravageurs, organismes animaux qui attaquent certains organes végétaux et les détruisent en tout ou partie (Renou et Deguine, 2006 ; Deguine *et al.*, 2008 ; Ricci *et al.,* 2011). A l'échelle mondiale, les pertes causées par les bioagresseurs étaient estimées à environ 400 milliards d'euros au début des années 2000 (Dhaliwal *et al.,* 2004). Par opposition, les organismes contribuant au bon développement des cultures, directement (par exemple, par la fixation symbiotique de l'azote de l'air) ou indirectement (par neutralisation ou destruction des bioagresseurs), sont appelés auxiliaires des cultures.

La protection phytosanitaire des cultures vise à limiter raisonnablement (au regard des coûts engagés et des impacts environnementaux) les pertes de récolte induites par les dommages des bioagresseurs en recourant à des moyens agronomiques, mécaniques et/ou chimiques. A côté des bénéfices rendus pour la protection des cultures, en quantité et qualité de la récolte, le recours à des produits phytopharmaceutiques de synthèse (directive 91/414/CEE), également appelés produits phytosanitaires, présente aussi des risques pour la santé des utilisateurs desdits produits (Acquavella *et al.,* 1998), pour celle des consommateurs (en raison des résidus éventuellement présents au-delà de certains seuils dans les produits végétaux, présence qui fait l'objet d'une réglementation stricte), et pour plusieurs composantes de l'environnement : fonctionnement des écosystèmes et biodiversité, qualité de l'eau, de l'air et des sols. Selon le CGDD (Commissariat Général au Développement Durable), il y avait en 2007 présence de pesticides dans 91% des cours d'eau français, lors d'au moins un prélèvement ; les herbicides en particulier y sont très souvent détectés (CGDD 2007).

Dans ce contexte, le plan gouvernemental Ecophyto 2018 adopté en 2008 à la suite du Grenelle de l'environnement, et mis en place depuis 2009, illustre la volonté de réduire fortement le recours aux produits phytosanitaires (« de 50% si possible »). Ce plan s'appuie entre autres sur le rapport Ecophyto R&D remis par l'Inra en 2010 (Butault *et al.,* 2010), rapport qui concluait notamment que : *« (…) une baisse de l'ordre du tiers de l'utilisation des pesticides par rapport à 2006 serait atteignable avec des changements significatifs de pratiques, mais sans bouleversement majeur des systèmes de production, et avec des effets sur les niveaux de production et les marges variables selon les secteurs de production et les niveaux de prix.*

En grandes cultures, qui représentent la majorité des surfaces et de l'utilisation des pesticides, les marges seraient peu ou pas touchées avec les prix 2006, mais une baisse de production de 6% serait observée (…) Une réduction de moitié de l'utilisation des pesticides supposerait une nouvelle conception des systèmes de production, avec des effets significatifs sur le niveau de production et les marges ; elle supposerait également des modifications au niveau des filières et des marchés (…) ».

En 2008, 78 600 tonnes de produits phytosanitaires ont été vendus en France, dont 90% pour un usage agricole (Rapport Pesticides & Santé, 2010). La France est ainsi le premier consommateur de produits phytosanitaires en Europe, et le quatrième au niveau mondial, mais elle est aussi le premier producteur agricole européen et dispose de la plus grande surface agricole utile. D'après les données du RICA (Réseau d'Informations Comptables Agricoles), les dépenses nationales en pesticides se sont élevées à 2 310 millions d'euros en 2006, soit 6 700 euros par exploitation et 90 euros par hectare (Butault *et al.,* 2010). Les orientations productives de la viticulture, de l'arboriculture, du maraîchage et de l'horticulture ont des niveaux d'utilisation de pesticides élevés rapportés à l'hectare alors que les grandes cultures annuelles céréales et oléagineux sont les premières utilisatrices en volume du fait de plus grandes surfaces concernées et même si les usages par hectare sont plus faibles (ESCo Pesticides, 2005).

Historiquement, la démarche de protection des cultures en France a comporté différentes étapes. L'une des transitions importantes est ainsi le passage d'un régime de traitements essentiellement curatifs, où l'intervention se faisait après détection de la présence du bioagresseur, à un régime de traitements essentiellement préventifs. Meynard *et al.* (2009) signalent aussi la transition marquante qui s'est située au début des années 80 pour les cultures annuelles, caractérisées par l'emploi conjugué de variétés à fort rendement, de fortes doses d'azote, de raccourcisseurs pour éviter la verse, de fongicides et insecticides s'ajoutant aux herbicides sélectifs déjà apparus auparavant. Cette évolution correspond à une augmentation notable de l'usage des produits phytosanitaires.

Les indicateurs d'usage de produits phytosanitaires n'ont fait qu'assez récemment l'objet de travaux de mise au point pour dépasser le côté fruste et voire trompeur des tonnages de produits vendus. Un premier progrès a consisté à évaluer les quantités pondérales de substances actives (QSA). Mais on donne alors une importance majeure aux substances à faible efficacité spécifique par rapport à des matières actives dont la très forte efficacité va de pair avec des quantités épandues beaucoup plus faibles, mais avec parfois des impacts toxicologique et écotoxicologique eux aussi beaucoup plus importants par unité de masse. D'où la mise au point du NODU (nombre de doses-unités), qui rapporte les quantités épandues aux doses homologuées pour les différentes cultures. En définitive, pour caractériser l'usage des pesticides, deux indicateurs principaux sont utilisés aujourd'hui. A l'échelle nationale, le NODU mesure la quantité de produits vendus exprimée en doses-unités ; il est directement fonction des surfaces traitées. Au niveau de l'exploitation agricole ou du système de culture, l'indicateur utilisé est l'IFT pour Indice de Fréquence de Traitement[27], non dépendant de la surface. Ces indicateurs d'usage caractérisent de façon sommaire la pression exercée par l'agriculteur sur son environnement. C'est pourquoi on les qualifie parfois d'indicateurs de pression mais beaucoup de progrès restent à faire pour mieux caractériser cette pression.

La gestion de la protection des cultures peut être conçue en combinant de façon variable approches préventives et curatives. Par suite, la MP Protection phytosanitaire des cultures a ici été décomposée en cinq pratiques qui selon le cas visent à empêcher ou retarder l'apparition des bioagresseurs, (mesures prophylactiques et mesures agronomiques préventives) ou à les détruire ou limiter leur expansion une fois qu'ils ont atteint un certain stade de développement (lutte chimique, lutte physique, lutte biologique et mesures de biocontrôle).

[27] L'IFT exprime la quantité de matières actives apportées par unité de surface rapportée à la dose homologuée sur la culture concernée. Un passage de produit phytosanitaire à la dose homologuée conduira à un IFT de 1, et l'application d'un désherbant à demi-dose sur un tiers de la parcelle (désherbinage) conduira à un IFT de 0,17.

Les mesures prophylactiques visent à prévenir l'apparition des bioagresseurs ; elles sont très régulièrement mises en œuvre dans les productions arboricoles et maraîchères. Les mesures agronomiques préventives recourent à des adaptations des itinéraires des cultures. Ces pratiques peuvent être mises en œuvre sans exclure des méthodes de lutte directe et sont donc évaluées au regard de leur introduction en complément, et non en substitution, de ces méthodes de lutte.

La lutte chimique consiste à recourir aux produits phytosanitaires[28], de synthèse ou non, pour éliminer les bioagresseurs et/ou limiter leur nuisibilité. La lutte physique correspond soit à la destruction mécanique des adventices, soit à la mise en place d'obstacles vis à vis des autres agresseurs (insectes, oiseaux…). La lutte biologique et les mesures de biocontrôle enfin visent à la protection des plantes en privilégiant l'utilisation de mécanismes et d'interactions naturels (IBMA[29], 2010, cité dans Ecophyto R&D - Cahiers d'acteurs, 2010). Le principe du biocontrôle est fondé sur la régulation *via* les auxiliaires (micro ou macro-organismes), les médiateurs ou les stimulateurs de défenses naturelles, de l'ampleur et de la nuisibilité des populations de bioagresseurs, plutôt que sur leur éradication.

La mise en œuvre de la stratégie de protection des cultures doit s'inscrire dans une démarche globale, à différentes échelles ; elle nécessite aussi des ajustements tactiques. Cette MP est donc directement liée aux MP Choix des variétés et des semences, Choix des successions de cultures et des assolements et Aménagement foncier. En outre, les bioagresseurs étant souvent mobiles à des distances plus ou moins grandes, la MP est également fortement dépendante du milieu, en particulier de la gestion des bioagresseurs sur les parcelles et exploitations voisines. Cette caractéristique conduit à souligner l'importance d'une connaissance approfondie de la biologie des populations de bioagresseurs pour développer des méthodes de lutte appropriées, favoriser les populations d'auxiliaires et éviter le développement de résistances[30] des bioagresseurs aux pesticides et/ou le contournement[31] des résistances variétales.

Concrètement, les différentes pratiques élémentaires analysées dans le cadre de cette MP s'inscrivent dans un objectif de réduction des quantités utilisées de produits phytosanitaires, en cherchant à préserver autant que possible les niveaux de production et la qualité des produits de récolte.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Mesures prophylactiques[32]

B1.1 - Nettoyer et désinfecter les matériels de culture et de récolte

Le nettoyage et la désinfection du matériel de récolte vise à éviter la contamination de nouvelles parcelles *via* la propagation d'*inocula* (source de contamination constituée de germes vivants et/ou de semences

[28] Les produits phytosanitaires sont des préparations phyto-pharmaceutiques recourant à des molécules chimiques en formulation et quantités variables. Un produit phytosanitaire contient souvent : une ou plusieurs substances actives, un ou plusieurs adjuvants, un support inerte (eau, argile, cellulose) (DRIAF IDF).
[29] International Biocontrol Manufacturers' Association
[30] La résistance d'un être vivant (ici végétal) est sa capacité à résister à l'infection par un bioagresseur. Elle est à distinguer de la tolérance, qui permet au végétal infecté par un bioagresseur de ne subir que de faibles effets négatifs.
[31] Capacité, généralement acquise par mutation, d'un bioagresseur à contourner les défenses de la plante.
[32] On n'évoquera ici que pour mémoire l'utilisation de plantes ou semences certifiées et réputées de bonne qualité sanitaire et pureté.

d'adventices) transportés depuis une parcelle infectée. Cette pratique élémentaire est applicable à l'ensemble des cultures, annuelles et pérennes.

Cette pratique élémentaire peut améliorer la qualité des produits de récolte et réduire le recours aux produits phytosanitaires. Elle n'a pas d'impact sur les performances économiques des exploitations, les coûts de nettoyage et de désinfection des matériels étant jugés négligeables. Sa mise en œuvre engendre une augmentation du temps de travail de l'agriculteur.

B1.2 - Eliminer sélectivement les premiers foyers de bioagresseurs

Lorsque des foyers de bioagresseurs sont détectés, leur destruction précoce peut permettre de retarder dans le temps et/ou de réduire dans l'espace la portée d'une attaque. La mise en œuvre de cette destruction est délicate ; elle suppose en effet une surveillance régulière et pointue des cultures. Deux voies d'élimination peuvent être utilisées. La première voie est la destruction totale du couvert végétal, voie préconisée par exemple dans le cas d'apparition de feu bactérien sur certains arbres fruitiers à pépin ou encore de cuscute dans les cultures de luzerne, en production fourragère (de sorte à éviter la dissémination progressive de la cuscute à l'ensemble des parcelles, *via* les fumiers) et plus encore en production de semences où la présence de graine de cuscute conduit à un retrait des lots de semences (même si le tri sélectif des graines de cuscute est possible par passage au trieur magnétique). La seconde voie consiste en une application localisée de produits phytosanitaires sur le seul foyer d'apparition ; ceci est possible en vergers pour maîtriser les premières apparitions de pucerons, mais cette seconde voie ne peut pas aller au-delà d'une utilisation limitée à cause de l'investissement nécessaire en temps de travail.

La diminution précoce des foyers potentiellement infectieux permettra une réduction des volumes de produits phytosanitaires au prix d'une augmentation de la charge de travail de l'agriculteur, plus spécifiquement d'une augmentation du temps de surveillance des cultures. *Via* la réduction des utilisations de produits phytosanitaires, la pratique élémentaire permet de réduire les charges variables et d'augmenter la rentabilité et les soldes de gestion (VA, EBE et RCAI).

B1.3 - Eliminer ou enfouir les résidus contaminés

La dispersion (par voie aérienne notamment) des *inocula*, source de contamination secondaire des cultures[33], peut être fortement réduite par soustraction des résidus contaminés (bois de taille, feuilles, fruits non récoltés, etc.). A titre d'exemples peuvent être cités l'enlèvement et/ou le brûlage des bois de taille de la vigne (pratique aujourd'hui généralisée), le broyage des cannes de maïs (pour lutter contre la pyrale et la chrysomèle), ou encore le ramassage de la litière de feuilles en verger fruitier (pour limiter la propagation de la tavelure ; cf. Brun *et al.,* 2005 et Gomez *et al.,* 2007, cités dans Brun, 2007). Utiliser le labour à des étapes précises de la rotation pour enfouir les graines d'adventices ou de la culture précédente, et éviter leur levée s'apparente aussi à cette pratique élémentaire.

Cette pratique élémentaire peut contribuer à la réduction des utilisations de produits phytosanitaires et par suite de la consommation d'énergie directe (pour leur application) et indirecte (pour leur production). Néanmoins, l'enfouissement des résidus contaminés avec des outils de travail du sol augmentera la consommation directe d'énergie (carburant), effet négatif supposé supérieur à l'effet positif lié la baisse des applications de produits phytosanitaires ; d'où la dégradation de la performance associée à la consommation totale d'énergie directe. La diminution des charges variables permet, pour une production inchangée en volume et en valeur, d'augmenter la rentabilité, les soldes de gestion VA, EBE et RCAI, et l'autonomie productive, et de diminuer la dépendance aux aides ; ces effets positifs sont néanmoins d'ampleur limitée.

[33] Une source est dite secondaire lorsque l'inoculum a transité par un hôte temporaire avant de contaminer sa cible (ici, les résidus de culture sont cet hôte, ou source secondaire, du bioagresseur)

Dans le cas de l'élimination des résidus, le taux de matière organique des sols n'est pas impacté. En revanche, l'incorporation de matières dans le sol permet d'accroître la MO du sol ; leur dégradation par les microorganismes du sol consommera de l'azote minéral et limitera le risque de lixiviation du nitrate et les émissions de GES, sans que cela ne compense les émissions consécutives à la consommation de carburant. Le passage d'outils de travail du sol contribue aussi à perturber, au moins temporairement, l'écosystème des premiers centimètres de sol.

L'effet global de la pratique élémentaire sur le temps de travail est ambigu : l'accroissement de la charge de travail induite par les opérations d'élimination ou d'enfouissement pouvant permettre d'éviter des opérations ultérieures de protection des cultures.

B1.4 - Raisonner l'ordre de passage dans les parcelles pour limiter les contaminations

Lorsque plusieurs parcelles sont successivement parcourues dans le cadre d'une opération culturale donnée (travail du sol, fertilisation, protection des cultures, récolte), le circuit optimal pour limiter la dissémination d'*inocula* est de progresser par ordre de contamination croissante des parcelles, en particulier lorsque les outils sont directement en contact avec les *inocula* (par ex., le désherbage mécanique). Cette pratique élémentaire est complémentaire d'une autre pratique élémentaire : « nettoyer et désinfecter les matériels de culture et de récolte », au sens où nettoyage et désinfection visent à éviter d'exporter des contaminations.

Cette pratique élémentaire est mise en œuvre dans une optique préventive. Elle peut de ce fait améliorer la qualité de la récolte. Elle permet de réduire les utilisations et rejets de produits phytosanitaires, de diminuer les charges variables liées à ce poste de dépenses et d'améliorer la rentabilité, les soldes de gestion (VA, EBE et RCAI) et l'autonomie productive de l'exploitation ; comme pour la pratique élémentaire précédente, ces effets économiques positifs sont d'ampleur limitée. Cette pratique élémentaire pourra nécessiter un temps de travail plus long du fait qu'elle conduit à un parcours non optimisé (au regard du critère temps de travail) entre les différentes parcelles.

B2 - Mesures agronomiques préventives

B2.1 - Adapter les dates de semis

Pratique élémentaire exclusivement réservée aux cultures annuelles, l'adaptation des dates de semis est une technique d'évitement visant à apporter au couvert un avantage concurrentiel vis-à-vis des adventices (cas du colza), à retarder le développement des adventices en reportant à plus tard le semis du couvert (cas des céréales), ou encore à décaler les stades de sensibilité de la culture (la floraison chez le maïs) relativement aux périodes de stress abiotiques (déficit hydrique) ou biotiques (semis précoce du colza pour que son développement lui permette de résister aux attaques d'altises d'hiver[34]).

Avancer ou retarder la date du semis entraîne une installation du couvert dans des conditions *a priori* moins favorable qu'une implantation aux dates conseillées, ce qui peut générer des pertes de production (impossibilité de réaliser le semis si la pluviométrie est trop importante et/ou le sol insuffisamment ressuyé ; mauvaise levée du blé tendre d'hiver semé tardivement ; etc.) ou, au contraire, permettre un développement accéléré de la culture par meilleure valorisation de l'azote disponible (cas, par exemple, du colza semé précocement : son développement à l'automne lui permet alors de valoriser plus d'azote relativement à un semis à une date classique).

[34] Les altises sont des insectes de l'ordre des coléoptères et de la famille des chrysomélidés, prédateurs de nombreuses cultures.

Cette incertitude sur les quantités produites entraîne une incertitude sur la rentabilité et l'autonomie productive, en dépit des économies de charges variables réalisées *via* la réduction des utilisations de produits phytosanitaires ou du nombre de passages de désherbage mécanique.
L'impact de la pratique élémentaire sur la structure du sol est également incertain : le compactage est réduit en situation normale, mais des semis trop tardifs à l'automne (blé tendre) peuvent à l'inverse l'accroître si ces derniers sont réalisés dans des conditions climatiques défavorables, en termes de pluviométrie en particulier.

L'impact sur le temps de travail est plutôt négatif (du fait d'une préparation du sol plus importante, notamment pour les semis précoces au printemps) ; de même, la sensibilité aux aléas serait également plus grande.

La question à laquelle il est difficile de répondre de façon générique est celle de la largeur des fenêtres de dates de semis pour les différentes cultures. Pour la plupart des espèces annuelles, la plage possible pour le semis du point de vue écophysiologique (possibilités d'initiation des organes de récolte) est (assez) large. La marge de manœuvre semble dont grande, ceci d'autant plus que la pratique élémentaire ne détériore aucune performance en matière d'utilisation des ressources naturelles fossiles et de protection de l'environnement, à l'exception possible du compactage ; quelques-unes de ces performances sont même améliorées. Mais c'est au prix d'une plus grande sensibilité aux aléas dans la mesure où les dates sont décalées vers des périodes où la probabilité de succès du semis est plus faible. L'année 2012 a illustré ce problème pour les implantations de colza d'hiver, retardées à cause de la sécheresse estivale forte, puis en raison des pluies ; les semis d'octobre se sont alors soldés par des retournements massifs au début de l'année 2013, jusqu'à 100% dans certaines zones du Centre.

Cette pratique élémentaire doit être réfléchie en combinaison avec le choix des variétés, pour retenir celles dont la phénologie (date de floraison notamment) sera compatible avec des variations de la date de semis.

B2.2 - Adapter les densités et/ou les écartements de semis

Cette pratique élémentaire consiste à adapter la densité et les écartements des semis de façon à limiter les risques de stress biotiques (attaques de bioagresseurs) et abiotiques (stress hydrique, carences en éléments minéraux, risques de verse, etc.). Elle est également présente au sein de la méta-pratique « Conduite des plantes et des peuplements végétaux ».

Dans le cas des espèces annuelles, le développement de semoirs pneumatiques de précision permet de moduler de façon très précise le semis (écartement entre rangs et sur le rang), y compris pour les espèces d'automne semées à forte densité alors que cet avantage a pendant longtemps été réservé aux cultures à grands écartements (maïs, tournesol) et/ou aux espèces sarclées (betterave). La technique permet également d'implanter les cultures avec des écartements plus grands, ce qui autorise des interventions mécaniques de contrôle de la flore adventice. Au-delà de l'adaptation de la densité et de la structure du peuplement, c'est, de façon plus générale, la qualité de l'implantation qui joue un rôle majeur en matière de limitation des stress biotiques et abiotiques, et de minimisation de leurs conséquences adverses.

Les impacts sur les performances productives (rendement et qualité de la production) sont variables et difficiles à qualifier de manière générale car très dépendants de la pertinence de l'introduction de cette pratique élémentaire en fonction des conditions pédoclimatiques et du type de culture.

La réduction de la densité de semis et l'accroissement des écartements inter-rangs peuvent se traduire par une diminution des apparitions de bioagresseurs fongiques, mais également par une augmentation de la présence d'adventices du fait de la moindre concurrence : l'effet sur les

utilisations de produits phytosanitaires est donc ambigu. Les autres performances environnementales sont impactées positivement, au pire laissées inchangées. La réduction du nombre de plantes au mètre carré permet de réduire les apports d'engrais azotés et ainsi de limiter les risques de lessivage de nitrate. Pour la même raison, la consommation directe et indirecte d'énergie et les émissions de GES sont réduites. Les besoins en irrigation peuvent également être moindres du fait d'une diminution de la concurrence sur la ressource eau.

Ces bénéfices environnementaux doivent être appréciés en regard des impacts de la pratique élémentaire sur les performances productives et économiques, impacts qui sont ambigus dès lors que la réduction du nombre de plants au mètre carré n'est pas bien adaptée aux conditions du milieu. A titre d'exemple, notons le cas du tournesol : la densité de semis qui est faible (en moyenne 60 000 plantes/ha) ne doit être ni inférieure à 45 000 plantes de façon à éviter une baisse trop élevée de la teneur en huile (Champolivier et Debaeke, 2010), ni supérieure à 65 000 pieds de façon à limiter les risques de verse.

Les économies potentielles en termes d'énergie, de produits phytosanitaires, de semences et d'engrais minéraux peuvent, en revanche, permettre de réduire les charges variables et ainsi d'améliorer l'autonomie productive de l'exploitation (Viaux, 1999 ; Butault *et al.,* 2010).
Les impacts de la pratique élémentaire sur le temps de travail de l'agriculteur et sa pénibilité sont plutôt positifs, la limitation des stress biotiques et abiotiques pouvant permettre de réduire le nombre d'interventions dans les parcelles. La sensibilité aux aléas climatiques, notamment hydriques, est réduite.

B2.3 - Réaliser des faux-semis

Le faux-semis correspond à une technique de type prophylactique vis-à-vis des adventices. Elle consiste à réaliser une série de passages d'outils de travail du sol en surface, favorisant la levée des adventices qui sont ensuite détruits par voie mécanique. Ces passages peuvent être renouvelés. Ils contribuent à appauvrir progressivement la banque de semences du sol, et diminuer les utilisations de produits phytosanitaires (Munier-Jolain & Dongmo, 2010) à plus ou moins long terme.

Cette pratique élémentaire correspond à des opérations supplémentaires, et a donc pour effet direct d'augmenter les charges variables, les consommations d'énergie directe, les émissions de GES et le temps de travail de l'agriculteur. Les opérations supplémentaires de travail du sol peuvent engendrer une plus grande compaction du sol dans les cas où les semis sont retardés et réalisés en conditions défavorables. Cela peut se traduire par un plus grand risque d'érosion, une diminution de la MO des sols et potentiellement des transferts plus élevés de phosphore vers les eaux.

On peut également pointer un accroissement des risques d'érosion lié à l'ameublissement superficiel, surtout dans les parcelles en pente.

La sensibilité aux aléas est supposée augmentée, sous hypothèse qu'on associe aux faux-semis une diminution des traitements herbicides : même s'il contribue à réduire le stock de semences d'adventices à moyen-long terme, le faux-semis ne garantit pas que l'infestation à venir sera réduite. Si la production quantitative et qualitative est peu impactée, l'augmentation des charges variables joue négativement (même si quantitativement cette dégradation reste limitée) sur les performances économiques (rentabilité, VA, EBE, RCAI, autonomie productive et dépendance aux aides).
Cette pratique élémentaire doit être raisonnée en lien étroit avec la MP Choix des successions de culture et des pratiques élémentaires correspondantes, notamment pour bénéficier d'une période d'interculture suffisamment longue pour réaliser les faux-semis (2 à 3 semaines environ entre deux façons superficielles successives).

B2.4 - Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce

Cette pratique élémentaire, relative au choix des successions culturales est aussi l'une des pratiques élémentaires constituant la méta-pratique « Diversification des successions de cultures et des assolements ». Du point de vue phytosanitaire, son but est d'éviter des pressions de sélection et conditions de milieu favorables à certains bioagresseurs qui sont à la fois (i) inféodés à la parcelle et plus particulièrement au sol (adventices, nématodes, parasites telluriques, certains insectes ou mollusques, etc.), et (ii) spécifiques d'une espèce ou d'un groupe d'espèces cultivées. *A contrario*, la diversification et l'alternance des cycles culturaux permettent de rompre l'enchaînement en spirale des cycles de développement d'un même bioagresseur. Ainsi les travaux de Munier-Jolain *et al.* (2006) ont démontré que l'allongement et la diversification des rotations en protection intégrée évitaient la spécialisation de la flore adventice. De plus, la gamme élargie de cultures permet d'élargir les gammes herbicides et fongicides disponibles.

Les impacts de cette pratique élémentaire sur les différentes performances de l'exploitation sont qualitativement identiques à celles de la pratique élémentaire précédente. Tout en invitant le lecteur à se référer à la pratique élémentaire « diversifier les périodes d'implantation des cultures » pour plus de détails et d'explications, on retiendra donc qu'augmenter le nombre d'espèces de la rotation permet d'accroître, au pire de laisser inchangées, les performances environnementales liées aux compartiments sol (à l'exception possible du compactage du sol) et eau, ainsi que celles liées à la préservation de la biodiversité. A l'exception de la consommation indirecte d'énergie fossile qui est réduite, les impacts de cette pratique élémentaire sur les autres performances (productivité, rentabilité, soldes de gestion, autonomie productive, consommation directe d'énergie, consommation d'eau d'irrigation, consommation de phosphore, temps de travail et sensibilité aux aléas) dépendent clairement du choix des espèces utilisées pour allonger la rotation.

Cette analyse débouche sur l'idée que les critères de choix des espèces entrant dans une succession (et pris en compte par l'agriculteur lors de la fixation des assolements) devraient dans l'idéal inclure les « services écosystémiques » que constituent potentiellement les effets-précédents et/ou effets-suivants propres à ces espèces, tout particulièrement ceux liés à la nature et au cycle de développement des bioagresseurs et auxiliaires. Cela suppose d'une part que les critères en question puissent être mieux identifiés et décrits que ce n'est le cas aujourd'hui, d'autre part que leur poids face à des critères d'attractivité économique susceptibles de favoriser les espèces principales au détriment des espèces « de diversification » puisse être éventuellement renforcé par des mesures appropriées.

B2.5 - Augmenter le nombre d'espèces et/ou variétés cultivées au sein d'un espace donné

La diversification des cultures (espèces et/ou variétés) à une échelle supérieure à celle de l'exploitation, i.e. donc à l'échelle du territoire dans lequel cette exploitation et ses voisines s'insèrent, est une pratique élémentaire favorable à la biodiversité (utile[35] et ordinaire[36]). Elle permet en outre de réduire la sensibilité des systèmes de culture aux bioagresseurs, excepté dans certains cas où la fragmentation favorise la propagation d'un bioagresseur sans qu'un auxiliaire ne le contrôle, comme c'est le cas pour le phoma du colza (Lô-Pelzer *et al.,* 2010).

[35] dont les fonctions remplies (par ces espèces) apportent des services « utiles aux besoins humains, mais aussi ceux utiles aux différents éléments de l'environnement et à la biodiversité (Le Roux *et al.,* 2008) ».

[36] « que l'on ne remarque pas, impactée négativement, mais aussi dans certains cas positivement, par l'activité agricole et dont il convient de prendre en compte la valeur des services écosystémiques rendus » (CGAER, 2011)

Outre les effets de cette sous pratique sur les autres aspects agronomiques et environnementaux, on en attend la possibilité de freiner la propagation des épidémies ou invasions des bioagresseurs à forte mobilité (maladies à propagation aérienne à longue distance, insectes volants, certaines adventices comme le chardon). D'où une réduction de pression de ces bioagresseurs et un moindre recours aux produits phytosanitaires visant à les contrôler. En corollaire un déploiement spatial raisonné des variétés résistantes (évitant l'application de pressions de sélection homogènes sur de vastes espaces) est censé permettre de ralentir le contournement de ces résistances par les populations de bioagresseurs, donc de prolonger leur durabilité, et là encore de réduire tendanciellement l'usage des produits phytosanitaires (Lannou et *al.,* 2013, pour le blé tendre ; Lô-Pelzer *et al.*, 2010, pour le colza). Ces présomptions d'effets favorables de la diversité spatiale des espèces et variétés sont suffisamment étayées pour que l'on en fasse état ici ; cependant les références nécessaires pour les mettre en œuvre de façon opérationnelle et pour évaluer les bénéfices à en attendre face aux coûts à en attendre, sont loin d'être acquises. Un effort particulier de recherche et R & D est donc requis sur ce sujet.

Cette pratique élémentaire peut néanmoins avoir un effet défavorable sur la production de l'ensemble des exploitations engagées dans une telle démarche. Introduire des cultures d'un moindre intérêt d'un point de vue productif peut avoir un impact négatif sur la rentabilité, la VA, l'EBE, le RCAI, l'autonomie productive et la dépendance aux aides en dépit des économies de charges variables dues en particulier à la moindre utilisation de produits phytosanitaires.

En outre, la diversification des cultures à l'échelle du territoire peut, selon les espèces choisies, entraîner des interventions culturales plus nombreuses, consommatrices de ressources (énergie directe et indirecte, eau et phosphore), et des émissions plus élevées de nitrate, de GES et d'ammoniac.

Les périodes d'installation de ces cultures diversifiées à l'échelle territoriale peuvent nécessiter des semis ou récoltes en conditions défavorables, ce qui peut entraîner un plus grand compactage du sol. De nouveaux matériels peuvent être requis, source potentielle d'un endettement à la hausse. Le temps de travail peut être augmenté même si les pointes d'activité peuvent être étalées.

Enfin, dans la mesure où la diversité des cultures est augmentée, la sensibilité aux aléas est réduite.

Cette pratique élémentaire possède des similitudes avec la pratique élémentaire B1-4 « Augmenter le nombre d'espèces dans la rotation » de la MP « Diversification des successions de cultures et des assolements », bien que dans le cas présent les bénéfices tirés d'un raisonnement territorialisé de l'assolement collectif soient partagé par le groupe et non l'exploitation agricole seule, bénéfices pouvant alors être considérés comme un bien commun.

B3 - Lutte chimique

B3.1 - Utiliser des outils de raisonnement du déclenchement d'un traitement phytosanitaire

Les cycles des ravageurs sont de mieux en mieux connus. Il est donc désormais possible d'une part de mieux détecter leur présence et, d'autre part, de modéliser leur développement. Ces outils[37] apportent des éléments supplémentaires pour éclairer les choix stratégiques et tactiques de gestion

37 Mildium (Delière et *al.,* 2008) pour l'élaboration des stratégies de protection des vignes (dont la logique et le déroulement temporel tout au long de la saison sont explicites), R-Sim d'Arvalis-Institut du Végétal et du Cetiom pour simuler le risque d'apparition de populations résistantes, Phytnès d'InVivo outil de préconisation et de traçabilité du conseil en protection des plantes (grandes cultures et vigne)

de la protection des cultures et, en particulier, du recours aux traitements phytosanitaires. Ces éléments peuvent être des niveaux de présence, des évaluations des dégâts potentiels, etc.

L'amélioration de la gestion de la protection des cultures, permettant d'optimiser (souvent de réduire) le recours aux produits phytosanitaires, a un impact immédiatement favorable pour les rendements et la qualité des produits. La performance économique, malgré le coût d'équipement ou d'achat des données nécessaires, est elle aussi améliorée. En outre, l'économie de produits phytosanitaires réduit potentiellement la quantité de polluants organiques sources de perturbation de l'écosystème (Gil et Sinfort, 2005) et de risques pour les opérateurs.

Les éléments de connaissances supplémentaires apportés par ces outils entraînent *de facto* une réduction de la sensibilité aux aléas (ici, une attaque de bioagresseurs).
En revanche, le temps de travail peut être augmenté par la nécessité de réaliser des observations plus nombreuses ou plus précises.

B3.2 - Réduire les quantités totales de substances actives par unité de surface en réduisant le nombre de traitements

Cette pratique élémentaire est inscrite dans l'objectif même d'Ecophyto, à savoir la réduction des quantités totales de matières actives appliquées par unité de surface.

La conséquence d'une telle pratique élémentaire serait en premier lieu une diminution de la production dès que l'on serait en deçà du niveau minimum permettant de contrôler les bioagresseurs. La qualité des produits serait affectée de la même façon.

Les indicateurs économiques sont également affectés négativement, mais selon l'étude Ecophyto R&D, ils se dégradent moins rapidement que la production en raison de la réduction des charges réalisée.

La consommation d'énergie directe et indirecte est améliorée ainsi que les émissions de GES et le compactage des sols par suite de la réduction du nombre d'application, mais ceci reste très limité.

Le principal impact environnemental est la réduction des utilisations des produits phytosanitaires et de la perturbation de l'écosystème avec un effet bénéfique également sur la biodiversité.

De même le temps de travail s'en trouve réduit avec une amélioration de l'acceptabilité sociale par une moindre exposition au risque phytosanitaire.

Cette réduction est sans conséquence sur la diversification des cultures, l'endettement et la transmissibilité. Par contre, il y a une augmentation forte de l'aléa.

Cette pratique élémentaire n'a pas beaucoup de sens isolément en tant que telle, car elle est normalement mise en œuvre en combinaison avec un grand nombre d'autres pratiques destinées soit à réduire la pression de bioagresseurs sur la ou les cultures, soit à renforcer le niveau de résistance de la culture, par exemple *via* l'amélioration génétique.

Toutefois, on pourra aussi arguer que la protection phytosanitaire préventive dite « d'assurance », qui conduit à une augmentation des quantités apportées, est une pratique répandue et qu'une réduction de la fréquence de recours à cette conduite « d'assurance » est à rechercher (*cf.* étude Ecophyto R&D).

B3.3 - Réduire les doses de substances actives par traitement

Dans cette pratique élémentaire, il s'agit d'appliquer des produits phytosanitaires à doses réduites sans pour autant réduire la surface à traiter.

En effet, une application est souvent réalisée à la dose autorisée (dose d'homologation figurant dans l'AMM (Autorisation de Mise en Marché). Quand certaines conditions favorables à l'efficacité du traitement (vitesse du vent, hygrométrie, température douces) sont présentes simultanément, il est possible de revoir à la baisse la dose de produit (et donc la quantité de matière active) épandue.

L'économie de produit réalisée permet (i) une réduction immédiate des charges variables et une amélioration de l'autonomie productive, (ii) une réduction de la perturbation de l'écosystème et, dans une moindre mesure, (iii) une réduction de l'émission de polluants organiques. Cette pratique élémentaire contribue aussi à réduire l'apport d'ETM au sol (cas notamment du cuivre en viticulture et arboriculture).

Les opérateurs étant amenés à manipuler moins de produits et/ou à des concentrations inférieures, le risque auquel ils sont exposés est réduit, sans toutefois être complètement absent.

En revanche, cette pratique élémentaire peut présenter des risques de réduire le rendement ou de dégradation de la qualité des produits si l'efficacité attendue du traitement n'est pas obtenue. La rentabilité et la valeur ajoutée seraient alors réduites. La sensibilité à l'aléa est plus importante lorsque cette pratique élémentaire est mise en œuvre.

Au-delà du risque éventuel d'une maîtrise imparfaite de la population de bioagresseurs (sans pour autant que les dommages ne soient augmentés), cette pratique élémentaire est susceptible de conduire à des phénomènes de sélection de bioagresseurs présentant une résistance vis-à-vis des molécules utilisées[38]. Ceci pouvant alors conduire à des impasses pour les cycles de production suivants.

Cette pratique élémentaire ne prend pas en compte l'exception des herbicides qui sont appliqués sur le rang, l'inter-rang étant désherbé mécaniquement (désherbinage), et du traitement en végétation des vignes où l'application ne porte que sur la surface foliaire présente (MP Agro-équipements), ni *a fortiori* les techniques d'application localisée (« agriculture de précision », qui reposent sur une meilleure délimitation des cibles mais non sur une réduction des doses qui leur sont appliquées.

B3.4 - Ne pas utiliser des substances actives de synthèse

Dans certains cas, notamment en agriculture biologique dont c'est l'un des éléments clés du cahier des charges (même si des dérogations ponctuelles sont possibles), la gestion de la protection des cultures est réalisée en l'absence totale de recours aux produits phytosanitaires. Les substances de synthèse peuvent alors être remplacées par d'autres substances naturelles ou d'origine minérale, qui ne sont pas nécessairement sans risques pour l'environnement ou pour la santé des applicateurs.

L'absence de recours aux produits phytosanitaires permet l'économie de l'achat de ces produits (réduction des charges variables) et l'amélioration de l'autonomie productive à revenu constant ainsi que la réduction du rejet des polluants organiques et de l'exposition aux risques des opérateurs.

Cette pratique élémentaire présente deux inconvénients majeurs que sont (i) la réduction potentielle de rendement et (ii) l'exposition plus importante aux aléas des bioagresseurs. En effet, si la réduction des rendements n'est pas compensée par une hausse du prix payé, la valeur ajoutée et la rentabilité peuvent être altérées. Par ailleurs, bien que le risque de présence de résidus phytosanitaires dans les produits de récolte puisse être écarté (ce qui est un élément positif de la performance « qualité des

[38] Des variétés de colza dotées du gène Rlm1 conférant une résistance au phoma (*Leptosphaeria maculans*) ont été mises sur le marché dans les années 1990. En 1999, 44 % des surfaces de colza étaient implantées avec des variétés possédant ce gène. En quelques années, la pression de sélection sur les populations du pathogène a conduit à un accroissement de souches de phoma résistantes, contournant en quelques années l'avantage dont le colza alors résistant était jusque-là doté (ESCo Pesticides, 2005).

produits »), la qualité des produits peut être altérée si les dégâts des bioagresseurs évoluent en dommages, ou s'il y a développement de composés toxiques (cas des mycotoxines).

Dans le cas où la substitution conduit à recourir au cuivre (Cu), parfois massivement, pour la protection des maladies fongiques foliaires, l'impact sur le milieu de l'accumulation de Cu dans le sol (jusqu'à plusieurs mg/Kg de sol, Gis Sol, 2011) peut être très négatif.

Enfin, si la non-utilisation de produits phytosanitaires s'accompagne généralement d'une réduction du nombre d'applications et donc de la charge directe de travail, les conditions de travail réelles à l'échelle du système de production peuvent être dégradées, à la fois en temps et en pénibilité. En effet, la mise en œuvre de cette pratique élémentaire peut entraîner la mise en œuvre de pratiques élémentaires de désherbage mécanique.

B3.5 - Mieux régler le matériel de traitement existant

Le matériel de traitement doit permettre de mieux concentrer l'application du produit sur la zone souhaitée. Les éléments de pulvérisation que sont les buses (largeur et forme du jet, taille des gouttes) ou les éléments de propulsion (pompe) doivent donc être choisis avec précaution lors de l'achat et ensuite être régulièrement vérifiés et leurs réglage ajustés. Cette pratique élémentaire est mise en œuvre sans renouvellement des outils de traitement déjà existants.

Cette pratique élémentaire est caractérisée par l'amélioration uniforme des performances et est donc à préconiser sans nuance. Elle est distincte et complémentaire du contrôle des pulvérisateurs devenu obligatoire depuis le 1er janvier 2009 (Décrets n° 2008-1254 et n° 2008-1255 du 1er décembre 2008).

B3.6 - Réaliser les traitements en conditions climatiques optimales

Les conditions climatiques sont déterminantes de l'efficacité d'action du produit, en particulier sur les ravageurs. Dans le cas où l'on a recourt à des produits dits « de contact », il est prépondérant que les ravageurs soient actifs pour entrer en contact avec le produit. Dans le cas où il s'agit de produits dits « systémiques », il est nécessaire que la plante ait une croissance active qui permette la pénétration et la circulation du produit.

Ces conditions sont :

- L'hygrométrie (saturation de l'air en eau), qui doit être la plus élevée possible : au minimum de 50%, idéalement supérieure à 90%. Dans le cas contraire, la plante ferme ses stomates pour économiser l'eau dont elle dispose, fermant ainsi l'une des voies d'entrée des produits phytosanitaires.
- Le vent, responsable de la dérive des gouttelettes (même de grosse taille), qui ne doit pas dépasser 5m/s
- La température, qui doit être à la fois (i) favorable au bon fonctionnement de la plante (éviter ainsi les trop fortes températures), permettant alors la pénétration et la circulation du produit en son sein, mais aussi (ii) correspondre aux températures d'activité des ravageurs (notamment les insectes).

En outre, il est recommandé de s'assurer que le traitement ne sera pas suivi de d'épisodes pluvieux dans les quatre heures suivantes (pour éviter un lessivage du produit).

Très fréquemment, les conditions optimales sont rencontrées au petit matin ou à la tombée de la nuit, conduisant un nombre croissant d'agriculteurs à pulvériser de nuit. Ceci peut causer des difficultés avec les personnes résidant à proximité des parcelles traitées, mais aussi accroître les risques de zones de recouvrement par manque de visibilité. L'utilisation combinée avec des outils de guidage devient alors un réel avantage.

Au-delà de ces conditions météorologiques à privilégier, il est capital de disposer d'un matériel entretenu, équipé de buses appropriées au produit épandu (taille des gouttes) et de réaliser une application dont le volume permet une vitesse des gouttes (lié au débit de pulvérisation, notamment) optimale.

Sous réserve de la réunion de l'ensemble de ces bonnes conditions climatiques, cette pratique élémentaire est directement favorable à l'efficacité des traitements. Aussi, les rendements et la qualité peuvent être améliorés, et donc les différentes performances économiques. Par ailleurs, d'un point de vue agronomique, il est recommandé d'éviter tout passage d'outil qui puisse compacter le sol, cette pratique élémentaire y est favorable. Enfin, dans le cas de produits cuivrés et soufrés de contact, l'absence de pluies postérieures au traitement contribue à éviter les phénomènes de lessivage et donc l'augmentation de la teneur du sol en ETM.
Cette pratique élémentaire est particulièrement sensible à l'aléa climatique. Enfin, et ce n'est pas le moindre désagrément, comme les conditions détaillées plus haut ne sont souvent rencontrées que très tôt le matin, ou à la tombée de la nuit, ceci a un impact négatif sur la pénibilité du travail.

B3.7 - Améliorer la répartition des produits dans la végétation

Dans le cas où la protection des cultures est réalisée *via* le recours à des produits phytosanitaires, il est essentiel que le produit appliqué atteigne sa cible. Il est donc nécessaire de réaliser une répartition du produit optimale dans la végétation. Ceci est obtenu par une adaptation du matériel de pulvérisation, et en particulier les buses retenues. Ce point est particulièrement important en arboriculture et plus encore en viticulture. Les travaux conduits par Irstea et l'IFV, en préparation de l'UMT EcoTechViti, ont montré qu'en début de végétation plus de 70 % du produit phytosanitaire appliqué n'atteignait pas sa cible. Il est donc essentiel de développer les outils et équipements pour obtenir cette amélioration. On ne vise pas ici l'agriculture de précision au sens strict, c'est-à-dire la modulation de l'application du produit en fonction de données spatialisées recueillies soit avant l'intervention, soit en temps réel sur la végétation (cultivée ou adventice) et les symptômes d'attaque par les bioagresseurs. Cet ensemble de techniques fait l'objet d'une analyse au sein de la MP dédiée aux agro-équipements.

Les améliorations techniques de répartition des produits dans la végétation sont ici supposées conçues sur la base d'un maintien à l'identique de la protection phytosanitaire et seront donc considérées comme sans conséquence sur la production et la qualité des produits récoltés.

Cette pratique élémentaire peut nécessiter l'achat de matériels et générer de l'endettement. En outre, le temps de travail peut être augmenté si les débits de chantier sont diminués.

En raison de l'amélioration de la répartition des produits, les projections hors du couvert sont réduites, ce qui peut être favorable à l'exposition aux risques. La dispersion d'ETM et de polluants organiques est en outre mieux maîtrisée. Enfin, la protection des cultures étant améliorée, la sensibilité aux aléas est moindre.

B3.8 - Utiliser des adjuvants[39] ou des produits alternatifs à moindre risque écotoxicologique

Cette pratique élémentaire se retrouve aussi au sein de la méta-pratique « Gestion de l'eau et de sa qualité ».
Il s'agit ici de choisir, préférentiellement à d'autres, des substances actives phytopharmaceutiques dont les caractéristiques physico-chimiques limitent leur présence dans la solution du sol et les risques de

[39] Les adjuvants sont des produits dépourvus d'action phytosanitaire intrinsèque, mais qui permettent d'améliorer l'efficacité des substances actives : soit en améliorant l'homogénéisation de la bouillie à épandre (voire en permettant le mélange de deux produits *a priori* incompatibles), soit en améliorant la répartition du produit sur la surface cible. Les adjuvants peuvent aussi apporter une coloration ou une odeur à la bouillie pour faciliter son identification.

transfert vers les cours d'eau. Un tel choix est principalement basé sur deux indicateurs : (i) la persistance du produit dans le sol ou DT50[40] qui doit être la plus faible possible et (ii) le Koc (coefficient de partage carbone organique - eau) qui représente la capacité du produit à se fixer sur le complexe argilo-humique et donc à ne pas passer dans la solution du sol (Koc > 1000 cm3/g).

Ces données sont disponibles dans la base de données Agritox, fournies pour chaque substance active. Pourtant, choisir les produits selon cette procédure est une opération complexe et fastidieuse avec les outils actuellement disponibles : la comparaison des profils écotoxicologiques des substances actives selon les objectifs techniques de l'agriculteur n'est aujourd'hui ni automatisée, ni intuitive. Il y a donc une détérioration de la performance relative au temps et à la pénibilité du travail.

Par ailleurs, utiliser des matières actives à faible risque écotoxicologique ne signifie pas nécessairement réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires, et donc de l'IFT (Indice de Fréquence de Traitement). Certaines substances moins dangereuses pour l'environnement peuvent également se révéler moins efficaces pour lutter contre les bioagresseurs (Agropeps). Enfin, les interactions entre différentes molécules (« effets cocktail ») ne sont que peu prises en compte dans l'analyse des impacts écotoxicologiques. Des efforts de recherche sont nécessaires pour mieux évaluer ces risques.

Selon les cultures et le mode d'action recherché, un large éventail de substances actives n'est pas toujours disponible pour l'agriculteur. L'emploi répété des mêmes substances actives, à faible risque écotoxicologique ou non, augmente les risques d'apparition de résistances au sein des populations de bioagresseurs. Il est donc important de veiller à conserver une diversité de substances actives disponibles pour l'agriculteur.

B4 - Lutte physique

B4.1 - Pratiquer la solarisation

La solarisation est la couverture du sol par une bâche transparente afin d'augmenter pendant plusieurs semaines la température (au moins 40°C) des premiers centimètres du sol –l'eau agissant comme un fluide caloporteur– et contribuer ainsi à la réduction du stock semencier d'adventices et la maîtrise des champignons telluriques ou foliaires par réduction de la quantité de spores (Lizot & Mazollier, 2000). Cette pratique élémentaire est plus particulièrement mise en œuvre en production maraîchère.

Cette technique apporte une amélioration en termes de qualité des produits de récolte et la possibilité de réduire le recours aux produits phytosanitaires (Bressoud, 2011). Elle nécessite un investissement en main d'œuvre pour la préparation du sol et l'installation de la bâche (qui génère également un coût supplémentaire). Il est nécessaire de s'assurer que la période pendant la pose de la bâche sera réellement ensoleillée faute de quoi l'investissement sera de moindre intérêt.

S'il y a certes une amélioration du rendement par rapport à une surface non solarisée et pour la culture concernée, il n'y a pas d'amélioration par rapport à une culture non solarisée mais bénéficiant d'une protection phytosanitaire complète. De plus le temps d'immobilisation de la parcelle peut compromettre la préparation du sol pour la suivante. Cette incertitude sur les quantités produites peut impacter la valeur ajoutée produite et donc l'autonomie productive et la dépendance aux aides.

[40] DT50 ou durée de dégradation de 50 % de la substance active dans l'eau sous l'influence de la lumière, exprimée en jours ou en heures à un pH donné et déterminée par un test de laboratoire.

En outre, les conditions d'humidité et de température étant plus favorables à la minéralisation, des fuites de nitrates ne sont pas à exclure en cas d'épisodes pluvieux à suivre avant une nouvelle implantation.

Le bénéfice réel est une réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires. Ceci est important en production légumière où les leviers disponibles vis-à-vis de certains bioagresseurs telluriques particulièrement nuisibles, sont désormais peu nombreux.

B4.2 - Utiliser le désherbage mécanique

Le désherbage mécanique est le recours à des outils de travail du sol (herse étrille, houe rotative, bineuse) qui vont fragmenter les premiers centimètres du sol et détruire les adventices installées ou compromettre leur bon développement. Cette opération peut combiner plusieurs outils (par exemple butteuse et bineuse pour traiter de façon différenciée rang et inter-rang), ou encore être associée à du désherbage chimique sur le rang, tandis que l'inter-rang fait l'objet d'un binage (désherbinage). Elle doit généralement être renouvelée à plusieurs reprises au cours d'une culture.

Pour être efficaces, ces opérations culturales doivent être réalisées en conditions climatiques favorables et donc sur des plages de temps contraintes (d'où une sensibilité aux aléas) dont une pluviométrie limitée pour réduire le compactage et ne pas favoriser la reprise des adventices, et des conditions favorisant le desséchement rapide des adventices.

Cette pratique élémentaire permet une forte (voire totale) réduction du recours aux produits herbicides et évite la sélection de flore résistante aux principaux herbicides[41]. Dans la mesure où le désherbage mécanique seul est souvent moins efficace qu'un désherbage chimique en plein, la quantité et la qualité des produits peuvent être dégradées, ainsi que la rentabilité et la valeur ajoutée, de même que la dépendance aux aides altérée et l'autonomie productive réduite. On notera aussi que la pratique d'un désherbage mécanique permet une amélioration de la structure du sol, notamment dans le cas de sols limoneux à tendance battante. Toutefois, cette pratique élémentaire génère une consommation accrue d'énergie directe, émettrice de GES et source d'une augmentation des charges variables. En outre, l'exploitation doit s'équiper avec ce nouveau matériel ou recourir à un tiers disposant du matériel (entreprise de travaux agricole, CUMA, voisin), ce qui peut poser des difficultés organisationnelles si les périodes climatiques favorables sont étroites.

Cette pratique élémentaire génère une augmentation du temps de travail par les passages supplémentaires. Le travail du sol peut accroître les risques d'érosion, voire de pertes de MO et de phosphore vers les eaux.

Au final, l'optimisation du désherbage mécanique n'est pas triviale car son efficacité dépend beaucoup des aléas pluviométriques, favorisant ou non les nouvelles levées d'adventices. Bien souvent, ce n'est qu'au prix d'un assez grand nombre de passages qu'on obtient une maîtrise de la flore qui soit aussi satisfaisante qu'en désherbage chimique.

B4.3 - Utiliser le désherbage thermique

Le désherbage thermique est l'utilisation de matériels générant une source de chaleur (flamme, vapeur, eau bouillante, infra-rouge) qui détruit les parties aériennes des plantes ou les semences et micro-organismes du sol.

Dans le cas du désherbage thermique à la vapeur, la température est suffisamment élevée pour que les organismes vivants des premiers centimètres du sol soient pratiquement totalement éradiqués. Dans la réalité, cette pratique élémentaire est d'un usage très limité, car difficile à mettre en œuvre. Elle pourra être déployée

[41] Ceci a notamment été mis en œuvre sur le tournesol dans le Sud-Ouest où l'utilisation d'une gamme restreinte de produits herbicides favorisait une telle sélection.

sur des surfaces restreintes. Dans tous les cas, il est indispensable de la mettre en œuvre sur des adventices jeunes, le stade juvénile étant le seul où la chaleur va détruire totalement la plante sans risque de redémarrage. Enfin, cette technique nécessite des conditions météorologiques adaptées (absence de pluie notamment)

Si le désherbage a été réalisé avec efficacité, le rendement et la qualité seront maintenus. Sinon, ils seront altérés négativement.

Cette pratique élémentaire nécessite l'investissement (parfois important) dans des équipements spécifiques et est fortement consommatrice d'énergie directe et indirecte (émettrice de GES), ainsi que de temps de travail. Les charges variables générées augmentent et peuvent altérer la rentabilité et la valeur ajoutée, ainsi que l'autonomie et augmenter la dépendance aux aides.

B4.4 - Utiliser des barrières physiques : filets, bâches, etc.

Le maraîchage et l'arboriculture ont parfois recours à des filets et bâches qui constituent des barrières physiques au déplacement des insectes et des oiseaux et qui permettent également de protéger les cultures vis-à-vis de la grêle.

La pose de filets est une pratique courante aujourd'hui en arboriculture pour limiter la pression des carpocapses. Le système Alt'Carpo, a été imaginé en 2005 par un ingénieur de la chambre d'agriculture du Vaucluse et est utilisé avec succès contre le carpocapse dans les cultures de pommiers, est décliné dans d'autres types de vergers et testé sur d'autres ravageurs. Le principe d'un filet protégeant les arbres a ainsi été expérimenté sur la mouche du cerisier. Baptisé Alt'Mouche, ce système donne les meilleurs résultats, dans la lutte contre ce ravageur, avec l'utilisation de la maille la plus fine de filets (1,4mm x 1,4mm). Entre 0 et 2,5% des fruits présentent alors des dégâts. Quant à l'augmentation de l'hygrométrie induite par l'utilisation des filets, elle ne semble pas accroître les dégâts. Les filets ont également été testés afin d'étudier leur rôle dans la limitation de la nouaison du cerisier. Ce test, nommé Alt'Abeille, s'est révélé convaincant dans le cas d'une variété non auto-fertile : Belge, mais sans effet sur la variété auto-fertile Skeena (Severac *et al.,* 2010).

L'obturation des ouvertures des serres par des filets à maille fine empêchant la pénétration des insectes est désormais une pratique courante en horticulture sous serre.

Les bâches limitent l'évaporation de l'eau. En revanche, les filets installés peuvent réduire l'aération dans le cas où ils sont utilisés sous tunnel et peuvent contribuer à l'augmentation de l'hygrométrie, favorable à certaines maladies (*Botrytis cinerea*, Jannequin, 2011).

Les coûts engendrés par l'achat de ces équipements est relativement modéré ce qui permet de maîtriser les charges variables et est favorable à l'autonomie productive de l'exploitation. La qualité des produits (notamment visuelle) peut être améliorée par ces techniques. L'installation de ces équipements génère une augmentation importante du temps de travail, tant pour leur pose que pour les pratiques culturales suivantes et la récolte.

Cette pratique élémentaire répond à son objectif initial qui est la limitation de l'utilisation des phytosanitaires et réduit donc la perturbation de l'écosystème.

B5 - Lutte biologique et mesures de bio-contrôle

B5.1 - Utiliser des Préparations Naturelles Peu Préoccupantes (PNPP)

Les préparations naturelles peu préoccupantes sont des produits de protection des plantes élaborés à partir d'éléments naturels (donc non issus de la chimie de synthèse) non génétiquement modifiés

et dont le procédé d'élaboration est accessible à tout utilisateur final (Décret n° 2009-792 du 23 juin 2009, arrêté d'application du 8 décembre 2009).

La note de service DGAL/SDQPV/N2011-8095 du 18 avril 2011 précise la liste de référence des éléments naturels à partir desquelles peuvent être préparées les PNPP : soit (i) des parties de plantes comestibles utilisées en alimentation humaine pouvant être assimilées à des substances de base (ail, ortie, sauge, etc.), soit (ii) des parties de plantes non utilisées en alimentation humaine (bouleau, prêle, etc.). Le purin d'ortie a été la première PNPP reconnue, par arrêté du 18 avril 2011.

Une association, l'Aspro Pnpp, a été constituée pour promouvoir les effets de ces préparations.

Si on ne peut écarter *a priori* les possibilités offertes par certaines préparations, les études de cas disponibles restent limitées pour documenter leurs impacts sur les différentes performances.

Par rapport à une protection par lutte chimique, qu'ils s'agissent de pesticides de synthèse ou non, les PNPP montrent une efficacité limitée. En conséquence, les impacts sur la production et la qualité des produits sont négatifs, et il y a une dégradation de l'ensemble des performances économiques et tout particulièrement une augmentation de la sensibilité à l'aléa.

Toutefois, ceci ne doit pas conduire à écarter *a priori* la nécessité de poursuivre la recherche de PNPP à performance améliorée, par exemple par criblage systématique de molécules.

B5.2 - Utiliser des Stimulateurs de Défense Naturelle (SDN)

La stimulation des défenses naturelles est le traitement préventif de la plante pour la mettre en état de vigilance (limité dans le temps) et de résistance vis-à-vis d'un bioagresseur. Deux voies d'activation peuvent être utilisées : l'élicitation (agissant comme un marqueur d'un bioagresseur) et la potentialisation (accélération des premières phases de défense au sein de l'organisme) (Pugin & Gianinazzi-Pearson). Il existe une littérature abondante sur les stimulateurs de défense naturelle et en particulier les éliciteurs. La figure 5.1 montre que cette production atteint un plateau à partir du début des années 1990. Le RMT Elicitra a été établi en 2011 afin de renforcer les interactions entre toutes les structures testant les effets des stimulateurs de défense naturelle dans différentes productions.

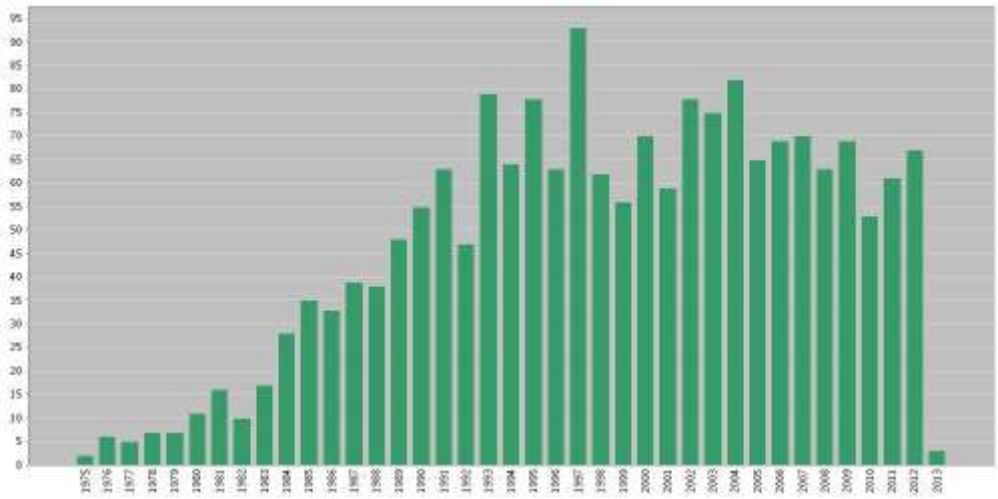

Figure 5.1 *: Evolution du nombre de publications sur les éliciteurs entre 1975 et 2013.*
Source : Web of Science

L'efficacité des SDN est plus faible que celle des produits phytosanitaires et leur utilisation seule conduit à une moins bonne protection des cultures, mais le RMT susmentionné a qualifié l'intérêt que pourraient avoir les SDN sur un grand nombre de couples plantes – pathogènes et a compilé les résultats issus de

plus de 430 essais. Les résultats sont très variables, allant d'effets nuls à des effets significatifs, où la qualité de la maîtrise du bioagresseurs va dépendre de la pression, les SDN montrant une meilleure capacité à maîtriser la pression lors de pressions moyennes. Il convient alors de les déployer en combinaison avec d'autres pratiques élémentaires qui vont permettre de maîtriser la pression parasitaire de façon complète.

Dans la mesure où la plante secrète elle-même certaines substances lui permettant de se protéger des bioagresseurs, le recours aux produits phytosanitaires est réduit. Malgré leur impact limité sur l'environnement naturel, les SDN ont le même parcours d'homologation que les produits phytosanitaires en vue d'obtenir des AMM (Agropeps).
L'efficacité de ces produits étant variable, les rendements et la qualité des produits vont rester équivalents ou vont être affectés négativement.
Le coût de ces produits étant du même ordre que les produits phytosanitaires utilisés ici comme témoin, ceci ne dégrade pas le poste des charges variables, mais en raison de l'impact nul ou négatif sur la production, la valeur ajoutée, la rentabilité et l'autonomie sont soit préservées, soit affectées négativement. L'élaboration de ces produits ne génère pas plus de consommation d'énergie indirecte que les produits phytosanitaires.

En l'état actuel des connaissances, l'impact sur la sensibilité aux aléas est plutôt défavorable, car le contrôle des bioagresseurs va dépendre du niveau de pression.

Toutefois, il faut noter que ce type de substances fait aujourd'hui l'objet d'investissements significatifs de la part des grandes entreprises du secteur de la phytopharmacie, en vue de comprendre l'ensemble des processus de défense naturelle et d'élicitation, ceci permettant de proposer des molécules issues de synthèse chimique dont les caractéristiques conduiraient à des processus d'élicitation beaucoup plus efficaces.

B5.3 - Mettre en place des méthodes de confusion sexuelle

La confusion sexuelle vise à perturber le comportement des ravageurs (et notamment les insectes) en dispersant dans l'environnement des phéromones qui vont saturer les récepteurs des mâles ou des femelles, ceci conduisant soit à les désorienter, soit à les piéger. Les productions qui y ont recours sont principalement l'arboriculture, la viticulture et le maraîchage. Les molécules utilisées sont spécifiques de l'insecte cible et il y a donc une protection efficace de l'ensemble de la biodiversité des zones cultivées. La réussite de cette pratique demande une certaine technicité des agriculteurs, afin de positionner les pièges aux bons endroits et à la bonne date.

Par comparaison à une protection chimique, l'utilisation de méthodes de confusion sexuelle n'est pas utilisable sur l'ensemble des insectes mais montre une réelle efficacité quand elle est parfaitement maîtrisée.

En conséquence, la production et la qualité des produits de récolte sont préservées, mais restent tributaires de la bonne réalisation de l'ensemble des opérations.

Cette pratique élémentaire permet une réduction du recours aux produits phytosanitaires et une moindre sensibilité aux aléas par la modération de l'impact du bioagresseur, malgré sa présence.

Malgré la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires, cette pratique élémentaire génère une augmentation des charges variables à chaque fois que les dispositifs de libération de phéromones doivent être renouvelés, ce qui impacte la valeur ajoutée et la rentabilité, et l'ensemble des performances économiques par voie de conséquence. Il existe donc un enjeu de recherche pour améliorer la persistance dans le temps des dispositifs et de leur efficacité. En outre, le temps de travail nécessaire à l'installation de ces dispositifs génère une augmentation du temps de travail.

Le coût en énergie, notamment directe, est peu affecté, malgré la réduction du nombre d'applications de produits phytosanitaires.

B5.4 - Utiliser les lâchers d'auxiliaires

Les auxiliaires sont des organismes favorables aux cultures, qui vont permettre de contrôler les populations de ravageurs, soit en les consommant, soit en les parasitant par exemple *via* la ponte des œufs dans les ravageurs. Il peut s'agir d'insectes, fréquemment des hyménoptères parasitoïdes, de champignons, de bactéries, etc. Dans le cas où leur présence dans le milieu est insuffisante pour contrôler un bioagresseur, ce qui est un point particulièrement difficile à quantifier, l'agriculteur peut avoir recours à des lâchers au sein ou à proximité de ces parcelles afin de donner un avantage concurrentiel à ces auxiliaires, réduisant ainsi sa sensibilité à l'aléa. Dans la mesure où le paysage serait peu adapté à la persistance de la présence de cet auxiliaire, il peut être nécessaire de renouveler régulièrement ces lâchers.

La gestion des auxiliaires et les lâchers réguliers vont générer une augmentation du temps de travail nécessaire à ces opérations et potentiellement des charges variables si le coût d'achats des auxiliaires ou du matériel dépasse celui des produits phytosanitaires. La rentabilité et l'autonomie seront soit maintenues soit légèrement dégradées. Cette pratique élémentaire est généralement peu coûteuse en énergie directe et indirecte. La sensibilité à l'aléa tend à augmenter, en raison du risque de ne pas intervenir au bon moment, à l'influence des conditions climatiques sur la biologie des auxiliaires et sur le besoin de technicité.

Dans le cas où le paysage est favorable à l'installation des auxiliaires et ne demande pas d'aménagement coûteux, la transmissibilité peut être améliorée.

Une plus grande utilisation de cette pratique élémentaire nécessite une meilleure connaissance des processus biologiques et écologiques au sein des écosystèmes cultivés, en vue de comprendre l'ensemble des régulations biologiques et pour identifier les auxiliaires de cultures les plus efficaces (cf. Encadré 5.1 présentant l'exemple de l'augmentorium à la Réunion). Ceux qui auront un spectre large d'hôtes seront vraisemblablement les plus intéressants, car capables de s'installer plus facilement dans un milieu, au risque toutefois de parasiter des insectes ne générant aucun dommage aux cultures.

Encadré 5.1

Illustration d'une démarche de protection intégrée au travers d'une expérience menée par l'unité GAMOUR (Cirad, Réunion)

Dans ces conditions tropicales, les fruits et légumes piqués par les mouches deviennent des foyers de multiplications d'où sortiront les générations suivantes. Une mouche femelle peut pondre jusqu'à 400-500 œufs qui feront autant de descendants deux semaines après si le cycle biologique n'est pas interrompu. Par conséquent, interrompre ce cycle en détruisant les foyers de multiplication est la mesure essentielle sans laquelle les autres méthodes de protection n'ont pas de sens. La destruction se fait donc par le ramassage hebdomadaire des fruits piqués et leur élimination (lien avec la pratique élémentaire B1-2). Plusieurs méthodes peuvent être utilisées (nourriture pour bétail, ensachage, enfouissement) mais la plus efficace est la méthode de l'augmentorium, récemment introduite à La Réunion.

L'augmentorium (cf. Figure 5.2) est une structure similaire à une tente sans fond dans laquelle on jette les fruits piqués. Le toit comporte un grillage fin. Les mouches qui émergent ensuite de ces fruits sont piégées à l'intérieur et meurent rapidement. Par contre, les parasitoïdes de ces mouches, plus petits, peuvent passer au travers du grillage et s'échappent donc à l'extérieur. En résumé, un augmentorium est un moyen simple et pratique de destruction des fruits piqués qui agit comme un filtre retenant les mouches et multipliant leurs ennemis naturels. Il peut également être utilisé pour transformer ces fruits détruits en compost.

Figure 5.2 : *Augmentorium ; Source : Atiama et al. (2011)*

B5.5 - Implanter des infrastructures agroécologiques pour favoriser la lutte biologique

Les infrastructures agro-écologiques sont ainsi définies car elles apportent aux auxiliaires de la lutte biologique un habitat permettant d'en assurer la présence pérenne dans le paysage (Simon, 2011) et éventuellement de s'y multiplier en se développant sur les populations de ravageurs présentes dans ces infrastructures.
L'implantation de haies plurispécifiques à floraison étalée autour des vergers est une modalité déjà ancienne.

L'implantation de bandes végétales à composition particulière est en cours de test sur melon comme un moyen de réguler les attaques par des virus. L'idée est que les pucerons vecteurs des virus, en allant s'alimenter sur ces bandes végétales perdront leur charge virale et ne seront plus des vecteurs de ces virus. La composition botanique des infrastructures écologiques, ainsi que leur structure physique (hauteur, densité) vont jouer un rôle déterminant dans l'abondance et l'activité des auxiliaires utilisables en lutte biologique. Au-delà de la maîtrise des populations de bioagresseurs, les infrastructures agroécologiques vont également remplir d'autres fonctions environnementales.
Comme pour les lâchers d'auxiliaires (pratique élémentaire B5-4), la production et la qualité des produits de récolte seront équivalentes ou inférieures à ce qui pourrait être obtenu grâce à une protection phytosanitaire des cultures.

En raison des coûts de mise en place et des changements d'allocation des sols, les différents indicateurs de la performance économique des exploitations tendent à être légèrement dégradés, le principal inconvénient résidant sans doute dans la forte sensibilité à l'aléa, puisqu'il faut s'appuyer sur la dynamique des organismes dans l'infrastructure et leur mobilité vers les cultures pour contrôler les populations de bioagresseurs.

Au-delà des coûts de création -ou de réhabilitation d'infrastructures déjà existantes- les avantages conférés par ces infrastructures sont nombreux : économies d'énergie directe et indirecte et donc limitation des émissions de GES, la réduction de l'érosion (et du risque de transfert de phosphore vers l'eau), le piégeage des nitrates, la diversification des cultures, la réduction des surfaces en cultures homogènes, le bien-être animal (par les abris disponibles pour le bétail). En outre, la production d'arbres est un facteur favorable à la transmissibilité, mais l'entretien de ces infrastructures peut générer une augmentation du temps de travail.

Ce secteur de recherche et de développement connait aujourd'hui un intérêt croissant avec des travaux importants sur la biologie des organismes, sur l'écologie des paysages et sur l'exploration de voies originales pour utiliser ces possibilités de régulation écologique. Il montre un potentiel considérable et il est au cœur de l'agriculture doublement performante.

C - Eléments-clefs à retenir

Tout en assurant la protection des cultures (tant en termes de quantité que de qualité de la production), il faut assurer (i) la sécurité sanitaire des chaînes alimentaires, (ii) la préservation des ressources (en particulier la consommation d'énergie), (iii) la préservation de l'environnement (qualité de l'eau, de l'air et biodiversité) et (iv) la préservation des performances sociales, notamment la santé et les conditions de travail des utilisateurs.

Le Plan Ecophyto, notamment à travers la mise en place d'un vaste dispositif de réseaux de fermes (dispositif DEPHY[42]) et d'expérimentations, a impulsé une dynamique majeure d'expérimentation, démonstration et production de références en vue de la réduction de dépendance aux produits phytosanitaires dans tous les principaux secteurs de production français. Les réseaux de ferme déployés dans l'axe 2 de ce plan mobilisent un grand nombre des pratiques élémentaires qui sont recensées au sein de cette MP « Protection des cultures ». Les dispositifs Dephy-Expé vont permettre de tester des combinaisons de pratiques élémentaires avec des objectifs plus ambitieux en termes de réduction d'usage.

De façon synthétique, l'analyse qui précède montre que :

- Les **mesures prophylactiques** ont toutes un effet favorable sur l'ensemble des performances à l'exception de la performance « travail ».
- Le principe général des **mesures agronomiques** étant de conduire la culture dans des conditions plus défavorables aux-bioagresseurs qu'avec les itinéraires conventionnels basés sur le recours à la protection chimique, l'impact peut être incertain sur les performances productives et économiques. En outre, les conditions plus défavorables aux bioagresseurs peuvent aussi induire une moindre robustesse des itinéraires en les peut exposant à des aléas jusque-là évités (en particulier vis à vis des conditions météorologiques).
- La **lutte chimique** tire bénéfice d'une mise en œuvre coordonnée et structurée avec les autres pratiques préventives et curatives. La réduction générale des volumes appliqués est favorable à la réduction des charges variables, mais les incertitudes qui peuvent peser sur la production se répercutent sur la performance économique. Quand elle s'applique au Cuivre, cette réduction des volumes est aussi favorable à la réduction des ETM. Dans la plupart des autres cas, elle réduit les émissions de polluants organiques. Enfin cette réduction générale diminue les atteintes à la biodiversité.
- La **lutte physique** souvent associée à des opérations mécaniques peut apporter des solutions pour la gestion des adventices, mais elle est consommatrice d'énergie. En outre, ces pratiques élémentaires augmentent en général le temps de travail et la sensibilité aux aléas climatiques.
- La **lutte biologique** a le plus souvent un impact plutôt défavorable sur les performances économiques en raison des coûts associés et accroît souvent l'incertitude sur les performances de production.

[42] Pour « Démonstration, d'Expérimentation et de Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires ».

Cette MP est sans doute l'enjeu le plus crucial de la transition agro-écologique, qui vise à atteindre les objectifs rappelés au début de ce chapitre en utilisant le plus intensément possible les « services écologiques » offerts par le fonctionnement des écosystèmes.

Mais cette MP est aussi une illustration particulièrement forte des phénomènes de verrouillage, ou *lock-in*, décrit par différents auteurs (Geels, 2011 ; Vanloqueren et Baret, 2009). Ce phénomène conduit un nombre significatif d'acteurs intervenant sur un même système sociotechnique à se mettre en équilibre autour d'un régime ou modèle dominant et à orienter leurs actions (en particulier celles ayant trait à l'innovation) autour de ce modèle. Dans le cas présent, il est organisé autour de l'utilisation de produits phytosanitaires, qu'ils soient ou non issus de synthèse chimique.

La convergence autour de l'utilisation de ces produits s'explique par leurs caractéristiques : ils sont peu onéreux à produire et à utiliser, leur efficacité est quasi-certaine et n'a cessé de s'accroître au cours des dernières décennies, et ils ont bénéficié et bénéficient encore d'un effort de recherche et de criblage considérable par les firmes phytopharmaceutiques. L'utilisation des molécules et des formulations est régulée par un régime réglementaire contrôlant l'homologation des molécules et des formulations mises en marchés, avec des doses homologuées. Ces doses d'homologation, définies par culture et usage sont utilisées pour le calcul des IFT. De plus, l'aval des filières, en imposant des exigences sur l'aspect visuel ou l'homogénéité des produits de récolte, peut venir renforcer cette situation de verrouillage. Le régime d'inscription des variétés est également à considérer au regard de ce système et de ces possibles phénomènes de verrouillage. La création de variétés présentant des résistances durables aux maladies permet de sortir de ces systèmes de production organisés autour de la protection phytosanitaire.

Mais ces produits phytosanitaires engendrent des risques significatifs pour l'environnement et la santé humaine et en particulier celle des utilisateurs. La réduction déjà très importante de la gamme des produits autorisés n'est pas nécessairement arrivée à son terme et le rythme d'apparition de substances vraiment innovantes, c'est-à-dire correspondant à de nouveaux modes d'action, est actuellement très lent, ce qui rend encore plus probable l'accroissement des problèmes de résistance des bioagresseurs aux pesticides dont l'emploi reste autorisé. La question de la réduction de dépendance aux pesticides est donc bien un enjeu de durabilité pour l'activité agricole elle-même.

L'analyse dans la littérature des méthodes alternatives aux pesticides a montré, en particulier dans le cas des herbicides, que chacune de ces méthodes utilisée individuellement montre une efficacité réduite générant ainsi un risque économique et productif accru. L'analyse qui est proposée dans ce document montre que les pratiques élémentaires, potentiellement vertueuses pour réduire l'impact environnemental en maintenant la performance économique doivent être appliquées et mises en œuvre en combinaison avec d'autres pratiques élémentaires. Ceci souligne qu'il est impératif de réfléchir aux pratiques élémentaires relatives à la protection des cultures de concert avec les autres interventions sur les cultures, et en définitive de réfléchir au niveau du système de culture, et/ou de la structure du verger ou du vignoble quand on considère les cultures pérennes

Ceci conduit à une réflexion plus globale sur la protection des cultures. Il s'agit notamment de mobiliser les leviers pour réduire la pression de bioagresseurs exercée sur les productions, mais aussi de mobiliser conjointement la capacité des cultures à présenter une meilleure résistance, *via* l'amélioration génétique. Ce point est alors cohérent avec le renforcement des efforts à la fois de la recherche publique et des firmes privées, et en particulier celles du secteur de la phytopharmacie de renforcer leurs efforts dans le domaine de la recherche en génétique et la sélection de variétés à résistance durable.

L'analyse proposée montre aussi que certaines pratiques élémentaires présentent des marges d'amélioration importantes sur lesquelles il conviendra de renforcer les efforts de recherche et de recherche-développement. Il est important ici d'en rappeler trois :

- Le machinisme peut apporter des solutions nouvelles, et il est pertinent de mobiliser les innovations technologiques émergentes dans ce secteur. Les technologies relatives au désherbage mécanique, au contrôle de l'apport de pesticides, à l'agriculture de précision, vont permettre des réductions significatives, tout en maintenant le niveau de performance économique et productive.
- Les stimulateurs de défense naturelle couvrent un large spectre de composés et de modalités d'application, ce qui génère *de facto* une grande diversité des réussites (et des échecs). Certains succès ont été obtenus et soulignent l'intérêt d'une approche systématique et rationnelle pour leur criblage, indissociable d'une approche scientifique cognitive pour mieux comprendre les déterminants des réussites et des échecs. Il faut aussi souligner la nécessité d'une approche agronomique globale pour (i) les insérer dans des itinéraires techniques (incluant éventuellement un nombre réduit de traitements phytosanitaires) où ils prendront une efficacité maximale, puisque ces produits ont une efficacité partielle et dépendante des autres aspects de l'itinéraire technique ; (ii) adjoindre à leur utilisation des règles de décision adéquates, basées le cas échéant sur des indicateurs et repères d'intervention différents de ceux mobilisés pour les pesticides.
- Les auxiliaires de culture couvrent là aussi une très large gamme d'espèces, qui ont pour cibles une large gamme de bioagresseurs. Un nombre croissant de travaux permet de mieux caractériser les auxiliaires, la biologie des populations correspondantes et les conditions favorables à leur développement. Une démarche plus systématique, mobilisant la diversité des acteurs de la recherche, du développement et des opérateurs économiques, serait sans doute pertinente pour accroître le flux d'innovations techniques, relatif à ce domaine, sans oublier l'adaptation des systèmes d'évaluation avant mise en marché. Cependant, il faut être vigilant pour que les pratiques élémentaires mobilisées ne conduisent pas à des impasses. Deux impasses sont plus particulièrement identifiées.
  - ✓ Il s'agit d'une part de prendre en compte les risques d'émergence de résistances chez les bioagresseurs, résistances aux produits phytosanitaires, en particulier dans le cas d'applications à dose réduite ou contournement de résistances génétiques.
  - ✓ Un autre risque majeur d'impasse est celui engendré par les possibilités offertes par la diversification (MP « Successions culturales et assolements ») pour mieux maîtriser la pression de bioagresseurs s'exerçant sur les cultures principales. Les espèces utilisables pour la diversification présentent des fragilités réelles au regard de la protection des cultures, d'une part parce que la gamme de molécules et de formulations homologuées pour la protection de ces espèces est plus réduite et parce que la recherche qui leur est consacrée, en particulier du point de vue de l'amélioration génétique, est plus limitée.

L'analyse de cette MP conduit à souligner l'importance de mettre en place des innovations organisationnelles. Il apparaît notamment d'une importance incontournable de couvrir les risques pris lors de la transition vers un système où le recours à la protection phytosanitaire sera plus faible, le risque pouvant être variable selon les productions, et particulièrement important pour les filières où à la fois le volume et la qualité des produits de récolte sont susceptibles d'être affectés. Selon le contexte – et en particulier selon le contexte phytosanitaire considéré et le mode d'occurrence des dommages et pertes qu'est susceptible d'engendrer une moindre maîtrise phytosanitaire – cette couverture des risques peut prendre plusieurs formes, depuis un système assurantiel couvrant le risque, à la mobilisation de dispositifs de type MAE ou encore la mise en place d'une comptabilité et fiscalité sur une base pluriannuelle permettant de lisser les aléas plus forts observés lors d'une diminution du recours aux produits phytosanitaires, en passant par les certificats d'économie attribués à différents types d'acteurs.

Cette MP génère de nombreuses questions à la recherche. Parmi les thèmes à étudier car susceptibles de donner accès à des marges de manœuvres inédites dans le contrôle des bioagresseurs, on peut citer l'influence de l'organisation du paysage, et plus globalement d'une gestion territoriale de la protection des cultures ; la combinaison dans le temps et dans l'espace des différentes mesures ; le renforcement des travaux sur les SDN ; la connaissance des cycles des

bioagresseurs et des auxiliaires des cultures ; l'évaluation des risques de dommages potentiels, l'émergence de phénomènes de contournement.

Enfin, la complexité des solutions à mettre en œuvre pour une évolution de la protection des cultures vers une moindre utilisation de produits phytosanitaires et la mobilisation d'autres leviers souligne la nécessité impérieuse de renforcer la formation initiale sur ces questions, et notamment sur la prise en compte de la dimension du système de culture pour concevoir une nouvelle protection phytosanitaire. De même, le conseil va jouer un rôle extrêmement important. Il s'agira d'apporter un conseil stratégique pour définir une réelle stratégie de protection des cultures et pas seulement un conseil tactique (préconisation) pour apporter le bon produit pesticide au bon moment, même si ceci reste un point utile dans l'accompagnement des agriculteurs. En conséquence, la formation des conseillers à ce nouveau positionnement sera un point essentiel pour la réussite de cette transition.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Protection phytosanitaire des cultures	Mesures prophylactiques	Nettoyer et désinfecter le matériel de culture et de récolte	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Eliminer sélectivement les premiers foyers de bio-agresseurs	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Eliminer ou enfouir les résidus contaminés	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	-	=	=	=
		Raisonner l'ordre de passage dans les parcelles pour limiter les contaminations	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=
	Mesures agronomiques	Adapter les dates de semis	+/-	=	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=	+	=
		Adapter les densités et/ou les écartements de semis	+/-	=	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=	+	=
		Réaliser des faux-semis	=	=	-	-	-	-	-	-	-	=	=	=	-	=	=	=
		Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	+	+/-	=	+/-	=/+	+/-	+/-
		Augmenter le nombre d'espèces et/ou variétés cultivées au sein d'un espace donné	=/-	=	=/-	+	=/-	=/-	=/-	=/-	=	+	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-
	Lutte chimique	Utiliser des outils de raisonnement du déclenchement d'un traitement phytosanitaire	+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	=	=	=
		Réduire les quantités totales de substances actives par unité de surface en réduisant le nombre de traitements	=/-	=/-	=/-	+	=/-	=/-	=/-	+	=/-	=	=	=	+	+	=	=
		Réduire les doses de substances actives par traitement	=/-	=/-	=/-	+	=/-	=/-	=/-	+	=/-	=	=	=	=	=	=	=
		Ne pas utiliser des substances actives de synthèse	-	+/-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	-	=	=	=
		Mieux régler le matériel de traitement existant	=	=/+	=/+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	+	+	=	=
		Réaliser les traitements en conditions climatiques optimales	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	+/-	=/+	+/-	=	=	=	=	=	=	=
		Améliorer la répartition des produits dans la végétation	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=/+	=	=	=/-	=	=	=	=	=
		Utiliser des adjuvants ou des produits alternatifs à moindre risque ecotoxicilogique	=	=	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Lutte physique	Pratiquer la solarisation	+/-	+	+/-	=/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=	=	=
		Utiliser le désherbage mécanique	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	+/-	+/-	-	=/-	=	=/-	=	-	=	=	=
		Utiliser le désherbage thermique	=/-	=/-	=/-	-	=/-	=/-	=/-	-	=/-	=	=/-	=	-	=	=	=
		Utiliser des barrières physiques : filets, bâches, etc.	=	=/+	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+	+/-	=	=	=	=	=	+	=
	Mesures de bio-contrôle et de lutte biologique	Utiliser des Préparations Naturelles Peu Préoccupantes (PNPP)	-	-	-	-	-	-	-	-	=/-	=	=	=	=	=/+	=	=
		Utiliser des Stimulateurs de Défense Naturelle (SDN)	=/-	=/-	=/-	=	=/-	-	-	=/-	+/-	=	=	=	=	=/+	=	=
		Mettre en place des méthodes de confusion sexuelle	=	=	=/-	-	=/-	-	-	-	+/-	=	=	=	=/+	=/+	=	=
		Utiliser les lâchers d'auxiliaires	+/-	+/-	=/-	-	-	-	-	=/-	+/-	=	=	=/+	=/+	=/+	=	=
		Implanter des infrastructures agroécologiques pour favoriser la lutte biologique	=/-	=/-	-	-	-	-	-	-	+/-	=/+	=	+	=/+	=/+	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Protection phytosanitaire des cultures	Mesures prophylactiques	Nettoyer et désinfecter le matériel de culture et de récolte	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=
		Eliminer sélectivement les premiers foyers de bio-agresseurs	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=
		Eliminer ou enfouir les résidus contaminés	=	=/-	=/+	=	+	+	=	=	-	=	=	=	=	=	=	-	+/-	=	=	=
		Raisonner l'ordre de passage dans les parcelles pour limiter les contaminations	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=
	Mesures agronomiques	Adapter les dates de semis	+/-	=	=	=	=/+	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	-
		Adapter les densités et/ou les écartements de semis	=	=	=	=	=/+	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	-
		Réaliser des faux-semis	=/-	=/-	=/-	=	-	+	-	=	-	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	-
		Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce	+/-	=/+	=/+	=	=/+	+	=/+	=	+/-	+/-	=	=	=	+	+	=	+/-	=/+	=	+/-
		Augmenter le nombre d'espèces et/ou variétés cultivées au sein d'un espace donné	=/+	=	=/+	=	+/-	+/-	+	=	+/-	+/-	=	=	=	+	+	+	=/-	=/+	=	+
	Lutte chimique	Utiliser des outils de raisonnement du déclenchement d'un traitement phytosanitaire	=	=	=	+	=	=/+	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	=/+	+/-	=/+	=	+
		Réduire les quantités totales de substances actives par unité de surface en réduisant le nombre de traitements	=/+	=	=	+	=	+	=	=	+	=	=	=/+	=	=	=	+	+	+	=	-
		Réduire les doses de substances actives par traitement	=	=	=	+	=	+	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	+	=/+	+	=	+/-
		Ne pas utiliser des substances actives de synthèse	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=	+	+/-	+	=	-
		Mieux régler le matériel de traitement existant	=	=	=	+	=	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=/+	+	=/+	=	+
		Réaliser les traitements en conditions climatiques optimales	+	=	=	+	=	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=/+	-	=	=	+/-
		Améliorer la répartition des produits dans la végétation	=	=	=	+	=	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=/+	-	=/+	=	+
		Utiliser des adjuvants ou des produits alternatifs à moindre risque ecotoxicilogique	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=	=	=	+	=	=	=	+	-	+	=	=
	Lutte physique	Pratiquer la solarisation	=	=	=	=	=/-	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	+/-
		Utiliser le désherbage mécanique	=/-	=/-	=/-	=	=	+	+/-	=	-	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	-
		Utiliser le désherbage thermique	=	=	=	=	=	+	=	=	-	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	-
		Utiliser des barrières physiques : filets, bâches, etc.	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+	-	=	=	=
	Mesures de bio-contrôle et de lutte biologique	Utiliser des Préparations Naturelles Peu Préoccupantes (PNPP)	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-
		Utiliser des Stimulateurs de Défense Naturelle (SDN)	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-
		Mettre en place des méthodes de confusion sexuelle	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	+
		Utiliser les lâchers d'auxiliaires	=	=	=	=	=	+	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=/-
		Implanter des infrastructures agroécologiques pour favoriser la lutte biologique	=	+	=	=	+	+	+	=	+	=	=	=	+	+	+	+	-	=	=/+	=/-

E - Références bibliographiques

AGROPEPS. « Stimuler les défenses des végétaux cultivés » [en ligne]. (page visitée le 06/03/2013). http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Stimuler_les_d%C3%A9fenses_des_v%C3%A9g%C3%A9taux_cultiv%C3%A9s

AGROPEPS. « Utiliser des adjuvants» [en ligne]. (page visitée le 06/03/2013). http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Utiliser_des_adjuvants

ACQUAVELLA J., OLSEN G., COLE P, IRELAND B, KANEENE J, SCHUMAN S, HOLDEN L. 1998. Cancer among farmers: A meta-analysis. *Ann Epidemiol*, 8, 64-74

ARVALIS–INSTITUT DU VEGETAL, CETIOM. R-Sim. [en ligne] (page visitée le 25/05/2013) http://www.r-sim.fr/

ATIAMA M., AJAGUIN SOLEYEN C., ATIAMA-NURBEL T., BELIZAIRE J., CHIROLEU F., MOUTOUSSAMY M.L., PETITGAS C., QUILICI S., TENAILLEAU M., DEGUINE J.P. 2011. L'augmentarium, un outil de prophylaxie contre les Tephritidae. Séminaire de clôture GAMOUR, 21-24/11/2011, Saint-Pierre (Réunion)

AUBERTOT J. N., BARBIER J.M., CARPENTIER A., GRIL J.J., GUICHARD L., LUCAS P., SAVARY S., SAVINI I., VOLTZ M. (éditeurs). 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, Inra et CEMAGREF (France), 64 p.

BEAUJOUAN V., DURAND P., RUIZ L. 2001. Modelling the effect of the spatial distribution of agricultural practices on nitrogen fluxes in rural catchments. *Ecological Modelling*, 137, 93-105

BRESSOUD F. 2011. Utilisation de la période d'interculture pour une meilleure gestion des sols. Inra. Groupes Filières. Fiche HPE n°20 [en ligne] (page visitée le 15/03/2013) http://www6.inra.fr/groupes-filieres/content/download/3767/36852/file/Fiche%2020%20-%20F&L%20-%20avril%202012.pdf

BRUN L. 2011. Réduction de l'inoculum primaire de tavelure en verger de pommier. Inra. Groupes Filières. Fiche HPE n°7 [en ligne] (page visitée le 15/03/2013) http://www6.inra.fr/groupes-filieres/content/download/3755/36816/file/Fiche%207%20-%20F&L%20-%20avril%202012.pdf

BRUN L., GOMEZ C., DUMONT E. 2005. Intérêts de la diminution de l'inoculum primaire de tavelure en verger de pommiers. *Phytoma – La défense des végétaux*, 581, 16-18

BUTAULT J.P., DEDRYVER C.A., GARY C., GUICHARD L., JACQUET F., MEYNARD J.M., NICOT P., PITRAT M., REAU R., SAUPHANOR B., SAVINI I, VOLAY T. 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude. Inra (France), 90 p.

COLBACH N., BUSSET H., YAMADA O., DÜRR C., CANEILL J. 2006. ALOMYSYS: Modelling blackgrass (*Alopecurus myosuroides Huds*.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics and movements and soil climate. *European Journal of Agronomy*, 24, 113-128

CHARPENTIER B., de QUATREBARBES P., RIOU Y. 2011. Rapport Mission de parangonnage (Allemagne, Espagne, Italie, Royaume-Uni) sur les mesures de protection de la biodiversité "ordinaire" liées à l'activité agricole. Rapport du CGAAER , 10170, 84 p.

DEGUINE J.P., FERRON P., RUSSEL D. 2008. Protection des cultures. De l'agrochimie à l'agroécologie. Editions Quae, 187 p.

DAMIANTHE V., GUIHARD M.D. 2012. Défenses naturelles chez les végétaux.[en ligne] (page visitée le 12/03/2012).
http://www.valinov.fr/media/sdn_ep_lofficiel_jardin_motoculture__045789800_1039_10112010.pdf

DELIERE L., CARTOLARO P., NAUD O., LEGER B., GOUTOULY J. P., DAVIDOU L., BROSSE E., GUISSET M. 2008. Mildiou et oïdium de la vigne - pour des décisions coordonnées : Conception et évaluation de Mildium, un processus opérationnel de décision pour une gestion fongicide coordonnée à apport réduit, Phytoma - La Défense des Végétaux, 621, 20-24

DESBOIS D., BUTAULT J.P., SURRY Y. 2013. Estimation des coûts de production en phytosanitaires pour les grandes cultures. Une approche par la régression quantile. *Économie Rurale*, 333, 27-49

Journal officiel de la Communauté Européenne. L230 du 19 août 1991 : Directive 91/414/CEE du Conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.

DRIAF IDF. « Produits phytosanitaires et adjuvants » [en ligne]. (page visitée le 13/03/2013). http://driaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_Guide_ZNA-04-produits_phytosa.uvants_DRIAFIledeFrance08_cle061c17.pdf

ENDURE. 2010. La protection intégrée dans l'agriculture européenne. Résultats du projet 2007-2010. Inra (Ed), 39 p.

FELSOT A.S. 2011. Pesticides & Health Myths vs. Realities, A Position Paper of the American Council on Science and Health. *Washington State University,* 122 p.

GATIGNOL C., ETIENNE J-C. (éditeurs). 2010. Rapport Pesticides & Santé. Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, 262 p.

GCDD. 2010. Les pesticides dans les milieux aquatiques - Données 2007. Commissariat général au développement durable. *Études et document*, 26, 49 p.

GIL Y., SINFORT C. 2005. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. *Atmospheric Environment*, 39 (28), 5183-5193

GIS SOL. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188p.

GOMEZ C., BRUN L. CHAUFFOUR D., DE LE VALLEE D. 2007. Effect of leaf litter management on scab development in an organic apple orchard. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 118, 249-255

INVIVO AGRO. Services [en ligne] (page visitée le 25/05/2013)
http://www.invivo-group.com/activite/19/services

JEANNEQUIN B. 2011. Utilisation de filets anti-insectes plus perméables à l'air - Ultravent®. Inra. Groupes Filières. Fiche HPE n°29 [en ligne] (page visitée le 15/03/2013)
http://www6.inra.fr/groupes-filieres/content/download/3772/36867/file/Fiche%2029%20-%20F&L%20-%20avril%202012.pdf

JOANNON A., SOUCHERE V., MARTIN P., PAPY F. 2006. Reducing runoff by managing crop location at the catchment level, considering agronomic constraints at farm level. *Land Degradation & Development*, 17, 467-478

LANNOU C., PAPAÏX J., MONOD H., RABOIN' L.-M., GOYEAU H. 2013. Gestion de la résistance aux maladies à l'échelle des territoires cultivés. *Innovations Agronomiques*, 29, 33-44

LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG F., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER- ESTRADE J., SARTHOU J.P., TROMMETTER M. (éditeurs). 2008. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, Inra (France), 116p.

LIZOT J.F., MAZOLIER C. 2000. Fiche technique désherbage en maraîchage et plantes aromatiques et médicinales biologiques. Le désherbage par la solarisation ou la vapeur. ITAB et GRAB (France), 15-18

LO-PELZER E., BOUSSET L., JEUFFROY M.H., SALAM M.U., PINOCHET X., BOILLOT M., AUBERTOT J.N. 2010. SIPPOM-WOSR: A Simulator for Integrated Pathogen Population Management of phoma stem canker on Winter OilSeed Rape. Description of the model. *Field Crops Research*, 118, 73-81

MEYNARD J.M., ROLLAND B., LOYCE C., FELIX I., LONNET P. 2009. Quelles combinaisons variétés / conduites pour améliorer les performances économiques et environnementales de la culture de blé tendre ? *Innovations Agronomiques*, 7, 29-47

MUNIER-JOLAIN N., KUBIAK P., MAILLET-MAZERAY J., QUERE L., RODRIGUEZ A., BROCHARD M., MUCHEMBLED C., VERDIER J.L. 2006. DECID'HERB : un logiciel d'aide au choix d'une méthode de lutte contre les mauvaises herbes pour une agriculture respectueuse de l'environnement. AFPP Conférence internationale sur les moyens alternatifs de protection des cultures. 13-15/03/2006, Lille (France), 9p.

MUNIER-JOLAIN N., DONGMO A. 2010. Évaluation de la faisabilité technique de systèmes de Protection Intégrée en termes de fonctionnement d'exploitation et d'organisation du travail. Comment adapter les solutions aux conditions locales ? *Innovations Agronomiques*, 8, 57-67

PUGIN A., GIANINAZZI-PEARSON V. Comment stimuler les défenses naturelles des plantes ? [en ligne]. (page visitée le 12/03/2012).
http://www2.dijon.inra.fr/cmse/thematiques/defense%20des%20plantes.pdf

RENOU A., DEGUINE J.P. 2006. La protection contre les maladies et les ravageurs. **In :** Mémento de l'agronome. Gret, Cirad, Ministère des Affaires Etrangères (Ed), 685-715

RICCI P., BUI S., LAMINE C. (coord.). 2011. Repenser la protection des cultures. Innovations et transitions. Editions Quae, Educagri (Ed), 250 p.

RMT SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS (coord.). 2010. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. 116p.

SEVERAC G., FILLERON E., DELAUNAY V. 2010. La mouche ne passe pas la maille. *Réussir Fruits Et Légumes*, 294, 38-39

SIMON S. 2011. Conservation des auxiliaires par la gestion des habitats et de la biodiversité. Inra. Groupes Filières. Fiche HPE n°12 [en ligne] (page visitée le 15/06/2013)
http://www6.inra.fr/groupes-filieres/content/download/3743/36780/file/Fiche%2012%20-%20F&L%20-%20avril%202012.pdf

UIPP. L'UIPP et ses adhérents : chiffres clés. [en ligne] (page visitée le 07/03/2013). http://www.uipp.org/Services-pro/Chiffres-cles/L-UIPP-et-ses-adherents-chiffres-cles

CHAPITRE 6

CHOIX DES SUCCESSIONS DE CULTURES ET DES ASSOLEMENTS

A - Introduction 130
B - Description par pratique élémentaire 132
C - Eléments-clefs à retenir 139
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 142
E - Références bibliographiques 143

CHAPITRE 6
Choix des successions de cultures et des assolements

A - Introduction

La diversification des cultures de l'agriculture française est l'un des principaux leviers mis en avant dans l'étude Ecophyto R&D de l'Inra pour répondre à l'objectif, fixé par le Grenelle de l'environnement de 2008, de réduire l'usage des produits phytosanitaires « de 50 % en 10 ans » (Butault *et al.*, 2010). Cette diversification peut et doit s'organiser dans le temps et dans l'espace, sur la base respectivement de l'assolement et de la succession des cultures. En d'autres termes, il convient que la diversification des cultures s'applique, non seulement sur une même parcelle année après année, mais aussi au niveau spatial, sur un territoire donné. La MP a donc été structurée en deux pratiques distinctes, mais complémentaires : le choix de la succession des cultures (sur une même parcelle) et le choix de l'assolement (sur l'exploitation).

La succession des cultures ou rotation correspond à l'enchaînement des cultures sur une même parcelle ; il s'agit donc d'une notion temporelle. L'assolement de l'exploitation correspond à la répartition des cultures sur les parcelles à un moment donné ; il s'agit donc d'une notion spatiale. La succession des cultures, combinée aux itinéraires techniques pratiqués sur chaque culture et appliquée à une parcelle donnée, définit le système de culture. Au sein de l'exploitation, un système de culture donné s'applique en général à plusieurs parcelles, dont les successions sont décalées de façon à maintenir une certaine constance de l'assolement d'une année à l'autre.

Depuis le début des années 1960, l'évolution de l'agriculture française s'est traduite par une simplification importante des assolements. Aujourd'hui, sept cultures ou classes de cultures représentent 90% de la sole cultivée hexagonale : le blé tendre, le blé dur, l'orge, le maïs, le colza, le tournesol et les prairies temporaires. Dans plus de 85% des exploitations agricoles, moins de quatre cultures ou classes de cultures couvrent plus de 80% de la sole cultivée (moyenne des années 2006 à 2009), et 38% de la Surface Agricole Utile (SAU) est cultivée avec une très faible diversité à la parcelle, soit 8% en monoculture, 15 % dans le cadre d'une rotation courte de deux années, et 17% dans le cadre d'une succession blé sur blé ; voir Figure 6.1 (Fuzeau *et al.,* 2012). Un assolement peu diversifié année après année se traduit par de courtes successions de cultures, avec des délais réduits de retour d'une culture sur elle-même, ce qui augmente les risques phytosanitaires et en particulier la spécialisation des flores adventices. Les flores adventices spécialisées sont alors adaptées à la culture principale et deviennent abondantes et très compétitives, avec un enrichissement progressif de la banque de graines du sol. Leur contrôle devient donc difficile, et toute faiblesse dans l'efficacité du contrôle herbicide se traduit par un envahissement avec des conséquences négatives sur la production. Ceci peut de plus être accompagné par le développement de résistances génétiques de la flore adventice aux principales molécules utilisées, comme ceci a pu être observé, par exemple, dans le cas du vulpin vis-à-vis des sulfonylurées. Ceci génère alors une impasse en termes de désherbage.

En dépit de la mise œuvre au niveau de la Politique Agricole Commune (PAC) de dispositifs spécifiques ayant pour but d'encourager la diversification des cultures,[43] celle-ci a diminué et les cultures de diversification sont

[43] Trois dispositifs de la PAC ont été mobilisés par la France pour favoriser la diversification des cultures : (i) la conditionnalité, à travers la norme de « diversité des assolements » des Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales

peu importantes à l'échelle de l'hexagone. A titre d'illustration, sur les deux dernières décennies, les surfaces consacrées aux protéagineux sont passées de 558 055 hectares en 1988 à 475 387 hectares en 2000 et 396 605 hectares en 2010 (d'après les recensements de l'agriculture).

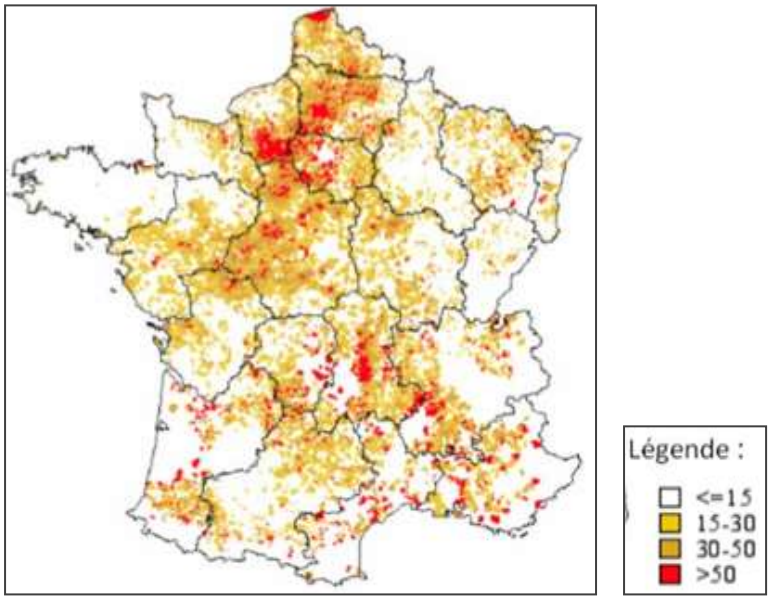

Figure 6.1 : *Pourcentage de surfaces en blé tendre avec un précédent blé tendre en 2009 ; Source : Fuzeau et al. (2012)*

Il est délicat de définir une liste d'espèces de diversification dans la mesure où celles-ci se définissent par rapport aux espèces très fréquentes dans la rotation. En conséquence, une espèce abondante dans une région donnée peut devenir une espèce de diversification dans une autre zone. Le blé dur se trouve dans cette configuration, espèce majeure en PACA, Languedoc-Roussillon et certaines zones en Midi-Pyrénées, espèce de diversification en régions Poitou-Charentes et Centre. On peut toutefois citer la liste des espèces étudiées dans l'étude de Meynard *et al.* (2013), soit le chanvre, la féverole, le lin fibre, le lin oléagineux, le lupin, la luzerne, la moutarde, le pois protéagineux, le pois chiche, le soja, le sorgho et le tournesol (pour culture dans la zone Nord de la France).

Interactions avec d'autres MP

La nature des cultures que l'agriculteur souhaite implanter sur ses parcelles a un impact sur les différents postes qui définissent la conduite de ces cultures. La MP Choix des successions culturales et des assolements est donc en interaction forte avec les autres MP du domaine végétal relatives au sol, à l'eau, à la fertilisation, à la protection phytosanitaire, etc. ; elle est également en lien avec plusieurs MP relevant du domaine animal, en particulier les MP Gestion de l'alimentation animale et Conduite de l'élevage.

Place dans l'exploitation

Les choix de successions culturales et d'assolements sont des objectifs stratégiques des exploitations agricoles. Ces choix dépendent de l'orientation productive de l'exploitation et des objectifs associés en termes de niveau de production et, le cas échéant, d'autonomie fourragère, des contraintes pédologiques, topographiques et climatiques locales, de l'équipement, de la main d'œuvre disponible, des compétences et de la technicité de l'agriculteur, des débouchés possibles, du conseil auquel le producteur agricole a accès, etc. Ces choix et les décisions qui en découlent correspondent donc à un processus complexe qui a des conséquences à la fois à

(BCAE) ; (ii) le soutien spécifique à la diversité des assolements mis en œuvre *via* l'article 68 du premier pilier de la PAC mais uniquement pendant la campagne 2010-11 ; et (iii) la Mesure Agro-Environnementale Rotationnelle (MAER) du second pilier de la PAC.

court terme (récoltes de l'année) et à long terme (orientations productives de l'exploitation, investissements, stratégie commerciale, etc.).

Place au sein de la filière de production

Le processus dit d'industrialisation de l'agriculture française a rendu les choix de cultures très dépendants des évolutions de la demande sur les marchés, aux différentes échelles de la région, de la nation, de l'Union européenne, voire du monde. Les agriculteurs, leurs groupements et les coopératives auxquelles ils adhèrent définissent de façon croissante leurs offres de produits en fonction des exigences de l'aval des filières. De plus, la concentration du secteur de la distribution, plus spécifiquement de la grande distribution, a pour effet d'inciter collecteurs et transformateurs, qu'ils soient privés et/ou coopératifs, à exercer une pression à la baisse sur le coût d'achat de leur approvisionnement (i.e., les prix des récoltes) et à standardiser les process de transformation en exigeant en particulier une matière première la plus homogène / uniforme (Meynard *et al.,* 2013).

De même, l'amont des exploitations agricoles s'est lui aussi structuré autour de la simplification des rotations et des assolements. Ceci se concrétise par une concentration progressive de l'offre variétale sur les cultures majeures, concentration qui s'est accompagnée de la baisse du nombre d'obtenteurs. On voit ainsi une augmentation considérable de l'offre variétale en colza (cf. Figure 6.2), alors qu'elle diminue très fortement en pois protéagineux. Ceci se concrétise aussi par une réduction du nombre d'Autorisations de Mise en Marché (AMM) pour les produits phytosanitaires et, en raison du coût d'étude préalable à ces autorisations, ce sont surtout les espèces mineures qui deviennent orphelines de solutions phytosanitaires.

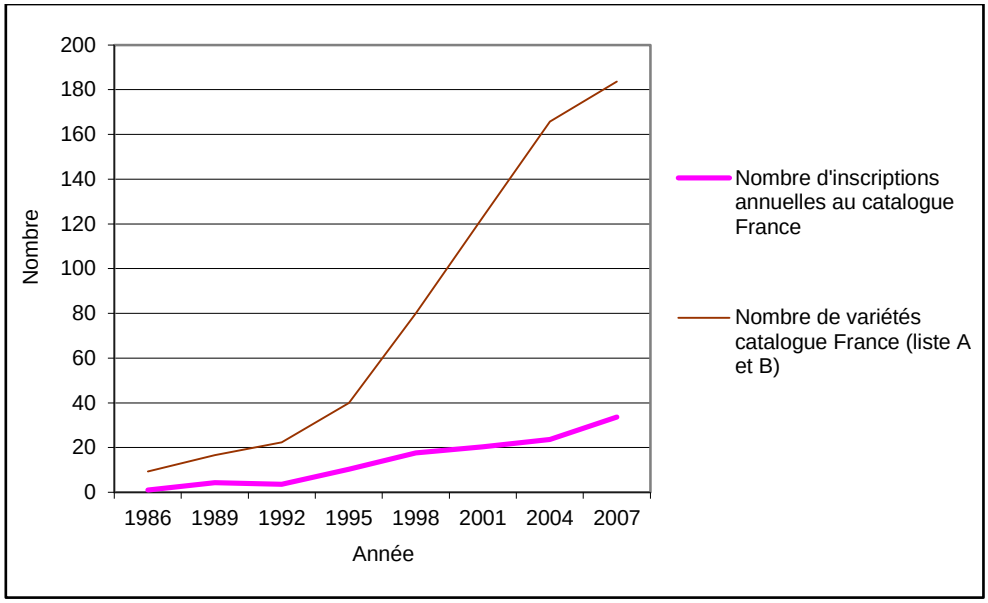

Figure 6.2 : *Evolution du nombre d'inscriptions annuelles et du nombre de variétés présentes au catalogue pour le colza en France ; Source : Cadot et Le Clerc (2010)*

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Choix des successions de cultures

La réflexion sur les pratiques élémentaires innovantes dans le domaine des successions de cultures s'appuie sur le constat que la diversification de la composition des rotations et des assolements est

bénéfique d'un point de vue environnemental, sans être nécessairement pénalisante pour la performance économique. Néanmoins, les éléments déterminants qui structurent les pratiques élémentaires qui seront maintenant discutées sont que : i) la diversification ne doit pas uniquement prendre en compte les cultures productives, mais aussi les cultures intermédiaires, ii) la diversification peut également se réfléchir au sein d'un couvert (association, culture compagne), iii) la diversification des cultures marchandes doit prendre en compte l'aval des filières, iv) la diversité fonctionnelle (légumineuses versus non légumineuses ; cycles de culture), en particulier pour les traits d'effet, est un élément déterminant pour réfléchir le choix des espèces mobilisées pour la diversification.

B1.1 - Pratiquer des associations de cultures sur une même parcelle

Pratiquer l'association de cultures consiste en la culture simultanée d'au moins deux espèces distinctes sur une même parcelle durant une période significative de leurs cycles de développement. Le terme « association » est utilisé dans le cas d'une culture combinant une légumineuse et une espèce non fixatrice d'azote, en général une graminée (par exemple une céréale), plus rarement une crucifère (colza).

Les travaux de C. Naudin et de G. Hellou (ESA Angers) sur des associations entre blé tendre et pois protéagineux ont montré que cette pratique élémentaire permettait d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources du milieu, en particulier parce que ces espèces valorisent des ressources différentes en azote (azote minéral pour la céréale et azote symbiotique pour la légumineuse), et ainsi permettait d'augmenter le rendement et la qualité des grains relativement à une culture mono-spécifique. Ceci a en particulier été démontré dans le cadre d'associations blé dur - pois (Justes *et al.,* 2009 ; Bedoussac *et al.,* 2010). Les associations de cultures peuvent être annuelles (association blé dur et pois, par exemple) ou pluriannuelles pour la production de fourrages (association trèfle blanc et ray-grass anglais, par exemple).

Dans le cas des associations annuelles avec valorisation marchande du grain hors de l'exploitation, plusieurs contraintes techniques freinent, du moins jusqu'à ce jour, le développement des associations de cultures ; le frein principal est lié à la difficulté de trier les graines au stade de la collecte pour utilisation en alimentation humaine, cette utilisation étant le plus souvent celle qui est à même d'assurer la meilleure valorisation économique des récoltes. Sauf exceptions marginales, les organismes de collecte ne sont pas aujourd'hui équipés pour assurer la séparation des différents composants d'un mélange ; or, il s'avère que la présence de résidus d'une autre espèce conduit souvent à diminuer la valeur marchande du grain, voire exclure ce dernier de plusieurs usages en alimentation humaine. Les développements technologiques récents, en particulier le développement de trieurs optiques à haut débit, pourrait modifier la donne sur la ou les prochaines décennies. La situation est différente dans les cas des utilisations de la récolte en autoconsommation, l'objectif (le souci) étant alors celui de la nécessaire caractérisation de la valeur alimentaire du mélange récolté.

Dans l'état actuel des équipements en aval des exploitations, la pratique élémentaire ici considérée a donc des effets ambigus sur les performances économiques de l'exploitation (rentabilité, VA, EBE et RCAI), en dépit d'effets plutôt positifs sur le volume et la qualité de la production végétale de l'exploitation. Néanmoins, grande est la tentation de conclure que l'impact économique serait plutôt positif dès lors que les associations de cultures sont consommées par les animaux de l'exploitation, ou d'une exploitation voisine, et que cet impact économique pourrait également devenir positif « demain » si le triage en aval devient une technique répandue, facile et peu couteuse.

L'association de céréales et de légumineuses permet de réduire les charges variables (engrais et produits phytosanitaires) et ainsi d'accroître l'autonomie productive. Dans le cas de telles associations en cultures annuelles, la fixation de l'azote de l'air par la légumineuse est encouragée par la compétition pour l'azote minéral par l'espèce associée / les espèces associées non fixatrices et plus efficaces que la légumineuse pour capter l'azote minéral. Dans le cas d'associations à deux partenaires en densités égales, ceci conduit à préconiser de réduire la fertilisation azotée minérale par quatre. En cultures pérennes (prairies temporaires) avec des associations de graminées et de légumineuses correctement installées, l'apport d'azote minéral peut

même être totalement supprimé car le recyclage d'azote à partir de la légumineuse suffit à l'alimentation azotée de la graminée associée.

Le stock d'azote et de carbone organiques du sol augmente, ce qui permet d'assurer le maintien ou l'amélioration de certaines propriétés physiques et physicochimiques du sol (stabilité structurale, propriétés mécaniques, capacité d'échange, etc.). Plusieurs performances liées aux propriétés du sol sont donc améliorées, tout comme plusieurs performances liées à la qualité de l'eau (réduction des utilisations / émissions de nitrate, de produits phytosanitaires et de phosphore).

L'association de cultures permet de réduire la pression des bioagresseurs (maladies, adventices et ravageurs) par rapport à celle exercée en régime de cultures utilisées pures. Cette moindre pression a pu être observée en grandes cultures (Bedoussac *et al.,* 2010), observée et analysée dans le cas des prairies à flore complexe (Latz *et al.,* 2012). Elle permet une réduction potentielle des utilisations de pesticides, en particulier de fongicides, en régime de cultures mixtes relativement à un régime où les mêmes cultures sont également cultivées, mais séparément. Cette réduction de la pression parasitaire s'explique par la réduction de la pression pathogène. En effet, quand le nombre d'espèces végétales augmente dans un couvert, le nombre d'espèces fongiques augmente aussi, mais l'impact sur chaque espèce diminue de façon exponentielle avec le nombre d'espèces au sein du couvert. Cela est dû au fait que le développement d'épidémies devient difficile car les spores émises trouvent difficilement un tissu compatible de la même espèce.

La baisse de la consommation d'engrais azotés rendue possible par l'introduction des légumineuses, a pour corollaire une diminution de la consommation indirecte d'énergie fossile, ainsi que des émissions de GES et de NH_3. L'association des cultures améliore aussi deux performances ayant trait à la biodiversité : la diversité des couverts végétaux et la réduction de tailles des espaces couverts de façon uniforme.

L'impact de cette pratique élémentaire sur le temps de travail de l'agriculteur est ambivalent : elle exige une plus grande technicité de ce dernier mais en contrepartie, la pression phytosanitaire réduite et la moindre utilisation d'engrais permet de diminuer le nombre de passages dans les parcelles et donc le temps de travail associé. Moins de pesticides et d'engrais diminue l'exposition aux risques potentiels associés. Enfin, la pratique élémentaire permet en principe de régulariser la production, donc de réduire la sensibilité aux aléas.

B1.2 - Implanter des couverts d'interculture à fonction agroécologique[44]

Cette pratique élémentaire consiste à implanter un couvert pendant l'interculture, couvert qui va capter de l'azote minéral avant l'entrée en période de drainage (automne et hiver) et ainsi limiter sa lixiviation (Labreuche, 2011 ; Justes et *al.*, 2012).
Cette pratique élémentaire présente plusieurs avantages :

- Fixation de l'azote minéral résiduel du sol et limitation des pertes par lixiviation lors des périodes de drainage ; les performances relatives aux risques de transferts des éléments nitrate et phosphore sont donc améliorées ; de même pour la performance « consommation indirecte d'énergie » au travers de l'économie d'utilisation d'engrais azotés ;
- Protection des sols sensibles contre l'érosion hydrique et amélioration de leur état structural ; enrichissement du sol en MO ;
- Séquestration de carbone et d'azote organiques dans le sol et donc, effet globalement positif sur les émissions de GES qui sont diminuées (Justes *et al.,* 2012) ;
- Selon Justes *et al.* (2012), le bilan des effets des couverts d'interculture sur les bioagresseurs est également globalement positif sous le double jeu, d'une part, d'un effet de compétition et de propriétés parfois allélopathiques du couvert qui limitent les adventices et les ravageurs telluriques, et, d'autre part, des effets biocides de certaines crucifères qui régulent certains nématodes nuisibles.

[44] Cette pratique élémentaire a également été listée et analysée dans le cadre des MP Travail du sol et gestion de l'état de surface d'une part, Gestion de l'eau et sa qualité d'autre part.

Elle présente également des inconvénients :

- Coût d'implantation et de destruction du couvert, ce qui entraîne une dégradation des différentes performances économiques de l'exploitation : rentabilité, VA, EBE, RCAI (Labreuche, 2011) ;
- Consommation d'eau potentiellement handicapante pour la recharge hivernale des nappes ou en situation de déficit hydrique au niveau de la culture suivante ;
- Augmentation du temps de travail au travers de la conduite du couvert d'interculture (semis et destruction).
- Création de conditions favorables au développement de certains bioagresseurs comme les limaces.

Cultures intermédiaires compagnes

En lien avec la pratique élémentaire « implanter des couverts végétaux d'interculture à fonction agroécologique », une technique alternative consiste à introduire un couvert intermédiaire en association temporaire avec une culture de rente. Les résultats les plus intéressants ont été obtenus sur colza en association temporaire avec un couvert gélif de légumineuses (lentille, gesse, fenugrec, pois, féverole, vesce, etc.), plus rarement avec d'autres familles (sarrasin, cameline, etc.).

Les couverts associés peuvent répondre à plusieurs objectifs : aider à contrôler les adventices (lentilles, sarrasin, etc.) ; participer à la restructuration du sol par son système racinaire (féverole, gesse, etc.) ou encore fournir de l'azote au colza au printemps (légumineuses). En automne, le couvert se développe au côté du colza. En hiver, le gel détruit le couvert sans recours aux herbicides afin qu'il ne concurrence pas le colza au printemps et au contraire lui fournisse de l'azote par une minéralisation rapide (Labreuche, 2011).

B1.3 - Diversifier les périodes d'implantation des cultures

Cette pratique élémentaire consiste à alterner les cycles de culture des espèces semées (cultures d'automne ou d'hiver avec semis d'août à décembre pour une récolte en juin - juillet, cultures de printemps avec semis de janvier à fin mars pour une récolte lors de l'été suivant, cultures d'été avec semis en avril - mai pour une récolte durant l'automne suivant). Cette alternance permet de perturber de façon significative les cycles des bioagresseurs, notamment la flore adventice, et donc de limiter leur pression sur les cultures (Dongmo et Munier-Jolain, 2011). On notera par ailleurs que cette pratique élémentaire ne concourt pas systématiquement à une diversification des successions culturales car elle peut s'inscrire dans une rotation à deux composantes seulement, par un exemple un blé dur au titre de culture d'hiver et un tournesol au titre de culture d'été. Le déploiement de cette pratique élémentaire est très dépendant du milieu, en particulier la ressource hydrique et/ou la capacité à travailler les sols à différentes périodes.

Diversifier les périodes d'implantation des cultures peut exiger le recours à des matériels spécifiques, notamment pour le semis, les cultures d'été étant en général implantées avec de grands écartements et à faible densité ce qui requiert l'utilisation de semoirs de précision, et/ou pour la récolte, comme le chanvre qui exige des barres de coupe particulières en raison du caractère très fibreux des tiges. Donc, et avec des intensités variables selon les espèces implantées, les charges variables de production ont tendance à augmenter. Toutefois, la généralisation des semoirs de précision y compris en culture d'hiver, avec des écartements et des densités de semis sur une gamme très large, vient affaiblir cet argument défavorable.

Cette pratique élémentaire a un impact variable sur la production de l'exploitation qui dépend totalement du choix des espèces utilisées, ainsi que des conditions pédoclimatiques. Les exploitations situées en sols séchants et n'ayant pas de possibilité d'irrigation auront des difficultés lors de la mise en œuvre de cette pratique élémentaire, avec une conséquence négative sur la production. Ces exploitations devront alors choisir les espèces les plus adaptées à une telle contrainte, le sorgho par exemple dans le cas cité ici. Les effets sur la rentabilité, les divers soldes de gestion et l'autonomie productive de l'exploitation sont également ambigus, variables en fonction des caractéristiques des cultures ainsi introduites dans la rotation et l'assolement, de la valorisation possible des produits récoltés sur les marchés et/ou en autoconsommation ainsi que des conditions de milieux. La prise en compte des effets précédents (impact positif ou négatif sur la culture

suivante du fait de la modification de l'état structural, de la fertilité ou de la pression adventices) peut conduire à atténuer un bilan qui serait défavorable en considérant la culture seule. Ainsi, dans une rotation à base de blé tendre d'hiver, l'introduction d'un pois de printemps permet d'atteindre des gains de rendement de 8 quintaux par hectare sur le blé qui suit relativement à un régime de précédent blé. Cependant, la quantification de ces effets précédents est rare et ne sépare pas ce qui vient des caractéristiques de l'espèce versus de l'alternance des dates d'implantation. Dans tous les cas, la prise en compte du potentiel de valorisation sera un élément essentiel du choix d'introduction d'une culture nouvelle.

Selon les cultures de diversification sélectionnées, les résultats sur les performances économiques (rentabilité et soldes de gestion) de l'exploitation peuvent être sensiblement différents. Ainsi, obtenir un contrat de légumes de plein champ ou de pommes de terre entre bien dans le cadre de la diversification et aura pour effet certes d'augmenter les charges variables, mais aussi d'augmenter le chiffres d'affaires et la marge brute. A l'inverse, l'introduction du chanvre aura pour effet une réduction des charges variables car cette culture demande très peu d'intrants.

La diversification des périodes d'implantation des cultures permet d'étaler les phases de pointes de travail. Comme certaines cultures de diversification peuvent exiger des matériels spécifiques, pour le semis et/ou la récolte, l'impact de la pratique élémentaire sur l'endettement est donc jugé nul ou négatif. La mise en œuvre de démarches collectives de diversification autour d'un marché local nouveau permet de mutualiser ces investissements. C'est le cas, par exemple, des productions de chanvre dans l'Aube et en Poitou-Charentes où les investissements de récolte ont été mutualisés.

L'alternance des périodes d'implantation des cultures permet d'introduire des légumineuses et si tel est le cas, de réaliser des économies significatives d'engrais azotés et de réduire fortement les consommations indirectes d'énergie fossile associées à ce poste. Elle permet d'allonger les périodes de couverture du sol et ainsi de limiter les risques d'érosion et d'augmenter le taux de MO des sols. Elle permet aussi de réduire les risques de contamination des eaux par pollutions diffuses du fait de lessivage et/ou de ruissellement (Schaller, 2012). De fait, la pratique élémentaire aurait un effet bénéfique sur la qualité de l'eau par diminution des apports / émissions de nitrate, de phosphore et de produits phytosanitaires. Pour ce qui est de la protection phytosanitaire, la pratique élémentaire permet en effet de briser les cycles des adventices et ainsi de limiter le recours aux herbicides, ceci en empêchant la spécialisation des flores adventices.

Les impacts sur les performances liées à l'utilisation des ressources fossiles et à la protection de l'environnement (consommations d'énergie directe et d'eau d'irrigation, émissions de GES et de NH_3) dépendent des cultures de diversification choisies. Ainsi, certaines cultures de diversification, en particulier les cultures de printemps ou d'été cultivés à grands écartements (tournesol, sorgho) permettront de réaliser des désherbages mécaniques au prix alors d'une consommation augmentée de carburant, mais qui reste néanmoins limitée. La diversification avec des légumineuses, par exemple des légumineuses de printemps dans des rotations dominées par des cultures d'hiver, permettra d'améliorer l'ensemble de ces performances associées à l'utilisation des ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement.

L'impact de la pratique élémentaire sur le temps de travail et sa pénibilité met en jeu plusieurs canaux : diminution des périodes de surcharge par meilleure répartition des travaux sur toute l'année ; fragmentation de certains chantiers, le chantier de pulvérisation par exemple, ce qui peut conduire à augmenter le temps de préparation des outils et les déplacements ; augmentation du temps d'observation et d'apprentissage des cultures de diversification ; etc. De façon générale, l'impact sur le travail est donc jugé négatif ou neutre. Dans tous les cas, et au moins durant la phase initiale de mise en œuvre d'assolements plus diversifiés, le niveau de complexité augmente et tend à augmenter l'aversion au risque.

On notera enfin que la diversification des cycles culturaux offre une plus grande possibilité d'introduire des cultures intermédiaires, avec en conséquence une synergie avec les deux pratiques élémentaires précédentes. Ceci permettra à une rotation combinant des espèces à cycles de culture différents de bénéficier aussi des services environnementaux des cultures intermédiaires : maîtrise des pertes d'azote et recyclage de fertilité, rupture des cycles d'adventices et des cycles parasitaires.

B1.4 - Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce

En lien avec la précédente, cette quatrième pratique élémentaire relative au choix des successions culturales consiste à allonger le délai de retour d'une culture sur elle-même et sur une même parcelle. Cette pratique élémentaire, relative au choix des successions culturales est aussi l'une des pratiques élémentaires constituant la méta-pratique «Protection phytosanitaire des cultures». Du point de vue phytosanitaire, son but est d'éviter des pressions de sélection et conditions de milieu favorables à certains bioagresseurs qui sont à la fois (i) inféodés à la parcelle et plus particulièrement au sol (adventices, nématodes, parasites telluriques, certains insectes ou mollusques, etc.), et (ii) spécifiques d'une espèce ou d'un groupe d'espèces cultivées. A contrario, la diversification et l'alternance des cycles culturaux permettent de rompre l'enchaînement en spirale des cycles de développement d'un même bioagresseur. Ainsi les travaux de Munier-Jolain et *al.* ont démontré que l'allongement et la diversification des rotations en protection intégrée évitaient la spécialisation de la flore adventice. De plus, la gamme élargie de cultures permet d'élargir les gammes herbicides et fongicides disponibles.

Les impacts sur les différentes performances de l'exploitation sont qualitativement identiques à celles de la pratique élémentaire précédente. Tout en invitant le lecteur à se référer à la pratique élémentaire « diversifier les périodes d'implantation des cultures » pour plus de détails et d'explications, on retiendra donc qu'augmenter le nombre d'espèces de la rotation permet d'accroître, au pire de laisser inchangées, les performances environnementales liées aux compartiments sol (à l'exception possible du compactage du sol) et eau, ainsi que celles liées à la préservation de la biodiversité. A l'exception de la consommation indirecte d'énergie fossile qui est réduite, les impacts de cette pratique élémentaire sur les autres performances (productivité, rentabilité, soldes de gestion, autonomie productive, consommation directe d'énergie, consommation d'eau d'irrigation, consommation de phosphore, temps de travail et sensibilité aux aléas) dépendent clairement du choix des espèces utilisées pour allonger la rotation.

Cette analyse débouche sur l'idée que les critères de choix des espèces entrant dans une succession (et pris en compte par l'agriculteur lors de la fixation des assolements) devraient dans l'idéal inclure les « services écosystémiques » que constituent potentiellement les effets-précédents et/ou effets-suivants propres à ces espèces, tout particulièrement ceux liés à la nature et au cycle de développement des bioagresseurs et auxiliaires. Cela suppose d'une part que les critères en question puissent être mieux identifiés et décrits que ce n'est le cas aujourd'hui, d'autre part que leur poids face à des critères d'attractivité économique susceptibles de favoriser les espèces principales au détriment des espèces « de diversification », puisse être éventuellement renforcé par des mesures appropriées.

B2 - Choix de l'assolement

B2.1 - Augmenter le nombre d'espèces cultivées de l'assolement

Cette pratique élémentaire vise à augmenter le nombre et donc la diversité des espèces cultivées sur la sole de l'exploitation. Ses impacts sur les différentes performances de l'exploitation sont qualitativement (même signe) identiques à ceux des deux pratiques élémentaires précédentes ; ils ne sont donc pas ici détaillés.

B2.2 - Mettre en place des assolements en commun

Cette pratique élémentaire consiste à mettre en commun son assolement avec un ou plusieurs agriculteurs voisins. Cette mise en commun peut être favorable au regard des performances économiques et environnementales dès lors que sont ainsi associés des systèmes de cultures contrastés, par exemple, des grandes cultures et des prairies temporaires : le producteur de grandes cultures pourra valoriser auprès de l'éleveur la paille de ses parcelles, qu'il a du mal sinon à bien rentabiliser, en échange de l'effet précédent de la

prairie temporaire de l'éleveur.[45] Des bénéfices sur le rendement des productions sont donc possibles par une mutualisation optimisée des assolements.

Par ailleurs, cette mise en commun de l'assolement peut aussi permettre de partager une partie du matériel, voire des salariés. En complément de la hausse possible des rendements (cf. supra), la mutualisation des assolements peut donc réduire les charges variables, notamment les charges liées à la fertilisation et au carburant,[46] les frais de personnel et l'investissement en matériel. Les impacts de cette pratique élémentaire sur toutes les performances économiques sont positifs, à l'exception possible de la transmissibilité qu'il est difficile de signer.

La pratique élémentaire a un effet positif, au pire neutre, sur les performances liées à l'utilisation de ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement ; aucun indicateur de ces deux dimensions n'est détérioré.

Elle a enfin un effet positif sur le temps de travail et sa pénibilité (diminution) puisqu'elle permet de mettre en commun travaux et matériels agricoles. De ce fait, et aussi parce que cette mise en commun des assolements permet leur plus grande diversification, au niveau de l'ensemble des exploitations ainsi solidaires, la sensibilité aux aléas est réduite.

Il semble donc que cette pratique élémentaire n'aurait que des avantages. Cela serait oublier que la mise en commun des assolements suppose une organisation préalable des agriculteurs concernés de façon à bien identifier les avantages, et leur partage équitable, mais aussi de façon à partager les contraintes ainsi générées. Il faut également souligner que la mise en œuvre de cette pratique élémentaire se heurte fréquemment à des contraintes administratives de traçabilité des différentes interventions et de responsabilités. Ceci explique que la mise en place d'assolements en commun est très souvent mise en œuvre concrètement sous forme d'échanges de terres ou de matières (échanges croisés de paille et de fumier, par exemple).

B2.3 - Cultiver des plantes de service pour la biodiversité

Cette pratique élémentaire consiste à introduire des bandes enherbées et/ou fleuries au voisinage des cultures. L'objectif premier est de favoriser la biodiversité faunique et floristique, et d'améliorer la qualité des paysages. Cette pratique élémentaire se lit en lien avec « implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle » de la MP Gestion de l'eau et de sa qualité. Ces bandes enherbées et/ou fleuries permettent effectivement de remplir différents services : gestion hydraulique des parcelles, filtration des eaux de ruissèlement, impacts sur la biodiversité, etc.

Les couverts faunistiques regroupent l'ensemble des implantations de couverts favorables à la faune, le plus souvent dans le cadre de dispositifs bénéficiant d'un soutien budgétaire spécifique : jachères environnementales favorables à la faune sauvage, Mesures Agri-Environnementales (MAE) ciblées, comme la MAE Outarde en région Centre, etc. La performance économique « réduire la dépendance aux aides » est donc négativement impactée.

Pour signer les autres performances de cette pratique élémentaire, nous considérons ci-après que ces plantes de service sont implantées sur des emprises foncières en substitution à des cultures, d'où la dégradation des performances productives et économiques de court terme (rentabilité, VA, EBE, et RCAI), à l'exception des charges variables qui diminuent par réduction de la sole cultivée. Il est néanmoins possible de limiter cette dégradation des performances productives et économiques de court terme *via* des aides publiques spécifiques,

[45] On appelle effet précédent la variation des caractères physiques, chimiques et biologiques du sol entre le début et la fin d'une culture, sous l'influence combinée de la plante et des techniques culturales, l'ensemble étant soumis à l'action du climat (Memento de l'Agronome, CIRAD 2009).

[46] En plus des économies d'engrais azotés permises par l'optimisation des effets précédents entre les différentes parcelles de l'assolement mutualisé, des économies de carburant sont également possibles *via* une redistribution des travaux agricoles en fonction de la distance des parcelles au siège des différentes exploitations.

la signature de contrats avec des apiculteurs qui tirent profit de ces plantes de service par augmentation du service de pollinisation, etc. Il est également envisageable de dédier à cet usage les pointes de champ, ce qui permet de disposer ensuite de parcelles productives de formes plus rectangulaires facilitant l'ensemble des travaux agricoles, en particulier l'application de produits phytosanitaires en limitant les recouvrements.

Selon les caractéristiques des espèces végétales utilisées et leur disposition géographique au sein de l'assolement, les plantes de service vont générer des bénéfices environnementaux : réduction des consommations directe et indirecte d'énergie par limitation de la surface cultivée ; amélioration des propriétés du sol, de la qualité de l'eau et de l'état de la biodiversité ; limitation des pertes en phosphore en limitant les érosions de particules fines.

La composition botanique de ces couverts est essentielle pour maximiser les services environnementaux positifs listés ci-dessus. Il sera important de retenir des espèces à croissance verticale importante et compétitive pour éviter la prolifération d'adventices qui contamineraient les cultures proches, à floraison abondante et longue et pouvant être entretenus à l'aide d'une fauche annuelle. La préférence est généralement donnée à des espèces annuelles ; en région Centre par exemple, dans le cadre de la MAE outarde mentionnée ci-dessus, c'est la luzerne qui a été retenue.

Ces bandes fleuries attirent et favorisent des auxiliaires généralistes et des parasitoïdes qui ont la capacité de limiter les populations de ravageurs de la plante cultivée (CTIFL, 2012). L'utilisation de produits phytosanitaires est donc réduite.
L'implantation et l'entretien de ces zones ensemencées de plantes de services exigent une certaine attention de la part de l'agriculteur, d'où la (légère) détérioration de la performance « temps de travail ». La réduction potentielle des utilisations de pesticides permet de limiter l'exposition de l'agriculteur aux risques.

C - Eléments-clefs à retenir

Au terme de l'analyse de cette MP, la diversification des rotations et des assolements apparaît comme un levier majeur, mais cependant conditionnel, d'amélioration des performances environnementales des exploitations agricoles. Les bénéfices attendus concernent tout particulièrement la qualité de l'eau (*via* notamment une réduction de l'usage des produits phytosanitaires) et la biodiversité (pour la même raison ainsi qu'en lien avec l'augmentation de la diversité végétale dans les parcelles et/ou de l'extension d'habitats favorables à la diversité faunistique et floristique). Des bénéfices importants mais conditionnels peuvent également concerner d'autres rubriques relatives notamment à la protection du sol et à son statut organique, et aux économies indirectes d'énergie. Pour que ces bénéfices s'expriment, il faut que la diversification s'opère selon certaines modalités : accroissement global de la couverture du sol (dans le temps et dans l'espace) pour la lutte contre l'érosion, accroissement de la part des légumineuses pour l'économie d'engrais azoté donc d'énergie fossile.

A l'exception de l'utilisation d'assolements en commun, les pratiques élémentaires de diversification des rotations et des assolements présentent des résultats économiques fortement hétérogènes, dépendants des pratiques élémentaires et de leurs modalités de réalisation. La seule performance quasi systématiquement améliorée est la robustesse liée à une moindre uniformité des risques de production. En définitive, compte tenu de la forte hiérarchisation actuelle des prix des produits végétaux, et des problèmes agronomiques rencontrés par certaines espèces comme le pois, c'est plutôt la simplification des successions d'assolement qui a été perçue comme sécurisante par la majorité des agriculteurs ; la disponibilité à bas coûts de fertilisants minéraux et de pesticides a favorisé et sécurisé cette simplification.

De même, l'impact sur le temps de travail de l'agriculteur et sa pénibilité est noté positivement uniquement pour la pratique élémentaire « utiliser des assolements en commun ». Les autres pratiques élémentaires

favorisant une diversification des assolements ou des rotations sont donc susceptibles de demander plus de temps de travail et/ou d'observation, voire de demander plus de technicité à l'agriculteur. De ce point de vue, la formation initiale et continue est susceptible de jouer un rôle clé pour favoriser cette diversification.

Au regard des bénéfices environnementaux possibles, il apparaît pourtant (très) intéressant d'inverser la tendance à la simplification des rotations et des assolements, et de construire la diversification en recherchant un enrichissement de leur diversité spécifique et fonctionnelle. En dépit des dispositifs publics mis en œuvre pour favoriser la diversification, notamment dans le cadre de la PAC, force est de constater que ceux-ci ont été globalement inefficaces ; et la mesure de verdissement de la PAC de l'après 2013 relative à la diversification est vraisemblablement trop peu contraignante pour modifier le constat. Plusieurs freins à la diversification des cultures et des assolements peuvent expliquer pourquoi il en est ainsi :

- En premier lieu, les prix de vente plus faibles (et dans certains cas l'étroitesse des débouchés commerciaux) pour les cultures autres que blé et colza d'hiver ou maïs, s'ajoutant parfois à une forte irrégularité des rendements (cas du Pois) pénalisent d'emblée l'attractivité de la diversification pour les agriculteurs.
- En second lieu, les agriculteurs sont souvent réticents à introduire de nouvelles cultures qu'ils ne maîtrisent pas ou peu, ou qu'ils avaient retirées de leurs assolements par manque de compétitivité économique. C'est encore plus vrai dans un contexte réglementaire et économique incertain comme le contexte actuel (volatilité des prix des produits agricoles et des coûts des facteurs de production, incertitudes sur le budget de la future PAC et son contenu, etc.). L'agrandissement de la dimension des exploitations favorise également la simplification, notamment lorsqu'elle se fait par adjonction de blocs éloignés du siège principal.
- En troisième lieu, du fait de leur tendance à l'agrandissement et à la spécialisation, les organismes de collecte et de stockage peuvent également freiner l'engagement des agriculteurs vers des cultures de diversification. En effet, lorsque des coopératives choisissent des cultures de diversification, elles prennent le risque de collecter de faibles volumes qui mobilisent des cellules de stockage mais sans les remplir totalement.
- En quatrième lieu, en amont des exploitations agricole, l'offre de variétés et/ou de solutions de protection des cultures est faible pour les espèces de diversification.
- Enfin, il faut rappeler l'interdépendance des différents acteurs des filières, ce qui tend à limiter très fortement les possibilités de changement.

Ces freins nombreux et variés expliquent qu'une des principales conclusions de l'étude « freins et leviers à la diversification des cultures » (Meynard *et al.,* 2013) est que la diversification repose nécessairement sur la mobilisation simultanée et organisée de nombreux acteurs. Ces auteurs ajoutent que « pour impulser ou faciliter cette mobilisation, l'action publique doit être raisonnée de manière systémique, et combiner différentes mesures complémentaires visant à infléchir les stratégies de différents acteurs et les coordinations entre eux ». Plus précisément, ils proposent :

1/ De soutenir le développement de niches d'innovation pour la construction et la consolidation de filières de diversification. Ces actions auraient pour objectifs :

- De favoriser la mise en place et soutenir des dispositifs de partenariat entre acteurs des filières, de la recherche et développement, du conseil, de la recherche publique, de la sélection et des collectivités locales, pour construire et pérenniser des filières de diversification ;
- De renforcer le dispositif des mentions valorisantes (au premier rang desquelles les signes officiels de qualité) ;
- De soutenir l'innovation technologique et génétique des espèces de diversification ;
- De promouvoir un investissement de l'ensemble du dispositif de recherche et développement agricole français ;
- De promouvoir un observatoire des cultures mineures dans les territoires et de leur place dans les assolements et rotations.

2/ De promouvoir l'intégration des filières de diversification dans le système agricole et agro-industriel, ceci par les biais d'actions visant :

- A susciter une diversification des cultures *via* les règlements de la PAC ;

- A promouvoir des filières de diversification par les marchés publics (restauration collective des établissements publics, etc.) ;
- A inciter à la réduction de l'usage des intrants.

La réflexion sur la diversification ne doit pas se limiter à une diversification *per se*, mais bien en cherchant à maximiser la diversité fonctionnelle des cultures, tout en prenant en compte leur adéquation à différents segments de marché. Les possibilités d'échanges entre agriculteurs et/ou d'assolements en commun offrent également des solutions pour une plus grande diversification spatiale des cultures.

Le principal moteur de la diffusion de la pratique élémentaire « pratiquer des associations de cultures » sera sans doute une optimisation des procédés industriels de triage des mélanges de cultures. Nous ne saurions qu'encourager l'extension de cette pratique élémentaire tant les intérêts agronomiques et environnementaux sont intéressants.

Enfin, pour compenser la baisse des performances économiques liées à la substitution de surfaces productives par des plantes de service pour la biodiversité ou d'autres fonctions environnementales, il apparaît nécessaire de mieux caractériser les services que celles-ci sont susceptibles d'apporter par exemple, en termes de protection des cultures marchandes ; si l'impact économique négatif reste avéré à long terme, leur subventionnement doit / peut être envisagé.

In fine, les deux « leviers » majeurs de la diversification que nous sommes amenés à recommander sont les cultures de légumineuses et les cultures intermédiaires.

Les légumineuses appartiennent à un groupe fonctionnel différent de celui des espèces majeures, en particulier parce qu'elles fixent l'azote atmosphérique par voie symbiotique alors que l'ensemble des autres espèces utilisent l'azote minéral. Il est également possible de choisir les légumineuses pour rompre la monotonie des cycles biologiques associés aux des productions majeures : cultures de printemps quand l'ensemble de la rotation est de type hiver, cultures pérennes comme la luzerne. On peut considérer que la mise en place de cultures associant une légumineuse et une non légumineuse correspond aussi à cette même logique.

Les cultures intermédiaires et les plantes de service sont des composantes intrinsèques des rotations et des assolements. Elles doivent être explicitement prises en compte dans la démarche de recherche de diversité fonctionnelle des rotations et des assolements. Elles offrent des marges de manœuvre encore peu explorées aujourd'hui. Au-delà de la dimension réglementaire obligatoire des CIPAN (Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates) afin de protéger les sols contre l'érosion et éviter les lessivages d'azote, ces cultures constituent aussi une opportunité pour diversifier sans peser sur les performances économiques des exploitations. Dans cette perspective, trois points-clefs doivent être retenus :

- Le choix des espèces utilisées en cultures intermédiaires doit être réfléchi en fonction des services attendus, mais aussi en fonction des espèces productives présentes dans la rotation, et ceci afin de rechercher une maximisation de la diversité fonctionnelle. De ce point de vue, le choix ne doit pas se limiter aux seules espèces pour lesquelles il existe déjà un marché de semences ; il doit être élargi de façon à explorer une diversité taxonomique et fonctionnelle beaucoup plus étendue ;
- Les espèces compagnes sont cultivées en association avec une espèce productive dans le seul but d'apporter un service à cette espèce par phénomène de facilitation ou de complémentarité (apport d'azote si les espèces compagnes sont des légumineuses ; maîtrise des adventices en couvrant les inter-rangs) ;
- L'identification des espèces utilisées, comme la définition des différents types d'usage, vont bientôt pouvoir s'appuyer sur une initiative officielle, entreprise sous l'égide du CTPS, initiative qui vise à favoriser une meilleure définition des différents usages, une lisibilité des démarches d'évaluation. Ceci pourrait et devrait favoriser un élargissement de l'offre spécifique et variétale, au-delà des directives actuelles de commercialisation 66/410 et 66/402.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie									
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Augmenter la production	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité
Choix des successions de cultures et des assolements	Choix des successions de cultures	Pratiquer des associations de cultures	=/+	=/+	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	=/+	+/-	+	=	=
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+/-	=	=/-	+/-	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	=	=	=
		Diversifier les périodes d'implantation des cultures	+/-	=	+/-	=/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	=/-	=
		Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+/-	=
	Choix de l'assolement	Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans l'assolement	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+/-	=
		Mettre en place des assolements en commun	=/+	=	=/+	+	+	+	+	+	+	+	=/+	=
		Cultiver des plantes de service pour la biodiversité	-	=	-	+	-	-	-	+	-	=	=	=

			Ressources naturelles fossiles				Environnement							
			Energie		Quantité d'eau	Phosphore	Sol				Qualité de l'eau			
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires
Choix des successions de cultures et des assolements	Choix des successions de cultures	Pratiquer des associations de cultures	=	=/+	=	=	=	=/+	=/+	=	=/+	=/+	=/+	=
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+/-	=/+	+/-	=	+	+	+	=	+	=/+	+	=
		Diversifier les périodes d'implantation des cultures	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	=/+	=/+	=	=/+	+	=/+	=
		Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	=/+	=/+	=	=/+	+	=/+	=
	Choix de l'assolement	Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans l'assolement	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	=/+	=/+	=	=/+	+	=/+	=
		Mettre en place des assolements en commun	+	=/+	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=
		Cultiver des plantes de service pour la biodiversité	+/-	=/+	=	=	=/+	+	=/+	=	=/+	+	=/+	=

			Environnement								Dimensions sociales			
			Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Choix des successions de cultures et des assolements	Choix des successions de cultures	Pratiquer des associations de cultures	=/+	=/+	=	=	=	+	+	=	+/-	=/+	=	+
		Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agro-écologique)	+	+	=	=	=	+	=	=	-	=	=	=
		Diversifier les périodes d'implantation des cultures	+/-	+/-	=	=	=	+	+	=	+/-	=/+	=	+/-
		Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce	+/-	+/-	=	=	=	+	+	=	+/-	=/+	=	+/-
	Choix de l'assolement	Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans l'assolement	+/-	+/-	=	=	=	+	+	=	+/-	=/+	=	+/-
		Mettre en place des assolements en commun	=/+	=	=	=	=	+	=	=	+	=	=	=/+
		Cultiver des plantes de service pour la biodiversité	=	=	=	=	+	=	+	+	=/-	=/+	=	=

E - Références bibliographiques

BEDOUSSAC L., JOURNET E.P., ROUET P., JUSTES E. 2010. Durum Wheat-Grain Legume intercrops: an innovative way to design low inputs cropping systems. The International Scientific Week around Agronomy, 11th Congress of European Society for Agronomy, AGRO2010, 01/09/2010, Montpellier (France)

BUTAULT J.P., DEDRYVER C.A., GARY C., GUICHARD L., JACQUET F., MEYNARD J.M., NICOT P., PITRAT M., REAU R., SAUPHANOR B., SAVINI I., VOLAY T. (éditeurs). 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Inra (France), 90 p.

CADOT V., LE CLERC V. 2010. Etude de la diversité des variétés inscrites au catalogue français des espèces agricoles cultivées de 1950 a nos jours : exemples du pois et du maïs. *Le Sélectionneur français*, 61, 15-31

DONGMO A.L., MUNIER-JOLAIN N. 2011. Assessment of cropping systems with low herbicide inputs: Technical feasibility and economic profitability at the farm level. *Cahiers Agricultures*, 20, 468-479

FUZEAU V., DUBOIS G., THEROND O., ALLAIRE G. 2012. Diversification des cultures dans l'agriculture française - état des lieux et dispositifs d'accompagnement. Commissariat général au développement durable. Collection « Études et documents », 67, 24 p.

JUSTES E., BEDOUSSAC L., PRIEUR L. 2009. Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéines du blé en Agriculture Biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de cultures associées ? *Innovations Agronomiques*, 4, 165-176

LATZ E., EISENHAUER N., RALL B.C., ALLAN E., ROSCHER C., SCHEU S., JOUSSET A. 2012. Plant diversity improves protection against soil-borne pathogens by fostering antagonistic bacterial communities. *Journal of Ecology*, 100, 597-604

MEYNARD J.M., MESSÉAN A., CHARLIER A., CHARRIER F., FARES M., LE BAIL M., MAGRINI M.B. 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Rapport d'étude, Inra (France), 200 p.

RICARD J.M., GARCIN A., JAY M., MANDRIN J.F. 2012. Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. CTIFL (Ed), 467 p.

SCHALLER N. 2012. La diversification des assolements en France : intérêts, freins et enjeux. Centre d'Etudes et de Prospective. Les publications du service de la statistique et de la prospective, 51, 4 p.

CHAPITRE 7

CONDUITE DES PLANTES ET DES PEUPLEMENTS VÉGÉTAUX

A - Introduction **146**
B - Description par pratique élémentaire **146**
C - Eléments-clefs à retenir **156**
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique **158**
E - Références bibliographiques **159**

CHAPITRE 7
Conduite des plantes et des peuplements végétaux

A - Introduction

Cette MP regroupe un ensemble d'opérations culturales très diverses, ayant en commun de s'exercer directement sur la plante ou le peuplement végétal, et non par l'intermédiaire d'une modification du milieu. Ces opérations consistent à modifier la forme ou la structure des plantes et du peuplement, à contrôler l'effectif d'organes récoltés pour optimiser leur taille et leur composition, et finalement à récolter ces organes. Elles visent à agir sur la répartition des assimilats photosynthétiques au bénéfice des parties récoltées et de leur qualité, à permettre à la plante et au couvert végétal de mieux exploiter les ressources du milieu (énergie lumineuse, réserves hydriques et minérales) et/ou à créer un environnement défavorable au développement des bioagresseurs.

Cette MP traite à la fois de la conduite d'une parcelle de cultures annuelles et de la conduite d'un peuplement de cultures pérennes (verger, vignoble, etc.). Deux pratiques élémentaires ici considérées ne sont d'ailleurs applicables qu'aux seuls peuplements pérennes, la mécanisation de la taille des arbres d'une part, la mécanisation de la récolte d'autre part.[47]

Concrètement, la MP a été divisé en quatre pratiques, chacune composée de plusieurs pratiques élémentaires, soit (i) l'implantation des cultures et la gestion de la structure des peuplements, (ii) la maîtrise de la forme et de la croissance des plantes, (iii) la gestion des opérations de récolte, et (iv) la gestion du pâturage. Elle a des liens forts avec un grand nombre d'autres MP, relevant du domaine végétal mais aussi du domaine animal pour ce qui est de la dernière pratique relative à la gestion du pâturage.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Implantation des cultures et structure des peuplements

L'implantation (initiale) des cultures annuelles est une phase à la fois déterminante et critique. Elle est déterminante dans la mesure où elle conditionne (très) fortement l'ensemble du déroulement ultérieur

[47] La mécanisation de la récolte des cultures annuelles est analysée à travers les agroéquipements utilisés dans le cadre de la MP Choix et gestion des agroéquipements.

du cycle de développement et donc l'exposition aux différents stress, biotiques et abiotiques.[48] Elle conditionne également la structure du peuplement, et donc sa capacité à intercepter le rayonnement ou à contrôler les adventices comme de faire face aux risques physiologiques ultérieurs, par exemple la verse en végétation. C'est aussi une phase critique du cycle pendant laquelle les plantes sont à la fois particulièrement vulnérables et exposées à des risques importants, avec pour conséquence des taux de disparition très variables, pouvant obliger l'agriculteur à re-semer. Or les re-semis sont extrêmement préjudiciables car ils engendrent à la fois des surcoûts et des pertes de rendement importants. Les agriculteurs cherchent donc à sécuriser l'implantation des cultures, notamment en modulant les densités de semis et/ou en recourant à des traitements de semences pour les protéger des maladies, insectes ou prédateurs susceptibles de s'attaquer aux semences et plantules.

La réussite de l'implantation est également une étape très importante chez les espèces pérennes. Si elle ne détermine pas les dates de réalisation des stades physiologiques, elle constitue un choix stratégique qui impose, sans réversibilité, le choix du génotype et, dans une large mesure, la structure ultérieure du peuplement et les composantes du rendement qui lui sont associées.[49]

B1.1 - Adapter densité et structure du peuplement pour éviter les stress biotiques et abiotiques

Cette pratique élémentaire consiste à adapter la densité et les écartements des semis de façon à limiter les risques de stress biotiques (attaques de bioagresseurs) et abiotiques (stress hydrique, carences en éléments minéraux, risques de verse, etc.), tout en valorisant au mieux le rayonnement incident.

Dans le cas des espèces annuelles, le développement de semoirs pneumatiques de précision permet de moduler de façon très précise le semis (écartement entre rangs et sur le rang), y compris pour les espèces d'automne semées à forte densité alors que cet avantage a pendant longtemps été réservé aux cultures à grands écartements (maïs, tournesol) et/ou aux espèces sarclées (betterave). Cette pratique élémentaire permet également d'implanter certaines cultures avec des écartements plus grands, ce qui autorise des interventions mécaniques de contrôle de la flore adventice. Au-delà de l'adaptation de la densité et de la structure du peuplement, c'est, de façon plus générale, la qualité de l'implantation qui joue un rôle majeur en matière de limitation des stress biotiques et abiotiques, et de minimisation de leurs conséquences adverses.

Les impacts sur les performances productives (rendement et qualité de la production) sont variables en particulier en fonction de l'objectif poursuivi ; la pertinence de l'introduction de cette pratique élémentaire, autrement dit, la qualité de l'estimation des risques de stress, conditionnant le résultat de la mise en œuvre de la régularisation de la structure du peuplement, toutes choses égales par ailleurs.

La réduction de la densité de semis et l'accroissement des écartements inter-rangs peuvent se traduire par une diminution des apparitions de bioagresseurs fongiques, mais également par une augmentation de la présence d'adventices du fait de la moindre concurrence au sol : l'effet sur les utilisations de produits phytosanitaires est donc ambigu.[50] Les autres performances environnementales sont impactées positivement, au pire laissées inchangées. La réduction du nombre de plantes au mètre carré permet de réduire les apports d'engrais azotés et ainsi, relativement, de limiter les risques de lessivage de nitrate.

[48] Un stress biotique résulte de l'action d'un organisme vivant sur un autre organisme vivant, ici la culture annuelle ou pérenne, comme, par exemple, l'attaque d'un virus pathogène. Il se différencie du stress abiotique exercé par un changement d'environnement comme, par exemple, des carences en éléments minéraux.

[49] Le génotype d'un individu correspond à sa composition génétique, plus spécifiquement à la composition allélique de tous ses gènes (de son génome). Le phénotype correspond à la réalisation du génotype mais aussi des effets du milieu, de l'environnement, etc.

[50] Analyse toutes choses égales par ailleurs qui illustre, une fois de plus, l'intérêt à raisonner, au-delà de la présente analyse centrée sur une MP et les pratiques élémentaires qui la composent, au niveau des pratiques élémentaires qui « ont intérêt à être mise en œuvre de façon jointe, analyse donc au niveau du système de culture, d'élevage et/ou de production.

Pour la même raison, la consommation directe et indirecte d'énergie et les émissions de GES sont réduites. Les besoins en irrigation peuvent également être moindres du fait d'une diminution de la concurrence sur la ressource eau.

Ces bénéfices environnementaux doivent être appréciés en regard des impacts de la pratique élémentaire sur les performances productives et économiques, impacts qui sont ambigus dès lors que la réduction du nombre de plants au mètre carré n'est pas bien adaptée aux conditions du milieu. Les économies potentielles en termes d'énergie, de produits phytosanitaires, de semences et d'engrais minéraux peuvent, en revanche, permettre de réduire les charges variables et ainsi d'améliorer l'autonomie productive de l'exploitation (Viaux, 1999, Butault *et al.,* 2010).

Les impacts de la pratique élémentaire sur le temps de travail de l'agriculteur et sa pénibilité sont plutôt positifs, l'évitement des stress biotiques et abiotiques pouvant permettre de réduire le nombre d'interventions dans les parcelles. La sensibilité aux aléas climatiques, notamment hydriques, est réduite.

B1.2 - Adapter la structure du peuplement pour améliorer la qualité des produits

Cette pratique élémentaire vise à adapter la structure du peuplement végétal de façon à améliorer les propriétés qualitatives des produits en ayant recours à diverses techniques telles que la diminution de la densité des semis des céréales pour augmenter la teneur en protéines des grains ; l'effeuillage de la vigne de façon à limiter les infections de botrytis et améliorer la qualité (sanitaire et organoleptique) des raisins et du vin ; ou encore la taille et l'arcure des arbres fruitiers qui permettent de maîtriser leur développement, la régularité de la fructification et de modifier le micro-climat lumineux intra-arbre.

Par hypothèse, l'impact de la pratique élémentaire sur la qualité des produits est positif ; il est négatif, au mieux neutre, sur le rendement. Les effets sur les performances économiques sont à analyser au cas par cas, production par production : si l'augmentation de la qualité des produits finaux est suffisamment bien valorisée, alors il y a augmentation des performances économiques (rentabilité, VA, EBE et RCAI) ; si tel n'est pas le cas, il y a alors dégradation de ces mêmes performances économiques. On mentionnera ici le cas spécifique du tournesol : des travaux récents (Champolivier *et al.,* 2011) ont montré que la réduction de la densité du semis conduit d'abord à une réduction de la qualité des graines (teneur en huile), puis à une réduction du rendement, deux effets contraires qui font que la fenêtre de densité du semis est (très) étroite. Dans le cas des fruits en revanche, c'est le calibre qui a l'effet prédominant dans l'accroissement de performance économique bien avant le volume produit.

Si l'amélioration de la qualité des produits passe par une réduction des intrants chimiques, notamment des engrais minéraux et des produits phytosanitaires, comme c'est le cas si la densité de semis est réduite, des bénéfices environnementaux sont possibles : réduction des consommations directe et indirecte d'énergie ; baisse de la consommation d'eau d'irrigation ; diminution des utilisations / émissions de nitrate et de produits phytosanitaires ; réduction des émissions de GES. Mais, quand l'amélioration de la qualité des produits passe par une augmentation du nombre de passages dans les parcelles (comme c'est le cas pour l'effeuillage de la vigne), les bénéfices environnementaux sont moins nets et évidents et la charge de travail peut être accrue. L'impact sur la sensibilité face aux aléas est ambigu.

B1.3 - Adapter la structure du peuplement pour diminuer les temps de travaux

Cette pratique élémentaire consiste à structurer le couvert de manière à faciliter le recours à des outils mécanisés (pour la taille, l'éclaircissage, la récolte, etc.), plus particulièrement en arboriculture et en viticulture. Le premier bénéfice est économique, plus spécifiquement une réduction des coûts de mécanisation et de main d'œuvre.

Adapter la structure du peuplement dans un objectif de diminution des temps de travaux peut dégrader les performances productives, sur les deux plans quantitatif et qualitatif, du fait d'une mécanisation

augmentée mais pas toujours adaptée à la structure du peuplement (par exemple, dans le cas de vigne, avec alors récolte de toutes les grappes, y compris les non « consommables »). Les effets sur la rentabilité et la VA sont donc ambigus ; les effets sur l'EBE et le RCAI sont neutres ou positifs du fait de la diminution des charges salariales et ceci même si l'endettement peut augmenter dans certains cas du fait d'investissements matériels (endettement qui pèse sur le RCAI mais pas sur l'EBE). L'autonomie productive augmente ou est inchangée ; la dépendance aux aides diminue.

Les performances en matière d'utilisation des ressources fossiles et de préservation de l'environnement sont peu impactées, à deux exceptions négatives : augmentation de la consommation directe d'énergie et des émissions liées de GES, qui ne sont d'ailleurs pas systématiques : pour certaines cultures, les matériels et modalités d'intervention utilisés sont moins coûteux en énergie (semis « à la volée » pour céréales ou cultures intermédiaires). *A contrario*, le temps de travail et sa pénibilité sont réduits.

B2 - Maîtrise de la forme et de la croissance des plantes

B2.1 - Se passer des régulateurs de croissance

Les régulateurs de croissance sont des produits contenant des hormones de croissance qui, appliqués au couvert, modifient sa morphologie. Dans cette pratique élémentaire, nous considérons davantage le cas des grandes cultures soumises au problème de verse. Le cas des cultures pérennes est traité dans la pratique élémentaire suivante.

Pour éviter l'usage des régulateurs de croissance, il est possible de prévenir les risques de verse en amont en jouant sur plusieurs leviers : choix de variétés naines ou peu sensibles à la verse, rationalisation de la fertilisation azotée des cultures, réduction de la densité de semis, moindre recours à l'irrigation, etc.

L'utilisation de régulateurs de croissance n'a pas nécessairement d'impacts sur le rendement, mais l'absence de traitements en situation de risques peut occasionner des difficultés de récolte et donc, une baisse de la production quantitative et qualitative. Les charges variables liées à l'achat de régulateurs de croissance sont certes économisées, mais les résultats économiques dépendent de l'évitement, ou pas, des épisodes de verse. Une impasse systématique sur les régulateurs de croissance induit donc une plus grande sensibilité aux aléas climatiques, et s'en passer a un effet ambigu sur la rentabilité, la VA, l'EBE et le RCAI, ainsi que sur la dépendance aux aides. L'autonomie productive est améliorée.

La pratique élémentaire permet de diminuer le nombre de traitements dans les parcelles et de ce fait, entraîne une réduction de la consommation directe d'énergie et des émissions associées de GES. Elle permet aussi de réduire l'utilisation totale de produits phytosanitaires et les rejets de polluants organiques et ainsi, par hypothèse, de réduire la perturbation de l'écosystème.
Parmi les performances en matière d'utilisation de ressources fossiles et de préservation de l'environnement, celles qui sont impactées le sont positivement.

La pratique élémentaire peut se traduire par une augmentation du temps d'observation des parcelles afin de juger de l'opportunité d'utiliser ou non un régulateur, et par une augmentation du temps de récolte si une verse se produit effectivement ; à ces deux effets, s'ajoute une plus grande anxiété pour l'agriculteur par crainte que sa culture verse.

B2.2 - Pratiquer un éclaircissage alternatif à l'éclaircissage chimique

L'éclaircissage des arbres consiste à limiter le nombre de fruits en formation afin de favoriser la croissance des fruits subsistants, technique qui permet d'obtenir des fruits du calibre recherché et de maximiser le

rendement. La pratique élémentaire permet aussi d'éviter le développement du phénomène d'alternance (des arbres produisant une année sur deux) et donc, favorise la régularité temporelle du rendement.

Elle est généralement mise en œuvre sous forme d'un régulateur de croissance chimique, qui renforce la régulation hormonale endogène, cet éclaircissage précoce au moment de la nouaison pouvant être suivi d'un éclaircissage manuel ultérieur. L'application de régulateurs chimiques nécessite d'intervenir à des stades physiologiques précis et exige une certaine technicité.

L'éclaircissage manuel ou mécanique des arbres (secouage ou vibrage des arbres, fouet rotatif) en substitution à l'éclaircissage chimique diminue les charges variables associées à l'utilisation de produits chimiques de synthèse mais augmente les charges variables de main d'œuvre et/ou de mécanisation ; au total, les charges variables s'accroissent, l'effet d'augmentation dominant l'effet de diminution. L'impact sur le rendement est plutôt négatif, au mieux neutre (l'intervention chimique permettant d'intervenir plus précocement que l'éclaircissage mécanique et de réduire la concurrence entre les jeunes fruits), celui sur la qualité des produits peut également être négatif (risques de blessures des fruits qui dégradent leur qualité visuelle). L'impact sur les performances productives (rentabilité et soldes de gestion) est ambigu selon que la valorisation des produits dans le cadre de circuits de distribution à plus forte valeur ajoutée, circuits en AB par exemple, permet, ou pas, de compenser l'accroissement des charges variables. Dans le cas d'un éclaircissage mécanique, les investissements d'équipement nécessaires peuvent être significatifs (Roche *et al.* 2010), avec augmentation corrélative de l'endettement.

Les principaux bénéfices attendus du recours à cette pratique élémentaire sont liés à la réduction de l'utilisation de produits chimiques de synthèse qui diminue l'exposition aux risques sur les plans de l'environnement (moindre volatilisation de produits dans l'atmosphère) et de la santé de l'utilisateur.
La sous pratique permet donc de réduire les utilisations de produits phytosanitaires, de diminuer les rejets de polluants organiques et de réduire la perturbation de l'écosystème, au prix d'une augmentation possible de la consommation directe d'énergie et des émissions liées de GES (éclaircissage mécanique).

La pratique élémentaire se traduit par une augmentation de la charge de travail de l'arboriculteur et par une plus forte sensibilité aux aléas, surtout économiques, car elle est gourmande en temps de travail (notamment dans le cas de l'éclaircissage manuel) et parfois risquée (blessures du végétal par les outils mécaniques). On notera les efforts croissants des acteurs du machinisme dans l'objectif de développer des équipements de plus en plus efficaces de conduite de l'éclaircissage mécanique, sans dommages pour le végétal. Les inconvénients susmentionnés sont donc susceptibles de diminuer dans un avenir proche.

B2.3 - Mécaniser la taille

La mécanisation de la taille des cultures pérennes (arbres fruitiers, vigne, etc.) ne remplace pas seulement le geste et l'effort physique de l'opérateur : elle court-circuite les opérations mentales relatives au choix des rameaux sectionnés et à la forme recherchée, tout en libérant une importante quantité de travail. Le recours à cette pratique élémentaire va donc modifier la conduite d'ensemble du système de culture et le système lui-même dans un cadre où l'exploitant sera simultanément amené à revoir sa stratégie en matière de quantité et de qualité des produits, ainsi que de leur valorisation potentielle (prix). Autrement dit, la mécanisation de la taille doit se raisonner en fonction d'un objectif produit/segment de marché.

En arboriculture (pomme), les travaux sur la mécanisation de la taille ont vu le jour il y a plus de vingt ans ; ils n'ont pas donné lieu à un développement important de la technique. Les raisons sont diverses, la principale étant l'impact négatif sur le rendement et le calibre des fruits. La question est alors de savoir si l'adaptation des variétés et/ou de la densité du peuplement permettraient, ou pas, de limiter cet impact négatif. Des travaux de recherche sur la mécanisation de la taille du pommier sont poursuivis par le CTIFL sur le site expérimental de Lanxade (Masseron, 2002).

On mentionnera également les études conduites dans ce domaine sur le verger de pêche. Parce que le pêcher fleurit sur les bois d'un an que la taille est le premier poste des coûts variables, des travaux ont été menés dans l'objectif d'analyser les conséquences d'une taille par coupe des arbres à une hauteur de 50 centimètres tous les 3 ans (Hilaire et Ruesch, 2012). Cette technique conduit à ne pas avoir de production l'année de la coupe et une production les deux années suivantes. La coupe en année 3 permet de ramener les arbres à une hauteur qui rend possible la récolte sans équipement. La production totale sur les trois années est alors réduite, mais cette baisse peut, sur le plan économique, être compensée par les économies de main d'œuvre. Sur deux des trois cultivars testés, la qualité des fruits est négativement affectée avec un pourcentage réduit de fruits aux calibres commerciaux / commercialisés. On notera néanmoins que les trois cultivars testés ont été choisis sur la base de leur importance commerciale, et non en fonction de leur « réponse » à cette technique.

En vigne, la mécanisation de la taille pourrait, selon une étude de l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV), assurer un gain moyen de rendement d'un peu plus de 40% relativement à une taille manuelle, avec une qualité des raisins et des vins égale ou légèrement inférieure ; la protection phytosanitaire est inchangée, l'étude n'ayant pas révélée de différences notables en matière de sensibilité à l'oïdium ou au botrytis (Caboulet *et al.,* 2012).

Au total, il apparaît que la mécanisation de la taille a un effet ambigu sur le rendement (positif en vigne, plutôt négatif en arboriculture) et un effet négatif, au mieux neutre, sur la qualité des produits de récolte. L'impact sur les performances économiques (rentabilité, soldes de gestion, autonomie productive et dépendance aux aides) est également ambigu ; celui sur l'endettement est négatif du fait des investissements dans les matériels de taille. L'augmentation des charges de mécanisation est à mettre en balance avec la diminution des coûts de main d'œuvre.

La mécanisation de la taille détériore quelques performances énergétiques et environnementales : augmentation de la consommation directe d'énergie et des émissions liées de GES, risques de compactage des sols en hiver. En contrepartie, le temps de travail et sa pénibilité sont améliorés.

B3 - Gestion des opérations de récolte

Les opérations de récolte sont une étape cruciale du cycle productif. Elles constituent donc une phase d'autant plus délicate que le produit récolté présente des risques élevés de dégradation, et que les jours disponibles pour réaliser les chantiers dans de bonnes conditions sont peu nombreux du fait des conditions climatiques.

Certaines productions présentent à la récolte des risques de dommages liés au matériel de récolte, risques qui requièrent une réduction des débits de chantier et/ou une évolution des équipements. On mentionnera de ce point de vue l'exemple des tubercules de pomme de terre avec investissement important des industriels du machinisme dans de nouveaux équipements de récolte. L'évolution des arracheuses de pomme de terre conduit à ne pas rechercher une élimination maximale de la terre lors de l'arrachage, ceci permettant d'accélérer les débits de chantiers. Par contre, ceci est compensé par l'utilisation de déterreurs très efficaces sur le lieu de stockage fonctionnant à poste fixe. Ceci peut être complété par les dispositifs de ventilation dans les espaces de conservation qui vont permettre de contrôler l'humidité des tubercules tout au long du stockage, sans pouvoir toutefois réduire l'évolution de la teneur en sucres réducteurs. De la même façon, l'arrachage des betteraves constitue un enjeu important car fréquemment effectué en conditions humides. Or la terre présente sur les racines est préjudiciable au fonctionnement des sucreries. Cette tare terre qui était fréquemment de 20% en 1995 et qui est d'environ 10-12% aujourd'hui doit donc être réduite au maximum. Aussi, on voit se généraliser les dispositifs de déterrage lors de l'enlèvement des tas de betteraves en vue de leur acheminement en sucrerie. Les équipements les plus récents sont des déterreurs-avaleurs disponibles depuis 2009 qui permettent le chargement direct des camions.

On mentionnera en outre que la récolte représente un poste de dépenses élevé pour de nombreuses productions ; il en est ainsi, plus particulièrement, des légumes (industriels et de maraîchage), des fourrages (produits pour lesquels le stade phénologique et la valeur alimentaire évoluent rapidement), des fruits ou encore la vigne.

B3.1 - Améliorer l'organisation des chantiers de récolte

En fonction des cultures implantées, des surfaces emblavées, des caractéristiques techniques de son matériel, de sa disponibilité, etc., l'agriculteur cherchera à organiser le chantier de récolte de façon à minimiser la durée de celui-ci, réduire les coûts, préserver la qualité des produits récoltés, etc. Comme mentionné en préambule à l'analyse des performances relevant de cette pratique (cf. supra), la période de la récolte est une période cruciale, ceci d'autant plus que « la fenêtre de tir » peut-être (très) brève. En production fruitière, l'étalement des périodes de maturité des produits récoltés, par un choix adapté d'espèces et de variétés, peut permettre de répartir sur un temps plus long ce pic d'activité, et ainsi réduire la charge et pénibilité du travail du moment. Plus généralement, l'entraide et/ou le recours à des entreprises extérieures peuvent aussi aider à faire face à ce pic d'activité.

Une meilleure organisation du chantier de récolte joue peu sur le rendement ; elle peut en revanche assurer une meilleure qualité de la récolte (meilleures conservation et qualité de l'ensilage de maïs et d'herbe, par exemple) et par ce biais, peut permettre une plus grande valorisation de celle-ci. Toutes les performances économiques de court terme sont améliorées (rentabilité, soldes de gestion, autonomie productive et (moindre) dépendance aux aides), ceci grâce à la meilleure qualité de la récolte et dans certains cas, à la réduction des charges de mécanisation, potentiellement aussi des charges de main d'œuvre.

La meilleure organisation du chantier de récolte permet d'optimiser les temps des travaux et ainsi, de réduire la consommation directe d'énergie et les émissions associées de GES. L'étalement des périodes de chantiers permet également de réduire les risques de compactage des sols humides, et de diminuer la sensibilité aux aléas.

On mentionnera néanmoins que l'amélioration de l'organisation des chantiers de récolte peut requérir des investissements spécifiques et ainsi, dégrader l'endettement. Parmi ces investissements, il y a en premier lieu les équipements qui permettront à l'agriculteur de disposer des informations indispensables à la prise de décision relatives aux dates d'intervention et à la planification des chantiers. Ce besoin d'équipements peut, le cas échéant, être pris en charge par un autre acteur de la filière, ce qui permet de diminuer le coût pour l'agriculteur. C'est le cas en production de légumes industriels où l'industrie prend en charge la planification des chantiers de travail, planification qui s'étend d'ailleurs de la date de semis jusqu'à la récolte puisque la durée du cycle des légumes industriels (essentiellement, pois, haricots et carottes) est court. Le deuxième type d'investissements correspond aux investissements de récolte qui peuvent être nécessaires pour une organisation optimisée. Une situation plus extrême est celle où la nécessité d'optimiser l'organisation de la récolte en vue de préserver la qualité des produits conduit à basculer dans un système de production très différent. A titre d'exemple, on mentionnera le séchage en granges des fourrages (Huyghe et Delaby, 2013) : il y a alors modification totale de l'ensemble du dispositif, en passant d'une conservation sous forme de foin ou d'ensilage à des cellules de stockage ventilées avec chargement et déchargement, cellules qui requièrent des investissements conséquents dans l'objectif d'améliorer la qualité des produits récoltés, de réduire la charge de travail, d'accroître l'autonomie productive et de réduire la sensibilité aux aléas. En revanche, selon les modifications opérées sur le système, celui-ci peut alors potentiellement être moins performants en termes de charges de mécanisation ou de consommation directe d'énergie.

B3.2 - Mécaniser la récolte en viticulture et arboriculture

Cette pratique élémentaire concerne plus spécifiquement les productions de la vigne et de l'arboriculture ; elle consiste à remplacer la récolte manuelle des fruits et des grappes, phase forte

consommatrice de main d'œuvre[51] mais permettant d'augmenter la qualité des produits de récolte, par une récolte mécanisée.

La récolte mécanisée est réalisée à l'aide de matériels adaptés. Ces équipements sont aujourd'hui très courants en viticulture (machines à vendanger) ; ils nécessitent des adaptations au sein des parcelles : meilleur palissage des végétaux et état sanitaire irréprochable des récoltes ; de fait, tous les cépages ne présentent pas la même aptitude à la récolte mécanique. RHG : peut-on en dire plus dans une perspective d'application de la pratique élémentaire aux différents vignobles français. Les équipements de mécanisation de la récolte sont moins fréquents en arboriculture ; néanmoins, on mentionnera les cas des fruits secs (noyers, amandiers) et des mirabelles où la récolte est assurée par vibration de l'arbre.

Les impacts de cette pratique élémentaire sur les performances de l'exploitation sont assez proches de ceux de la pratique élémentaire B2.3 « mécaniser la taille » (cf. supra). L'impact sur le rendement est neutre et l'impact sur la qualité des produits de récolte est négatif, au mieux neutre. Les impacts sur les performances économiques dépendent étroitement des modes de valorisation des produits envisagés / possibles, à l'exception (i) des charges variables qui diminuent du fait des économies potentiellement très fortes de main d'œuvre et (ii) des charges d'endettement qui augmentent du fait des investissements nécessaires à l'acquisition du matériel. Ainsi, par exemple, il y aura diminution de la VA si la mécanisation de la récolte s'accompagne d'une baisse trop forte de la qualité du produit ; à contrario, la mécanisation s'accompagnera d'une augmentation de la VA dans les exploitations où les coûts de main d'œuvre liés à la récolte sont un poste majeur de dépenses et où la qualité des produits de récolte sera peu impactée négativement.

La pratique élémentaire entraîne une augmentation de la consommation directe d'énergie et des émissions liées de GES ; elle peut augmenter les risques de compactage du sol. Le temps de travail et sa pénibilité sont réduits.

B4 - Gestion du pâturage

B4.1 - Alterner pâturage et fauche pour réduire les pertes de nitrate

L'alternance de la fauche et du pâturage sur une parcelle de prairie temporaire ou permanente répond à l'objectif d'utiliser au mieux la croissance de l'herbe pour couvrir les besoins des animaux.
En effet, alors que les besoins des animaux répondent à leurs niveaux de production, notamment en production laitière, la production de fourrages présente une saisonnalité très grande : croissance nulle en hiver, sauf dans les régions les plus douces du Sud-Ouest (Pays Basque) ou de la Bretagne ; croissance très forte au printemps, en particulier au moment de l'épiaison des graminées ; et ralentissement marqué en été, mais plus ou moins fort en fonction des contraintes hydrique et thermique ; et enfin, niveau plus élevé en automne.

L'ajustement entre la demande des animaux et l'offre alimentaire issue des prairies s'opère par le chargement animal (nombre d'unités animales par unité de surface, ou surface disponible par animal) et par le retrait de certaines parcelles. Ce retrait de la surface pâturée conduit à ce que certaines parcelles vont alors être récoltées pour constituer des stocks, sous forme de foin et/ou d'ensilage. Les parcelles ainsi retirées au printemps sont progressivement réintégrées dans le circuit de pâturage pour répondre aux besoins des animaux.

L'alternance du pâturage et de la fauche sur une partie des parcelles permet, c'est son objectif, de réaliser l'ajustement entre les besoins des animaux et l'offre alimentaire des prairies. La technique implique une

[51] On notera ainsi que pour certaines espèces de pomme, les arboriculteurs réalisent jusqu'à huit passages pour récolter les fruits à un stade de maturité optimale.

adaptation de la composition floristique de la prairie à ce double usage. Dans le cas de prairies temporaires, il s'agira d'espèces capables d'accumuler de fortes quantités de biomasse sans une trop grande dégradation de la qualité ; seront ainsi privilégiées des espèces comme le dactyle et la fétuque élevée, en les associant à des légumineuses, notamment du trèfle blanc de type intermédiaire.[52]

Relativement à l'approche standard décrite ci-dessus, la pratique élémentaire ici considérée consiste à augmenter l'utilisation de la fauche de façon à limiter les restitutions animales au pâturage (déjections) et donc, l'apport d'azote et de nitrate. La pratique élémentaire ainsi définie a tout son intérêt dans des zones à forte pression environnementale avec un excès structurel d'azote et de nitrate important. Elle est combinée à un maintien du niveau de fertilisation azotée, et pas à son augmentation.

Les impacts principaux de cette pratique élémentaire peuvent être ainsi résumés : augmentation, au pire maintien, de la production de biomasse de la prairie mais (légère) diminution de la qualité de la production ; dégradation des performances économiques de court terme induite par l'augmentation du nombre de récoltes (de fauches) ; pour la même raison, augmentation de la consommation directe d'énergie et des émissions liées de GES, augmentation contrebalancée par la réduction des émissions de nitrate ; augmentation potentielle des risques de compactage des sols. La charge de travail de l'agriculteur est augmentée, le bien-être des animaux potentiellement réduit, et l'impact sur la sensibilité aux aléas est ambigu. Au total, une pratique élémentaire à mettre en œuvre avec la plus grande prudence compte tenu de son seul effet positif (moins d'émissions de nitrate) et de nombreux effets contraires.

B4.2 - Mettre en défens des parcelles pour les laisser fleurir et favoriser la biodiversité

Cette pratique élémentaire est une variante de la pratique élémentaire précédente. Au lieu de récolter le fourrage au stade phénologique optimum pour maximiser la production sans trop pénaliser la qualité, la présente pratique élémentaire consiste à laisser le couvert en place pour favoriser la floraison et ainsi, apporter une ressource alimentaire à la biodiversité animale hébergée, favoriser la reproduction des espèces en place et alimenter la banque de graines du sol. Cette pratique élémentaire est aujourd'hui mise en œuvre, mais seulement de façon limitée, dans le cas de prairies permanentes dans les régions herbagères où les prairies sont exploitées pour l'alimentation de troupeaux allaitants.

La première conséquence potentiellement négative de cette pratique élémentaire est un risque de forte dégradation du couvert (en quantité et en qualité) si la mise en défens est prolongée au-delà de la floraison et de la maturité des graines : l'accumulation de la biomasse peut alors conduire à une verse importante et à une mortalité forte dans le couvert, par non prélèvement, ainsi que l'indique Huston (1994) ; voir Figure 7.1.

En supposant ce risque maîtrisé, les performances productives restent affectées plutôt négativement avec un rendement maintenu ou légèrement altéré et une qualité du fourrage disponible dégradée. Les charges variables sont constantes et les autres performances économiques de court terme sont dégradées, du moins tant qu'il n'y a pas de soutien spécifique à cette pratique élémentaire favorable à la biodiversité : de fait, si cette pratique élémentaire est mise en place dans le cadre d'une Mesure Agri-Environnementale (MAE) ciblée, les performances économiques peuvent alors être équivalentes.

La pratique élémentaire est neutre en termes d'utilisation des ressources naturelles. Les conséquences sur l'environnement sont positives sur deux plans principaux, *via* l'augmentation des surfaces semi-naturelles et la diminution de la perturbation de l'écosystème. On peut aussi considérer que la mise en défens de certaines parcelles contribue à réduire la taille des parcelles en cultures homogènes car le plus souvent, uniquement une partie des surfaces est traitée de cette façon et la mise en défens va générer des structures de couvert hétérogènes.

[52] Les trèfles dits intermédiaires ont des caractéristiques morphologiques qui les positionnent entre les trèfles géants (fort développement végétatif) et les trèfles nains (faible développement végétatif mais tapis très dense).

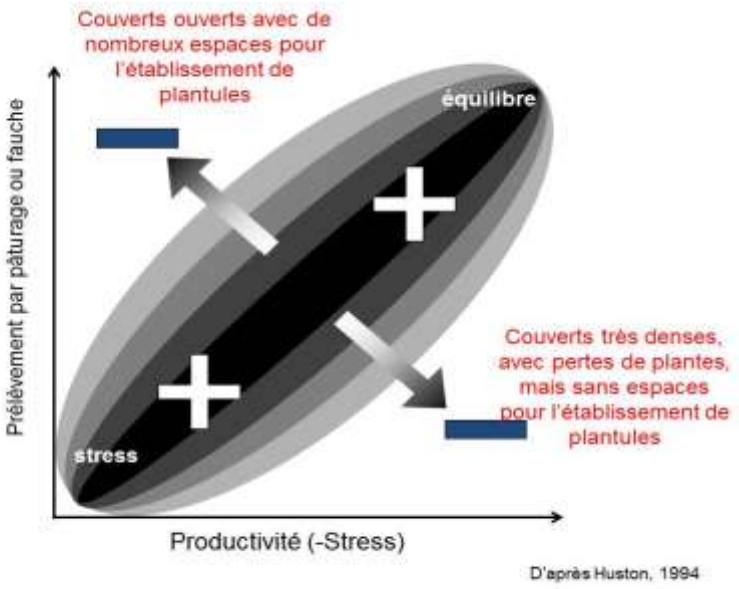

Figure 7.1 : *Relation entre la productivité de la prairie et le prélèvement par pâturage ou fauche*

Cette figure représente le nécessaire équilibre entre productivité (moins de stress) et prélèvement par pâturage ou par fauche (perturbation). Dans le cas où l'on s'écarterait de la médiane, la situation peut évoluer soit vers une augmentation de la compétition au sein du couvert (productivité supérieure au prélèvement) marquée par une absence d'ouverture du couvert, soit par une ouverture excessive du couvert en cas de prélèvement trop important par rapport à la productivité, ce qui favorise l'installation des plantules et désavantage le couvert.

B4.3 - Pratiquer le stockage sur pied

L'exclusion de certaines parcelles du plan / planning de pâturage permet de constituer un stock « sur pied » qui pourra être consommé plus tard dans la saison (à la fin du printemps et pendant l'été) quand la ressource fourragère est plus rare. Cette pratique élémentaire permet de maintenir les animaux au pâturage sans qu'il soit besoin de leur apporter un complément fourrager. Les parcelles qui servent à stocker du fourrage sur pied ont normalement fait l'objet d'un ou plusieurs cycles de pâturage, et le cycle de croissance qui est ainsi stocké ne doit pas être un cycle avec épiaison, ceci afin d'éviter une détérioration excessive de la qualité du fourrage et une détérioration de la structure du couvert.

Cette pratique élémentaire nécessite que la composition botanique de la prairie soit adaptée à cette fin ; dans la plupart des régions françaises, on recommandera ainsi d'utiliser un ray-grass anglais ou une fétuque élevée, si possible en association avec du trèfle blanc (de type intermédiaire).

L'exploitation par les animaux se traduit par une baisse de la productivité à l'hectare, par rapport à une alimentation à base de foin (par rapport à un foin de qualité, la production laitière quotidienne de vaches en fin de lactation était de 13.3kg contre 15.3 pour le témoin (Huyghe et Delaby, 2013) ; cf. Figure 7.2), baisse qu'il faut, soit compenser par des apports de compléments alimentaires, essentiellement énergétiques car c'est la digestibilité du fourrage qui est la plus pénalisée, soit en réservant ces surfaces à des animaux en fin de lactation. Néanmoins, la pratique élémentaire permet d'éviter de distribuer des stocks dont la constitution est onéreuse.

Les impacts de cette pratique élémentaire sur les différentes performances se déduisent de cette logique. Il y a dégradation des performances productives aussi bien en termes de rendement qu'en matière de qualité du fourrage récolté. Néanmoins, la réduction du recours aux stocks fourragers coûteux à constituer permet de réduire la charge de travail et d'améliorer les performances économiques de court terme (rentabilité, charges variables, VA, EBE, RCAI, autonomie productive et dépendance aux aides).

Parce qu'elle réduit la nécessité de constituer des stocks fourragers, cette pratique élémentaire permet de réduire les consommations directe et indirecte d'énergie (réduction de la consommation indirecte *via* un moindre recours aux engrais de synthèse pour la production de biomasse à des fins de constitution de stocks), et par ce biais de limiter les émissions de nitrate, de GES et de NH_3. Elle permet également de limiter la charge de travail.

On attirera l'attention, pour conclure, sur le fait que cette pratique élémentaire doit être mise en œuvre avec précaution. En effet, si le stock sur pied est mal constitué ou mal exploité, alors la pratique élémentaire peut aboutir à une dégradation importante de la prairie, cette dégradation de la végétation pouvant alors conduire soit, à des zones sur-pâturées, le sol nu entraînant des risques d'érosion et des pertes de particules, soit à une modification de la flore qui va perturber durablement l'écosystème prairial.

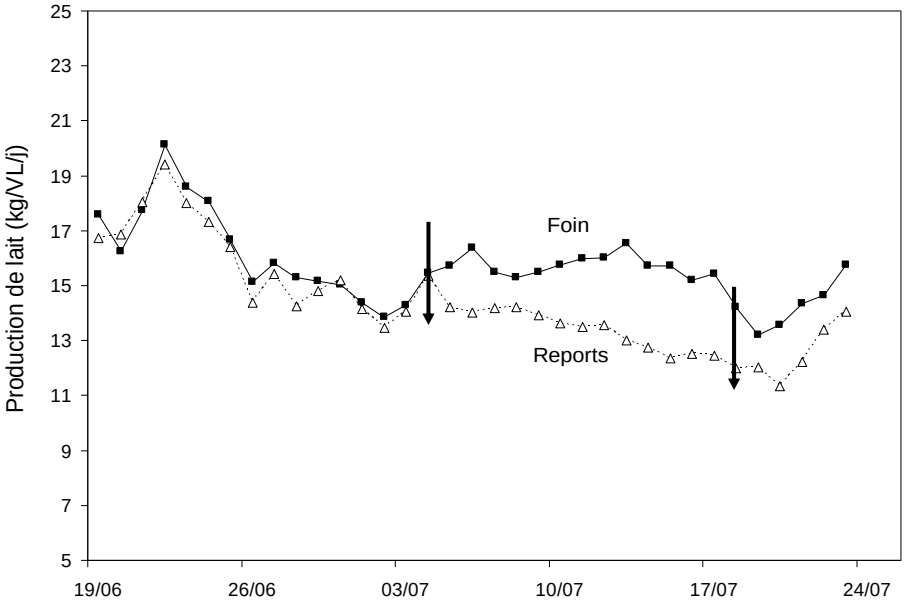

Figure 7.2 : Evolution de la production laitière de vaches consommant un stock sur pied et un foin au cours de l'été 2006 à Lusignan (d'après Huyghe et Delaby 2013)

Les « reports » sont des temps de repos longs où l'éleveur laisse s'accumuler de la biomasse au-delà des pratiques recommandées, ce qui permet d'allonger la saison de pâturage et rendre possible la valorisation de ces excédents directement au pâturage. Ce type de consommation est ici comparé au niveau de production atteint avec un fourrage récolté (foin). Les flèches soulignent les écarts de niveau de production constatés entre les deux types d'alimentation : par rapport à un foin de qualité, la production laitière quotidienne de vaches en fin de lactation était de 13.3kg contre 15.3 pour le témoin.

C - Eléments-clefs à retenir

Les principales performances impactées par la mise en œuvre des pratiques de conduite des plantes et des peuplements végétaux ici considérées sont les performances productives (rendement et qualité des récoltes), économiques (charges variables, soldes de gestion et investissements en matériels), énergétiques (consommation de fioul) et sociales (charge de travail et sensibilité aux aléas). Les impacts environnementaux sont plutôt neutres, à l'exception des émissions de GES qui évoluent parallèlement à la consommation directe d'énergie : augmentation dès lors que la pratique élémentaire requiert un recours accru à la mécanisation, diminution dans le cas contraire. De fait, il apparaît relativement difficile de recommander la généralisation automatique de ces pratiques élémentaires au titre des bénéfices

environnementaux induits ; par contre au cas par cas, certaines peuvent être recommandées à ce titre (par ex. la mise en défens des parcelles pour les laisser fleurir et favoriser la biodiversité).

Les pratiques élémentaires utilisées en arboriculture et/ou viticulture correspondant à une mécanisation plus poussée des opérations (« pratiquer un éclaircissage alternatif au chimique », « mécaniser la taille » et « mécaniser la récolte ») ont pour effet d'augmenter les charges variables. Leur impact sur les soldes de gestion dépend de la valorisation possible des produits de récolte et des niveaux d'endettement consentis lors de l'investissement en matériels : ceci signifie que le recours à ces pratiques élémentaires doit être mis en œuvre en considérant simultanément les questions de valorisation et d'endettement. Le recours à ces pratiques élémentaires, plus spécifiquement les deux dernières listées ci-dessus, doit aussi être réfléchi en tenant compte des dimensions temps de travail et coût de la main d'œuvre, deux variables stratégiques et souvent contraignantes en arboriculture et viticulture. Le gain de temps et l'économie de main d'œuvre peuvent être des facteurs déterminants du maintien en activité de certaines exploitations arboricoles et/ou viticoles, ce qui conduit à ne pas écarter *a priori* ces pratiques élémentaires même si leur impact environnemental est plutôt négatif, notamment par augmentation de la consommation directe d'énergie et des émissions associées de GES.

Les pratiques élémentaires proposant des modifications des modalités de gestion des prairies proposent de s'écarter d'un modèle « moyen » basé sur le pâturage et la constitution de stocks, modèle élaboré de façon à optimiser l'adéquation entre les besoins des animaux et la croissance saisonnière des prairies au regard des performances productives et économiques. L'écart à la moyenne a été proposé pour améliorer d'autres performances, notamment sur le plan environnemental (réduction des pertes de nitrate et enrichissement de la biodiversité) ou le plan social (réduction du temps de travail). Ces objectifs sont atteints en dégradant les performances productives et, dans une moindre mesure, les performances économiques.

Au terme de cette analyse, il apparaît difficile de recommander de façon unilatérale et généralisable des modalités de conduite des plantes et des peuplements en rupture qui permettraient d'améliorer certaines performances sans en dégrader d'autres ; toutefois, les différentes pratiques élémentaires, à l'exception de «pratiquer un éclaircissage alternatif au chimique » et « alterner pâturage et fauche pour limiter les pertes de nitrate », permettent de réduire la charge de travail, facteur clef en arboriculture et viticulture, ainsi qu'en élevage. Deux exceptions notables à ce constat d'ensemble.

Il s'agit d'abord de l'optimisation des chantiers de récolte, mais dont on peut penser qu'elle est déjà recherchée et même pratiquée par un grand nombre d'agriculteurs. Toutefois, dans le cas de productions végétales dont les produits présentent une évolution rapide au moment de la récolte, cette optimisation doit faire l'objet de toutes les attentions. Elle peut d'ailleurs être partagée avec l'aval de la filière quand cette qualité détermine l'accès au marché (cas, en particulier, des fruits) et/ou la valeur d'utilisation (cas des légumes industriels où la planification des chantiers de récolte est organisée au niveau de l'usine).

La seconde exception, spécifique aux fruits et à la vigne, concerne les possibilités de mécanisation des interventions en cours de végétation et/ou à la récolte. Il y a dans ce domaine des possibilités importantes de progrès, dont l'exploitation repose sur l'innovation technologique par les bureaux d'étude des industriels du secteur de l'agroéquipement (cf. MP Choix et gestion des agroéquipements).

De façon plus globale, l'examen de cette métapratique fait ressortir la nécessité pour la R & D agronomique de mieux éclairer les arbitrages à faire entre qualité des produits, temps de travail, charges de mécanisation. Au niveau de la recherche, cette exigence permet de mettre le doigt sur une lacune (ou retard) des travaux d'écophysiologie végétale et d'agronomie : leur insuffisante capacité à documenter les relations entre (i) structure des plantes et/ou du peuplement ; (ii) qualité des produits récoltés ; (iii) performances des chantiers de récolte, mécanisés ou non.[53] On peut mettre cette lacune sur le compte d'une insuffisance d'inter ou pluridisciplinarité (en l'occurrence entre agronomie, machinisme et gestion).

[53] Le type de critère morphologique correspondant à ces performances a effectivement été pris en compte dans certains cas par les écophysiologistes (hauteur et fréquence de coupe pour fourrages, gazons), qui restent exceptionnels.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie									
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité
Conduite des plantes et des peuplements végétaux	Implantation des cultures et structure des peuplements	Adapter la densité et la structure du peuplement pour éviter les stress biotiques et abiotiques	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+	+/-	=	=	=
		Adapter la structure du peuplement pour améliorer la qualité des produits	=/-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Adapter la structure du peuplement pour diminuer les temps de travaux	=/-	=/-	+/-	+	+/-	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=/-	=
	Maîtrise de la forme et de la croissance des plantes	Se passer des régulateurs de croissance	=/-	=/-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+	+/-	=	=	=
		Pratiquer un éclaircissage alternatif au chimique	=/-	=/-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	-	+/-	=	=/-	=
		Mécaniser la taille	+/-	=/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	-	=
	Gestion des opérations de récolte	Améliorer l'organisation des chantiers de récolte	=	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=/-	=
		Mécaniser la récolte en viticulture et arboriculture	=	=/-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	-	+/-	=	=/-	=
	Gestion du pâturage	Alterner fauche et pâturage pour réduire les pertes de nitrates	=/+	=/-	-	-	-	-	-	-	-	=	=	=
		Mettre en défens des parcelles pour les laisser fleurir et favoriser la biodiversité	=/-	-	=/-	=	=/-	=/-	=/-	=/+	=/-	=	=	=
		Pratiquer le stockage sur pied	=/-	-	=/+	+	=/+	=/+	=/+	+	=/+	=	=	=

			Ressources naturelles fossiles				Environnement							
			Energie		Quantité d'eau	Phosphore	Sol				Qualité de l'eau			
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires
Conduite des plantes et des peuplements végétaux	Implantation des cultures et structure des peuplements	Adapter la densité et la structure du peuplement pour éviter les stress biotiques et abiotiques	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	=	=/+	+/-	=	=
		Adapter la structure du peuplement pour améliorer la qualité des produits	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	=	=/+	=/+	=	=
		Adapter la structure du peuplement pour diminuer les temps de travaux	-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Maîtrise de la forme et de la croissance des plantes	Se passer des régulateurs de croissance	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=
		Pratiquer un éclaircissage alternatif au chimique	=/-	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=
		Mécaniser la taille	-	=	=	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=
	Gestion des opérations de récolte	Améliorer l'organisation des chantiers de récolte	+	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=
		Mécaniser la récolte en viticulture et arboriculture	-	=	=	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=
	Gestion du pâturage	Alterner fauche et pâturage pour réduire les pertes de nitrates	-	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
		Mettre en défens des parcelles pour les laisser fleurir et favoriser la biodiversité	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Pratiquer le stockage sur pied	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=

			Environnement								Dimensions sociales			
			Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Conduite des plantes et des peuplements végétaux	Implantation des cultures et structure des peuplements	Adapter la densité et la structure du peuplement pour éviter les stress biotiques et abiotiques	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	+
		Adapter la structure du peuplement pour améliorer la qualité des produits	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	+/-
		Adapter la structure du peuplement pour diminuer les temps de travaux	-	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
	Maîtrise de la forme et de la croissance des plantes	Se passer des régulateurs de croissance	+	=	=	=/+	=	=	=	+	+/-	=	=	-
		Pratiquer un éclaircissage alternatif au chimique	=/-	=	=	+	=	=	=	+	-	+	=	=/-
		Mécaniser la taille	-	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
	Gestion des opérations de récolte	Améliorer l'organisation des chantiers de récolte	=/+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	+
		Mécaniser la récolte en viticulture et arboriculture	=/-	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
	Gestion du pâturage	Alterner fauche et pâturage pour réduire les pertes de nitrates	-	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=/-	+/-
		Mettre en défens des parcelles pour les laisser fleurir et favoriser la biodiversité	=	=	=	=	+	=	=/+	+	=	=	=	=
		Pratiquer le stockage sur pied	+	+	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=

E - Références bibliographiques

AGROPEPS. « Evaluer le risque de verse » [en ligne]. (page visitée le 04/03/2013)
http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Evaluer_le_risque_de_verse

BUTAULT J.P., DEDRYVER C.A., GARY C., GUICHARD L., JACQUET F., MEYNARD J.M., NICOT P., PITRAT M., REAU R., SAUPHANOR B., SAVINI I., VOLAY T. (éditeurs). 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Inra (France), 90 p.

CABOULET D., GAVIGLIO C., GENEVET B. 2012. Enjeux techniques et économiques pour optimiser la production : la mécanisation de la taille. Paysans du midi, Spécial IFV, 4-7

CHAMPOLIVIER L., DEBAEKE P., THIBIERGE J. 2011. Construire des stratégies de production adaptées aux débouchés à l'échelle du bassin de collecte. Tournesol et agriculture durable, CIAG, 09/06/2011, Toulouse (France), 20 p.

HILAIRE C., RUESCH J. 2012. Conception et développement d'un système innovant de production intégrée en vue de l'amélioration des performances environnementales et économiques: espèce modèle pêcher. *Innovations Agronomiques*, 25, 231-241

HUYGHE C., DELABY L. 2013. Prairies et systèmes fourragers. La France Agricole (Ed), 530 p.

MASSERON A. 2002. Pommier, le mur fruitier. CTIFL (Ed), 112 p.

ROCHE L., CODARIN S., MATHIEU V., SAFFRAY C. 2010. Conduite du pommier : l'éclaircissage mécanique pour réduire l'utilisation de substances chimiques, Infos CTIFL, 261, 45-49

VIAUX P. 1999. Une 3ème voie en Grande Culture : Environnement, Qualité, Rentabilité. Editions Agridécisions, 145 p

CHAPITRE 8
AMÉNAGEMENT FONCIER

A - Introduction 162
B - Description par pratique élémentaire 163
C - Eléments-clefs à retenir 172
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 175
E - Références bibliographiques 176

CHAPITRE 8
Aménagement foncier

A - Introduction

Les objectifs de l'aménagement foncier sont divers, parfois difficilement conciliables dans la mesure où ils concernent non seulement l'activité agricole mais aussi les autres activités et occupations de l'espace, ainsi que la gestion de l'environnement et des paysages. Schématiquement, on peut distinguer trois types d'objectifs :

- Améliorer les conditions d'exploitation des propriétés rurales agricoles et/ou forestières : amélioration du regroupement et désenclavement des parcelles, réduction des distances relativement au siège de l'exploitation, adaptation du parcellaire à la mécanisation, etc. ;
- Assurer la mise en valeur des espaces naturels ou semi-naturels des zones rurales : préservation des espaces naturels et des paysages existants, reconstitution de corridors biologiques via, par exemple, la plantation de haies, protection des cours d'eau via, par exemple, des bandes enherbées, etc. ;
- Contribuer à l'aménagement du territoire communal ou intercommunal via, en particulier, la constitution de réserves foncières communales et l'affectation de l'espace communal à différentes types d'activité et occupations du sol, dans le cadre de Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), eux-mêmes encadrés par les Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT).

Le tout dans le respect du Code Rural et de ses objectifs, en particulier la prévention des risques naturels et la protection et mise en valeur du patrimoine rural et des paysages.

Depuis une cinquantaine d'années, l'agrandissement des exploitations, l'essor de la mécanisation agricole et l'augmentation continue des dimensions des matériels de culture, ont poussé les agriculteurs et aménageurs à privilégier le premier objectif susmentionné. Ils ont donc aménagé et agrandi les parcelles en supprimant les motifs topographiques ou végétaux gênant la circulation des engins (talus, haies, arbres isolés, bosquets, etc.), et en donnant aux limites des parcelles un tracé géométrique réduisant et facilitant les manœuvres.

Sur le plan environnemental, il en est résulté trois inconvénients majeurs (évidemment très variables selon les situations locales) :

- une tendance à la dégradation des paysages, par uniformisation et disparition des motifs arborés ;
- une discordance du parcellaire par rapport au réseau hydrologique non permanent (chemins d'eau pour le ruissellement superficiel et hypodermique), entrainant dans certaines situations une aggravation des risques de ruissellement, d'érosion et de nuisances associées ;
- une discordance accrue du parcellaire par rapport aux contours des unités pédologiques (en d'autres termes, un accroissement de l'hétérogénéité intra-parcellaire), rendant plus difficile voire impossible l'adaptation des systèmes de culture et des itinéraires techniques aux potentialités et propriétés du milieu.

Aujourd'hui, les objectifs de protection et gestion de l'environnement, ainsi que de qualité des paysages, sont considérablement revalorisés, en lien non seulement avec l'évolution des politiques publiques nationales relatives à l'environnement, mais aussi avec le fait que les opérations d'aménagement foncier sont de plus en plus conçues et réalisées sous la houlette d'acteurs urbains et dans des objectifs non principalement agricoles.

Dans les espaces agricoles, l'aménagement foncier est réalisé à deux échelles :

- une échelle collective, celle du remembrement (désormais appelé Aménagement Foncier Agricole et Forestier, AFAF). Ainsi depuis la 2ème guerre mondiale, chaque commune rurale française a vu se succéder 2 ou 3 « vagues » de remembrement complet, sans compter les opérations plus ponctuelles mais globalement de plus en plus fréquentes, faisant suite aux implantations d'infrastructures ;
- une échelle individuelle, l'agriculteur réalisant lui-même sur son exploitation un certain nombre d'aménagements de plus petite dimension mais dont les impacts agronomiques et écologiques peuvent être significatifs.

L'analyse se situant, du moins dans cette partie du travail, à l'échelle de l'exploitation agricole, les pratiques d'aménagement foncier relevant d'une échelle supérieure à celle de l'exploitation ne sont pas explicitement considérées ici, par exemple la constitution d'une trame verte et bleue à l'échelle du territoire national.[54] Le niveau d'analyse de l'exploitation agricole conduit à distinguer trois ensembles de pratiques :

- En premier lieu, l'adaptation du parcellaire, i.e., l'organisation spatiale des parcelles envisagée ici sous deux angles, soit l'adaptation aux caractéristiques du sol et la diminution des risques phytosanitaires ; cette première pratique est en lien étroit avec, entre autres MP, la MP Choix de la succession des cultures et de l'assolement ;
- En deuxième lieu, la gestion des Infrastructures Agro-Ecologiques (IAE), celles-ci étant définies comme des habitats semi-naturels qui ne reçoivent ni fertilisants chimiques, ni produits phytosanitaires, et sont gérés de manière extensive de façon à maximiser la fourniture de services environnementaux pour la préservation de la faune et de la flore, la protection de la qualité de l'eau, etc. ; cette seconde pratique est étroitement liée aux deux MP Protection phytosanitaire et Conduite des plantes et des peuplements végétaux ;
- Enfin, les aménagements hydrauliques qui permettent une meilleure gestion quantitative et qualitative des ressources en eau, en lien fort, naturellement, avec la MP Gestion de l'eau et de sa qualité.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Adaptation du parcellaire

B1.1 - Modifier la taille et/ou la forme des parcelles pour mieux les adapter au sol et diminuer les risques phytosanitaires

Cette pratique élémentaire ne consiste pas nécessairement à réduire ou inversement augmenter la taille des parcelles, mais plutôt à optimiser leur dimension et leur forme en fonction de la topographie, de la pédologie et des équipements matériels de l'exploitation, ceci de façon à réduire l'hétérogénéité des parcelles et à optimiser les interfaces entre les cultures et les éléments fixes du paysage (haies, talus, bandes enherbées, zones humides, fonds de vals et vallées, etc.).

L'impact de cette pratique élémentaire sur le rendement est ambigu : elle peut se traduire par une baisse du rendement ayant pour origine une perte de surface productive suite à la séparation de deux parcelles par une

[54] La trame verte et bleue est une mesure du Grenelle de l'Environnement. Elle porte l'ambition d'enrayer le déclin de la biodiversité au travers de la préservation et de la restauration des continuités écologiques. Il s'agit donc d'un outil d'aménagement du territoire qui vise à (re)constituer un réseau écologique cohérent, à l'échelle du territoire national, pour permettre aux espèces animales et végétales de circuler, de s'alimenter, de se reproduire, en d'autres termes, d'assurer leur survie, et permettre aux écosystèmes de continuer à rendre à l'homme leurs services. Les continuités écologiques correspondent à l'ensemble des zones vitales (réservoirs de biodiversité) et des éléments (corridors écologiques) qui permettent à une population d'espèces de circuler et d'accéder aux zones vitales. La trame verte et bleue est ainsi constituée des réservoirs de biodiversité et des corridors qui les relient. D'après me ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (http://www.developpement-durable.gouv.fr/-La-Trame-verte-et-bleue,1034-.html).

haie ou une bande enherbée, mais l'agriculteur peut simultanément espérer une augmentation de ce même rendement *via* une réduction de l'hétérogénéité intra-parcellaire et une diminution des risques phytosanitaires. L'impact sur la qualité de la production est jugée neutre.

La présence d'une mosaïque paysagère qui optimise les interfaces entre cultures et les IAE est censée avoir un effet favorable sur les auxiliaires des cultures, et donc par suite, entraîner une réduction des charges variables liées à la protection des cultures. Il faut préciser sur ce point que par hypothèse, on se projette dans une perspective future où des connaissances et pratiques acquises dans certains secteurs de production (principalement l'arboriculture fruitière, voire le maraîchage de plein champ) serait transposables avec succès dans des secteurs autres et en particulier la grande culture. Le « design » des motifs paysagers favorables à la protection intégrée est encore loin du stade opérationnel généralisé ; à l'inverse il serait infondé et dangereux de considérer que n'importe quel type de haie et/ou bosquet peut jouer un rôle protecteur.

A contrario, la fragmentation du parcellaire peut accroître les déplacements de matériel agricole et donc les charges de mécanisation. Les impacts de cette pratique élémentaire sur les performances économiques de court terme sont donc variables en fonction des importances relatives, d'une part, des économies réalisées sur les utilisations de produits phytosanitaires, et, d'autre part, de la baisse potentielle de la surface productive et de la production, de l'augmentation des charges de mécanisation, et le cas échéant des coûts d'entretien des IAE et de la gêne occasionnée par la présence de ces IAE dans les parcelles. A partir d'une certaine taille de parcelle, à titre indicatif entre 10 et 20 hectares selon les milieux et les cultures, les problèmes liés à un agrandissement excessif peuvent s'avérer supérieurs aux bénéfices potentiels.

La re-fragmentation de certaines parcelles de grande dimension peut se traduire par une augmentation du temps de traction et par suite, de la consommation directe d'énergie. L'accroissement des émissions de GES liée à la hausse potentielle de l'utilisation de carburant peut être compensée par la capacité de stockage de carbone des éléments fixes du paysage ; d'où un impact ambigu de la pratique élémentaire sur les émissions de GES.

Les impacts d'une modification du parcellaire en vue de diminuer les risques phytosanitaires (à supposer que l'effet ainsi attendu soit avéré et réalisé) sont globalement positifs sur les performances environnementales. L'augmentation des interfaces avec les IAE permet de réduire les risques d'érosion, d'émissions de nitrate et de phosphore. La présence d'habitats pour les auxiliaires des cultures permet de réduire le recours aux produits phytosanitaires, notamment le recours aux insecticides. La sensibilité aux aléas climatiques est réduite grâce à une moindre exposition aux épisodes extrêmes (vent, orages, etc.). Les impacts sur la biodiversité enfin sont très positifs : augmentation de la surface des éléments semi-naturels, diversification probable des cultures au travers d'une augmentation du nombre de parcelles et amélioration de l'état de la biodiversité (voir, notamment, Le Roux *et al.,* 2008).

B1.2 - Regrouper les parcelles pour améliorer l'organisation du travail et/ou la localisation des systèmes de culture

Cette pratique élémentaire traduit le regroupement raisonné (remembrement) de différentes parcelles dispersées et éloignées, afin d'obtenir le meilleur compromis entre une bonne efficacité du travail de l'agriculteur et la recherche d'une variabilité des espèces cultivées sur le territoire. Ce réaménagement du parcellaire se justifie souvent par l'amélioration de l'efficacité de l'organisation du travail. Dans le cas d'un regroupement raisonné et raisonnable des parcelles, cette pratique élémentaire peut permettre de réaliser des économies d'échelle et ainsi, d'améliorer les performances économiques de l'exploitation : la production augmente (pour une qualité inchangée) et les charges variables diminuent ; par suite, il y a accroissement de la rentabilité, de la VA, de l'EBE, du RCAI et de l'autonomie ; la dépendance aux aides est réduite. La transmissibilité de l'exploitation est améliorée.

Des gains en termes de réduction de la consommation directe d'énergie et d'émissions de GES sont également possibles. De même, pour le temps de travail de l'agriculteur (c'est l'objectif premier de la pratique élémentaire) et de sensibilité aux aléas.

Les performances négativement impactées sont principalement associées à la biodiversité du fait, en particulier, de la suppression possible de surfaces semi-naturelles et d'IAE *via* le regroupement de différentes parcelles morcelées. Cette pratique élémentaire peut également avoir un impact négatif sur la diversification des cultures en réduisant le nombre de parcelles sur la sole, mais aussi un impact positif si le regroupement évite l'hyper-simplification des systèmes de culture, souvent associée à un éloignement excessif des parcelles vis-à-vis du siège d'exploitation.

B2 - Gestion des Infrastructures Agro-Ecologiques (IAE)

Les Infrastructures Agro-Ecologiques (IAE) représentent des habitats semi-naturels qui ne reçoivent ni engrais, ni pesticides. Ils incluent des éléments aussi variés que les haies, les bosquets, les arbres isolés et/ou alignés, les bandes enherbées, les prairies gérées de manière extensive, les murets, les banquettes, les mares, les vergers de haute tige, etc.

Dans le cadre de sa proposition de réforme de la PAC pour la période 2014-2020 (Jakubov, 2013), la Commission européenne a proposé que chaque exploitation agricole consacre 7% de sa surface à des Surface d'Intérêt Ecologique (SIE), ceci afin de pouvoir bénéficier du paiement dit vert (30% de l'aide versée au titre du premier pilier de la PAC).[55] En première approximation, on retiendra qu'IAE et SIE sont équivalentes même si les modalités de définition, calcul et pondération des différentes SIE ne sont pas encore définies.

L'état des lieux des IAE en France, réalisé à partir des données statistiques disponibles (Pointereau *et al.,* 2007), a permis d'évaluer leur superficie totale à environ 5,7 millions d'hectares à l'échelle nationale, soit un peu plus de 20% de la Surface Agricole Utile (SAU). Mais plus que ce chiffre global, le point à souligner est l'existence de grandes disparités régionales en matière d'IAE, de nombre et de richesse. L'importance des IAE, notamment des IAE dites arborées (haies, lisières de bois, arbres isolées et vergers de haute tige), est faible dans les régions spécialisées dans les grandes cultures annuelles ; cette importance est supérieure aux 7% requis dans des régions plus diversifiées, notamment en zones extensives de piémont et montagne.

L'analyse qui suit détaille les principaux impacts de ces IAE sur les différentes performances des exploitations agricoles.

B2.1 - Implanter une haie en bordure de parcelle

Cette pratique élémentaire a également été identifiée dans la MP « gestion de l'eau et sa qualité » ; nous reproduisons ci-après l'analyse.
On appelle haie toute structure linéaire composée d'arbres, d'arbustes, de taillis, de buissons, etc., large de un à quelques mètres et d'une hauteur pouvant atteindre 15 mètres. Les haies contribuent à la fourniture de divers services écosystémiques, relevant notamment des dimensions ressources naturelles et environnement : protection des cultures et des animaux contre le vent et la pluie, protection contre l'érosion, prélèvement de nitrates et donc amélioration de la qualité de l'eau, préservation de la biodiversité et des paysages, mais aussi fourniture de bois de chauffage, de piquets, de gibier, de fruits, etc. L'installation et l'entretien de ces éléments fixes du paysage peuvent se faire au détriment des surfaces productives et entraîner une concurrence (eau, lumière) pour les cultures adjacentes ; d'où une baisse possible de la production et des résultats économiques (rentabilité et soldes de gestion).

Le rendement est légèrement moindre dans la zone où se déploie l'ombre portée de la haie, mais cette diminution est compensée par les effets bénéfiques de l'action brise-vent de la haie. L'impact sur la

[55] De façon plus précise, les autres mesures dites de verdissement que l'agriculteur devra respecter pour bénéficier du paiement vert sont, outre le maintien de 7 % de la surface en SIE, une diversification minimale des cultures et le maintien des prairies permanentes. Ces trois mesures de verdissement font l'objet d'âpres discussions dont l'issue devrait être un affaiblissement des contraintes potentiellement induites.

performance « rendement » est donc le plus souvent neutre ; il est de même pour l'impact sur la qualité de la production. Cet impact sera toutefois lié à l'importance du linéaire de haies par unité de surface, une densité excessive pouvant devenir contre-productive. Mais la majorité des régions agricoles françaises ne sont pas dans cette situation.

L'entretien des haies peut légèrement détériorer le bilan énergétique mesuré à l'aune de la consommation énergétique directe, ceci d'autant plus que les haies peuvent contraindre l'agriculteur à allonger ses temps de travaux (contournement d'éléments fixes du paysage) ; cette détérioration est néanmoins pour partie compensée par la production de biomasse à partir des éléments constitutifs des haies, sous réserve d'adapter les engins utilisés pour l'entretien, en privilégiant les lamiers et en disposant d'équipements de ramassage.

Les haies permettent de limiter le ruissellement de surface, ainsi que la dérive de pesticides lors de leur pulvérisation et leur entrainement vers les eaux de surface. Elles assurent une fonction de stockage de carbone et le bois produit peut être utilisé comme ressource renouvelable pour le chauffage (bûches ou plaquettes) : il y a donc réduction des émissions de GES.

Les haies favorisent la diversité biologique, microbienne, végétale et animale. Elles sont des refuges et des sources de nourriture pour de nombreux organismes, sans qu'il soit à ce jour possible d'établir de façon claire, les bilans des impacts sur les bioagresseurs et les auxiliaires, respectivement.

La pratique élémentaire a également un coût propre, à l'installation (entre 535 à 710 €/100 m linéaires) et à l'entretien (entre 10 et 13 €/100 m linéaires/an) selon les chiffres du CASDAR IBIS (Cervek, 2012). La mise en place et l'entretien des haies augmentent la charge globale de travail de l'agriculteur. Cette augmentation est surtout liée à la phase d'implantation (environ 17h pour 100 mètres linéaires de haies d'après les résultats du CASDAR IBIS 2010) ; l'entretien est en pratique relativement peu exigeant en travail (quelques minutes pour la fauche du pied de la haie, et de 2 à 5 heures pour la taille, toujours selon les résultats du CASDAR IBIS 2010). Coût et temps d'entretien dépendent de la fréquence des interventions qui varient en fonction de la valorisation de la haie et de ses produits, ainsi que du matériel utilisé (Agropeps, 2013).

Il faut également souligner que, parmi les effets environnementaux bénéfiques avérés des haies, plusieurs augmentent au fil des années. La dimension temporelle est particulièrement importante à considérer lors du choix d'implantation de haies ; ce choix doit être considéré comme un investissement pour les décennies suivantes.

B2.2 - Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle

Cette pratique élémentaire apparaît également dans la MP « gestion de l'eau et sa qualité ». Nous reprenons ici les résultats détaillés de cette pratique élémentaire.
Le terme de bande enherbée (BE) recouvre « toute surface en herbe susceptible d'intercepter des écoulements de surface diffus ou concentrés » (Corpen, 1997). Ce sont des espaces végétalisés, semés ou naturels, d'une largeur minimale de 5 mètres, généralement situés en aval de la parcelle pour protéger les cours d'eau des risques de pollutions diffuses.

La production quantitative et les résultats économiques de l'exploitation sont dégradés du fait de la substitution d'une zone productive par une zone non productive. De plus, la BE a un coût, aux stades de la mise en place (de 17 à 25 €/100 m linéaires) et de l'entretien (entre 7 et 8 €/100 m linéaires/an, selon les résultats du CAS-DAR IBIS (2010).

Cette pratique élémentaire offre un intérêt environnemental indéniable, notamment en termes de diminution des risques d'érosion, d'augmentation de la qualité de l'eau (rétention des éléments en suspension et réduction des pollutions diffuses), et de protection de la faune (corridors écologiques et réservoirs d'auxiliaires). Néanmoins, la qualité des services environnementaux de la BE dépendra de sa composition botanique et de son entretien. L'implantation de BE à forte composante de graminées

pérennes va favoriser le piégeage de l'azote, des produits phytosanitaires et des particules fines, mais ne sera guère favorable à la biodiversité.

Les BE demandent moins de travail que les productions commerciales (sauf peut-être l'année de leur implantation) ; des passages spécifiques pour l'entretien sont néanmoins nécessaires. Selon les cas, l'augmentation de la charge de travail est très faible ou au contraire substantielle si la pratique élémentaire exige des efforts importants en matière de formation, conseil, planification de l'implantation et de la gestion des espaces ainsi enherbés, etc. (Agropeps, 2013).

Une réflexion doit également être menée pour optimiser la localisation de la BE à l'échelle des territoires, ceci de maximiser les bénéfices environnementaux en limitant les surfaces mobilisées et les pertes de revenu. Les modèles spatialisés proposés par Souchère *et al.* (2012) permettent d'optimiser le positionnement des BE, dans un objectif de limitation des phénomènes érosifs.

B2.3 - Implanter des arbres à faible densité dans les parcelles

De façon générale, cette pratique élémentaire consiste à associer des arbres et des cultures annuelles sur une même parcelle.

Fortement mis en lumière depuis quelques années, le terme générique de l'agroforesterie englobe l'ensemble des pratiques agricoles associant des arbres avec des cultures ou des élevages. En réalité, cette association de cultures pérennes et annuelles sur une même parcelle était autrefois courante en Europe jusqu'à son abandon progressif au cours du XXe siècle en raison de la mécanisation et de l'intensification de l'agriculture (Dupraz et Newman, 1997).Aujourd'hui, une forme particulière d'agroforesterie qui consiste à implanter un alignement d'arbres au sein des parcelles cultivées connaît un regain d'intérêt car elle est compatible avec la mécanisation des cultures. Liagre (2008) a estimé à environ 2 000 hectares la surface plantée en agroforesterie "moderne" (alignement d'arbres avec culture intercalaire mécanisée) en 2008, l'essentiel de ces plantations ayant été effectuées il y a moins de 15 ans.

Depuis 2006, les parcelles agroforestières ont acquis le statut de terres agricoles et ont été officiellement reconnues par l'Union européenne en devenant éligibles aux DPU (Droits à Paiement Unique). Elles ont aussi été intégrées dans le calcul de la SET (Surface Equivalente Topographique) dans le cadre des BCAE (Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales) dont le respect conditionne l'octroi des DPU. Par ailleurs, la mesure 222 du PDRH (Plan de Développement Rural Hexagonal) de la période 2007-2013, activée en 2009, permet de subventionner l'installation de parcelles agroforestières en France.

Les impacts de l'introduction d'arbres à faible densité dans les parcelles (entre 30 et 200 arbres par hectare pour une reconnaissance par la réglementation française) sont nombreux et majoritairement positifs sur les différentes performances de l'exploitation.

En dépit d'une baisse de production (surface et rendement) des cultures annuelles sur le moyen terme, les impacts sur la production totale de biomasse des parcelles agroforestières sont positifs. D'après des travaux récents (Graves *et al.,* 2007 ; Dupraz *et al.,* 2010), certaines exploitations agroforestières atteindraient une production de biomasse totale (culture annuelles et arbres) jusqu'à 30% plus importante que des assolements avec des parcelles agricoles d'un côté, le reboisement de terres agricoles de l'autre. L'impact sur la qualité des cultures annuelles serait neutre.

L'agroforesterie, de par la présence de deux types de productions, permet également une diversification des sources de revenu des exploitations agricoles : à un revenu annuel relativement régulier (vente des récoltes des cultures annuelles) est associé un capital sur pied (valorisation à moyen et long terme des arbres, comme bois d'œuvre par exemple), sous réserve d'un choix pertinent des essences forestières et de l'évolution des marchés du bois et de ses produits.

Les impacts sur les performances économiques de l'exploitation sont donc variables selon le pas de temps considéré : à court terme, le coût des investissements liés à l'introduction des arbres peut impacter négativement les différents soldes de gestion (VA, EBE et RCAI) ; tandis qu'à plus long terme, la plus-value réalisée grâce à la vente du bois et/ou de ses produits pourrait / devrait compenser les coûts initiaux d'implantation des arbres (Dupraz et Capillon, 2006). Prudence néanmoins dans la mesure où les expériences sont encore limitées, les données statistiques et les publications certifiées (revues à comité de lecture) rares, partielles et sans doute non représentatives (au sens statistiques du terme).

L'éligibilité de ces parcelles aux DPU et l'octroi de subventions spécifiques lors de la plantation des arbres augmentent la dépendance aux aides. L'emprise des arbres sur la surface productive diminue les volumes d'intrants chimiques (engrais et produits phytosanitaires) apportés sur les parcelles, ce qui permet de réduire les charges variables et d'améliorer l'autonomie productive.[56] La transmissibilité de l'exploitation est améliorée du fait du capital que représentent les arbres, même si le coût du foncier devrait croître car il va capitaliser au moins pour partie la valeur de ce capital.

Comme indiqué *supra*, l'emprise des arbres sur une partie de la surface anciennement exclusivement consacrée aux cultures annuelles se traduit par une baisse de la quantité d'engrais utilisés sur les parcelles ; les émissions de nitrate et de phosphore diminuent.[57] Cette même emprise pourrait aussi permettre de diminuer les utilisations de produits phytosanitaires, diminution qui pourrait être accrue par le fait que la plus grande hétérogénéité des parcelles peut aussi limiter les transferts de bioagresseurs dans le paysage et donc le recours aux produits phytosanitaires (Le Roux *et al.* 2008). Les arbres contribuent à limiter les risques d'érosion et à augmenter le taux de MO des sols grâce à la décomposition des feuilles et racines (Dupraz et Liagre, 2008).

De nombreuses études ont démontré la capacité des parcelles agroforestières à séquestrer du carbone et ainsi à réduire les émissions nettes de GES (Jose, 2008 ; Nair *et al.,* 2009).

Les impacts sur les différentes performances relevant de la biodiversité sont également favorables, ceci à plusieurs titres : présence d'habitats pour la faune sauvage ; création de corridors écologiques ; augmentation des surfaces semi-naturelles, etc. (Jose, 2008). La perturbation de l'écosystème est réduite grâce à la prévention des risques d'érosion et de pollution des cours d'eau. Enfin, de la même manière que les haies, ces arbres peuvent protéger les animaux contre le vent, la pluie ou la chaleur : la performance « Améliorer le bien-être animal » est donc positivement impactée (sous réserve que l'agriculteur possède des animaux sur l'exploitation).

Les impacts sur les performances sociales sont plus difficiles à apprécier du fait de la marginalité de cette pratique élémentaire et du manque de recul dont nous disposons à ce jour. A l'exception des travaux annuels d'entretien des arbres, cette pratique élémentaire ne doit pas alourdir significativement la charge de travail de l'agriculteur, à condition toutefois que l'implantation des arbres respecte les dimensions du matériel agricole (et naturellement, hormis la période de récolte des arbres).

La sensibilité aux aléas économiques et climatiques est favorablement impactée grâce à la possibilité de diversifier les sources de revenu et de réduire l'exposition des cultures aux épisodes climatiques extrêmes (érosion, vent, orages, etc.).

B2.4 - Diversifier les espèces végétales des IAE

Cette pratique élémentaire consiste à diversifier les essences végétales des IAE : haies plurispécifiques, mélange d'essences d'arbres sur une parcelle agroforestière, etc. L'objectif principal est de rendre ces IAE plus résilientes et plus attractives pour les auxiliaires des cultures.

[56] Les coûts liés à l'entretien et à la taille des arbres sont jugés négligeables.
[57] L'agroforesterie peut jouer un rôle positif vis-à-vis de la pollution des eaux grâce au pouvoir de captation des arbres (Nair, 2007 ; Palma *et al.,* 2007 ; Jose 2008 ; Quinkenstein *et al.,* 2009).

D'après des travaux anciens de l'Inra (Debras, 2000) et une récente étude du CTIFL (2010), l'augmentation de la diversité végétale aux abords des vergers par une haie plurispécifique induit une augmentation des auxiliaires dans la parcelle, d'où une réduction possible des utilisations de produits phytosanitaires et donc des charges variables. Pour une production agricole inchangée en quantité et en qualité,[58] cette diminution des charges variables permet d'augmenter la rentabilité, la VA, l'EBE, le RCAI et l'autonomie productive, et de diminuer la dépendance aux aides ; ces effets positifs devraient néanmoins être d'ampleur limitée.

La diversification des essences des IAE permet d'assurer la pérennité des fonctions écologiques de ces dernières : les espèces persistantes fournissant un abri pendant l'hiver et les fructifications apportent des nutriments (nectars, pollens, baies, fruits, etc.) à des périodes différenciées par rapport au couvert de la parcelle (CTIFL, 2012).

B2.5 - Valoriser la biomasse des IAE

Cette pratique élémentaire consiste à abattre et à vendre la biomasse produite par les IAE présentes sur l'exploitation (haies ou arbres le plus souvent). Elle permet d'apporter un supplément de revenu à l'agriculteur, supplément qui peut être particulièrement élevé dans le cas d'une valorisation sous forme de bois d'œuvre. Par ailleurs, dans un objectif d'améliorer le taux de MO des sols et d'économiser la ressource eau, le broyage et l'épandage des jeunes rameaux des haies sous forme de BRF (Bois Raméal Fragmenté) peuvent être envisagés. Dans ce cas, des impacts favorables sur l'érosion et les risques de lessivage des éléments N et P sont également possibles. Cette valorisation de la biomasse des infrastructures arbustives et/ou arborée est déjà mise en œuvre en maraîchage et, dans une moindre mesure, en arboriculture et grandes cultures.

Cette pratique élémentaire a essentiellement des impacts positifs sur les performances économiques, (rentabilité, VA, EBE et RCAI), au prix d'un surcroît de travail (entretien et coupe des arbres et arbustes). La diversification des sources de revenus de l'agriculteur permet de réduire sa sensibilité aux aléas économiques.

B2.6 - Entretenir les éléments fixes du paysage : murets, talus, mares, ripisylves, etc.

La conservation et l'entretien des éléments fixes du paysage permettent de maintenir une hétérogénéité du paysage, hétérogénéité qui joue un rôle important sur les connectivités biologiques au sein du territoire.

Ces habitats non directement productifs constituent des réservoirs à biodiversité. Ils attirent la faune (reptiles, oiseaux, chauves-souris, etc.) et permettent de limiter les pollutions diffuses vers les eaux de surface (Le Roux *et al*., 2006). La présence de ces milieux de façon abondante et diversifiée contribue à constituer des paysages hétérogènes qui abritent une biodiversité plus importante que des paysages simplifiés et homogènes. Ces milieux riches en biodiversité peuvent abriter des auxiliaires des cultures (syrphes par exemple), mais également des bioagresseurs des cultures (CTIFL, 2006).

Les impacts de cette pratique élémentaire sur les performances économiques sont plutôt négatifs du fait du coût supplémentaire nécessaire pour l'entretien de ces éléments. La transmissibilité peut être légèrement améliorée.

De même que les haies ou arbres implantés dans les parcelles, entretenir les éléments fixes du paysage fournit plusieurs services environnementaux positifs : en plus des performances relatives à la biodiversité qui sont améliorées, la pratique élémentaire réduit les risques d'érosion, les émissions de nitrate et de phosphore, et les utilisations de produits phytosanitaires.

L'entretien de ces éléments exige un surplus de travail de la part de l'agriculteur et/ou de ses salariés. Enfin ces éléments fixes peuvent représenter des abris pour les animaux de l'exploitation, et ainsi améliorer la performance « Bien-être animal ».

[58] L'agriculteur peut aussi chercher à valoriser la biomasse produite par les IAE (bois de chauffage, copeaux de bois, bois d'œuvre, etc.).

B3 - Aménagements hydrauliques

B3.1 - Implanter une haie en bordure de parcelle

Nous retrouvons ici la pratique élémentaire déjà identifié au titre de la pratique « gestion des IAE » ; voir supra.

B3.2 - Réaménager les zones humides

Les zones humides (ZH) sont des espaces de transition entre milieux terrestres et aquatiques. Elles sont régulièrement inondées pendant les périodes pluvieuses et ainsi assurent la fourniture de nombreux services écosystémiques : épuration et filtrage des eaux, réduction de l'érosion, contribution à l'alimentation des nappes phréatiques, atténuation des crues, etc. Pourtant, au cours du siècle dernier, plus de la moitié des ZH ont disparu dans le monde et en Europe (CE 1995). L'activité agricole a participé à cette régression au travers des différentes politiques d'aménagement rural (remembrement, drainage des parcelles, etc.). Le point-clé dans ce réaménagement est l'optimisation du positionnement des zones humides au sein d'un parcellaire, de façon à maximiser les services en minimisant l'emprise sur les zones les plus productives.

La préservation et l'aménagement de ZH sur des terres aptes à la culture viennent en contradiction, par définition, d'une logique de production agricole sur ces terres : la performance « rendement » pour l'agriculteur est donc dégradée. En dépit de la diminution des charges variables (du fait de la baisse de la superficie cultivée), la pratique élémentaire entraîne une détérioration des résultats économiques de court terme, du moins tant qu'il n'y a pas compensation budgétaire (aides spécifiques) ou marchande (marchés des services écosystémiques environnementaux fournis par les ZH).
Les ZH permettent de limiter les risques de pollutions diffuses des eaux de surface en jouant un rôle de zone tampon : réduction des transferts de nitrate, de phosphore et de résidus de pesticides vers les cours d'eau. L'impact sur les divers volets de la biodiversité est également positif.

L'entretien des ZH entraîne un travail spécifique, le plus souvent inférieur à celui requis pour la production agricole sur les terres ainsi retirées d'un usage agricole.

B3.3 - Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle

Cette pratique élémentaire a également été identifiée précédemment dans la pratique « gestion des IAE » ; voir supra.

B3.4 - Implanter des bassins de rétention[59]

Les bassins de sédimentation et de rétention des eaux servent à diminuer l'érosion du sol en interceptant et retenant les sédiments et autres matières en suspension. La rétention a pour effet de ralentir le débit de l'eau et de favoriser le dépôt des sédiments, des débris ou des déchets avant qu'ils atteignent la structure d'évacuation ou l'infrastructure d'épuration.

On suppose ici que ces bassins de rétention sont gérés collectivement, à l'échelle du bassin versant, et donc que la perte de surface productive est négligeable au niveau individuel de chaque agriculteur. Les résultats productifs et économiques ne sont donc pas détériorés.

Les principaux bénéfices des bassins de rétention concernent les performances environnementales, en particulier la dimension « qualité de l'eau » : réduction des émissions de nitrate, de produits phytosanitaires et de phosphore.

[59] Cette pratique élémentaire apparaît également au niveau de la MP Gestion de l'eau et de sa qualité.

La gestion collective de ces bassins peut demander un surplus de travail ; ce surplus reste toutefois modéré.

B3.5 - Drainer les parcelles

Cette pratique élémentaire consiste à favoriser l'écoulement de l'eau dans les parcelles hydromorphes par la pose de drains en profondeur. Le drainage peut être réalisé à l'échelle de la parcelle, éventuellement de façon concertée entre producteurs à l'échelle d'un bassin (Concaret *et al.,* 1981).

Le drainage d'une parcelle / de plusieurs parcelle(s) représente un investissement important et par suite, augmente l'endettement.

Le drainage permet d'améliorer le potentiel de rendement des parcelles à tendance hydromorphe en maintenant des conditions favorables au développement des cultures. IL permet ainsi d'améliorer les performances économiques de court terme : rentabilité, VA, EBE, RCAI, autonomie productive et moindre dépendance aux aides.

Le drainage favorise l'exploration racinaire du sol et permet ainsi une meilleure valorisation de la réserve utile en eau. Les besoins en eau d'irrigation, et les charges induites, sont donc généralement réduits. Les risques de compactage des sols sont également réduits grâce à un meilleur écoulement des eaux vers les exutoires.
Le drainage peut favoriser les transferts d'azote vers les masses d'eau. Le risque est particulièrement important les premières années qui suivent le drainage, lorsque la matière organique accumulée se minéralise. Le drainage limiterait au contraire le transfert de phosphore et de résidus phytosanitaires vers l'eau par réduction du ruissellement de surface (Agropeps, 2013).[60]

La réalisation du drainage génère des émissions de GES par la consommation de carburant qu'elle nécessite. A cette exception ponctuelle, en régime de croisière, la consommation de carburant et les émissions de GES peuvent être réduites grâce à des conditions de tassement et d'excès d'eau réduits, donc à une meilleure aération du sol. Ainsi, le drainage limite les émissions de protoxyde d'azote par dénitrification, ceci grâce à un meilleur écoulement des eaux.

Le drainage des parcelles hydromorphes permet un meilleur étalement des chantiers en autorisant des fenêtres d'intervention plus larges (AGROPEPS, 2013) ; la charge de travail est donc réduite ; il en est de même pour la sensibilité aux aléas.

B3.6 - Construire des retenues collinaires (ou bassines)

Un ouvrage de retenue collinaire, également nommé bassine, est destiné à stocker de l'eau à partir d'un prélèvement en eau effectué à une période (hiver et printemps) où celle-ci est abondante. En situation agricole, cette eau peut ensuite être utilisée pour l'irrigation des cultures.

La création de tels ouvrages, sur des bases individuelle ou collective, représente un investissement conséquent pour l'accès à la ressource eau. Les coûts de construction des retenues collinaires sont élevés, en moyenne 30 000 euros HT pour une retenue de 1 000 m^3. Ces coûts varient selon la nature du terrain et l'importance des travaux d'étanchéité à effectuer. La transmissibilité de l'exploitation en sera améliorée dans la mesure où l'accès à l'eau sera sans nul doute un élément de plus en plus décisif, notamment dans les régions à fort déficit climatique.

En situation de ressource en eau limitante, la retenue collinaire permet d'augmenter la disponibilité en eau au cours de la saison et ainsi d'augmenter et de régulariser les rendements. Les performances économiques de court terme (rentabilité et soldes de gestion) sont améliorées, au prix d'une détérioration de l'endettement du

[60] Le drainage accélère les transferts d'eau vers les cours d'eau et ainsi, peut amplifier le risque de crue en cas d'épisodes pluvieux successifs.

fait des coûts de construction. Il est possible que la succession des cultures ait tendance à se simplifier en favorisant les cultures qui valorisent le mieux l'irrigation et qui sont alors les plus rentables à l'hectare. Le fonctionnement des infrastructures hydrauliques se traduit également par une hausse de la consommation d'énergie électrique.

En considérant que la majorité de l'eau stockée dans ces bassines provient d'une période où celle-ci est abondante, l'impact de la création de ces infrastructures sur la ressource en eau peut être jugé comme neutre. Ce point prête malgré tout à discussion et nécessite arbitrage et encadrement, pour deux séries de raisons :

- d'une part, les crues hivernales et inondations temporaires ont des impacts écologiques significatifs qui peuvent le cas échéant correspondre à des services non négligeables. Il faut donc s'assurer que le prélèvement ne perturbe pas ces éventuels impacts positifs ;
- d'autre part, une disponibilité importante d'eau pour l'irrigation peut induire une évolution des assolements allant jusqu'à la spécialisation au profit des cultures irriguées, avec tous les effets indirects qui en résultent, notamment du point de vue de l'utilisation des intrants, de la biodiversité, etc.

Les retenues collinaires ne sont donc pas sans poser problème : impact écologique local non nul, risques sanitaires (problèmes potentiels de qualité de ces eaux stagnantes), problèmes de sécurité pour les populations situées en aval de l'ouvrage (stabilité des remblais), coût pour la contribuable dans la mesure où la construction de ces réservoirs d'usage privé est largement subventionnée par les pouvoirs publics, aux niveaux national, régional et/ou local, voire par les Agences de l'Eau, iniquité possible dans l'accès à l'eau (accaparement de la ressource par quelques agriculteurs seulement) ; pour plus de détails, voir Amigues *et al.* (2006). L'intérêt de ces ouvrages doit donc être analysé au cas par cas sur la base d'une analyse coûts-bénéfices qui doit nécessairement intégrer les impacts environnementaux.

C - Eléments-clefs à retenir

C1 - La MP en un clin d'œil

L'aménagement foncier a, de même que la MP Choix des successions de culture et des assolements, un impact profond et direct sur les paysages et écosystèmes agricoles. Son impact visuel, esthétique et patrimonial, couplé aux impacts potentiellement favorables sur les performances environnementales, en particulier la qualité de l'eau et la préservation de la biodiversité, en font une MP à fort enjeu, notamment en matière d'aménagement du territoire. Une pratique élémentaire fait exception, le drainage des parcelles avec des performances environnementales contrastées. Par ailleurs, les pratiques élémentaires de regroupement des parcelles pour améliorer l'organisation du travail et/ou la localisation des systèmes de culture et de construction de bassines peuvent avoir des impacts négatifs sur divers volets de la biodiversité.

Toutes les pratiques élémentaires considérées sont susceptibles d'améliorer la résistance aux aléas, à minima de pas la dégrader.

L'établissement d'une meilleure coïncidence entre d'une part les unités de décision et d'intervention que sont les parcelles, d'autre part les unités pédologiques correspondant à des potentialités différentes, est un enjeu majeur vis-à-vis des économies d'intrants et pollutions associées. Il n'est pas totalement atteignable par le biais de l'agriculture de précision : si les écarts de potentialités justifient des différences dans le choix des cultures, il faut que les entités culturales soient distinctes. Cette ré-homogénéisation implique à la base une relance de l'effort de collecte des données d'inventaire pédologique (programme IGCS), et doit être prise en compte dans les AFAF à venir, tout en s'assurant d'un compromis acceptable avec les impératifs liés à la mécanisation.

Le réaménagement des zones humides contribue directement, par la réduction de la SAU, à la diminution du rendement et de la production pour une surface donnée. Ceci est également le cas, dans une moindre mesure, pour l'implantation de bandes enherbées au sein ou en bordure des parcelles, et pour l'implantation d'arbres en bordure ou au sein des parcelles. Néanmoins, contrairement aux deux pratiques élémentaires relatives aux zones humides et aux bandes enherbées, la possibilité de valoriser la biomasse des haies ou des arbres (tant pour le bois de taille que pour le bois d'œuvre) apporte un revenu supplémentaire.

Les performances économiques sont dégradées, au moins à court terme, par les pratiques élémentaires entraînant des réductions de la SAU (réduction de la taille des parcelles agricoles, préservation et restauration des éléments fixes du paysage et des zones humides). Les charges variables sont également réduites dans les mêmes situations de réduction de la SAU. A contrario, le regroupement des parcelles pour améliorer l'organisation du travail et/ou la localisation des systèmes de culture, le drainage et la construction de retenues collinaires peuvent contribuer à améliorer les performances économiques de court terme, au détriment pour les deux dernières pratiques élémentaires d'un investissement important et donc d'un accroissement de la charge d'endettement.
Le temps de travail et/ou sa pénibilité sont dégradés par les différentes pratiques élémentaires à l'exception, à nouveau, du drainage des parcelles, du regroupement des parcelles (dans une moindre mesure), ainsi que du réaménagement des zones humides.

C2 - Cinq enseignements et une recommandation de politique publique[61]

En premier lieu, le résumé ci-dessus montre que les pratiques élémentaires associées aux IAE conduisent à améliorer de nombreuses performances environnementales au prix d'une détérioration des performances productives (quantité) et économiques, ceci du fait de l'emprise de ces IAE sur la surface directement productive (utilisable pour les cultures). Dans ce contexte, on ne saurait que recommander la valorisation maximale de la biomasse issue de ces IAE (dès lors qu'une telle valorisation est possible), même si c'est au prix d'une détérioration de la charge de travail qui pourra être allégée par recours au travail en commun, à l'entraide, voire au recours à une entreprise extérieure. La particularité des bénéfices environnementaux générés est qu'ils sont différés dans le temps relativement à la mise en place des infrastructures. Selon la performance environnementale considérée, l'effet bénéfique se produit avec un décalage de quelques mois (qualité des eaux), quelques années (faune auxiliaire) ou plusieurs décennies (stockage de biomasse et de carbone dans le sol). Cette caractéristique implique qu'une fois la nécessité des IAE acquise, pour peu que cela soit possible (cf. infra), il est nécessaire de s'assurer de leur permanence dans le temps, *via* l'empêchement de leur suppression de façon réglementaire (interdiction) et/ou leur inscription au titre des exigences minimales des règles de conditionnalité d'octroi des aides publiques (au sens large, pas uniquement les aides directes du premier pilier de la PAC).

En second lieu, on notera que la plupart des pratiques élémentaires considérées ici en lien avec la gestion des IAE ne sont pas à effet monotone et au contraire présentent un optimum[62]. C'est ce qui explique, par exemple, que la densité d'arbres dans les plantations de linéaires boisés, principe de base de l'agroforesterie, présente un optimum au regard des bénéfices environnementaux fournis. Cette caractéristique rend difficile la mesure des performances environnementales et économiques, et la généralisation immédiate de ces pratiques élémentaires à l'ensemble des exploitations agricoles françaises. Selon la distance à l'optimum, la facilité de mise en place / préservation des IAE sera différente, et les bénéfices environnementaux attendus pourront s'avérer plus faibles qu'anticipés *ex ante*. Le problème est d'autant plus complexe qu'il ne s'agit pas d'un optimum absolu, mais d'optima fortement liés aux caractéristiques des milieux et des climats dans lesquels s'insèrent ces IAE (ainsi que de la nature, forme, etc. des IAE).

[61] Pour une synthèse spécifique de l'analyse relative à la construction de bassines, voir Annexe 1 de la MP Gestion de l'eau et de sa qualité.
[62] Cette même notion de non monotonie / d'optimum guide la classification des SIE.

En troisième lieu, les effets (en particulier les effets bénéfiques vis-à-vis de l'environnement et des paysages) des aménagements fonciers, sont extrêmement sensibles à leur localisation, l'effet bénéfique attendu n'étant dans certains cas réalisable que si une localisation bien précise est respectée. A l'inverse, la localisation optimale de certains aménagements protecteurs ou épurateurs (de même que celle de systèmes de cultures protecteurs ou épurateurs) peut aussi permettre d'appliquer aux espaces à fortes potentialités des niveaux de contraintes mieux ajustés et moins restrictifs.
En quatrième lieu, l'optimisation de l'aménagement foncier nécessite une réflexion à des échelles qui dépasse celle de la seule exploitation et doit donc, dans la plupart des cas, s'appuyer sur des démarches collectives. L'exemple du remembrement ou l'aménagement de retenues collinaires sont les cas les plus évidents de l'importance de ce fonctionnement collectif. Mais il en est de même pour le positionnement des haies, des bandes enherbées ou encore des zones humides qui doit être réfléchi à des échelles plus grandes que celle de l'exploitation pour favoriser la continuité des trames. On notera ici qu'il est également essentiel que cette réflexion prenne en compte la composante non agricole des espaces ruraux, en particulier les continuités de circulation et bien naturellement les hameaux et villages.

Cinquième enseignement, l'optimisation de l'aménagement foncier à des échelles spatiales larges avec des effets différés dans le temps et distribués dans l'espace de façon adéquate, pose un défi de conception, et relever ce défi requiert recherches et travaux d'ingénierie. Dans cette perspective, on soulignera l'intérêt du recours à la modélisation spatiale qui permettra de maximiser les bénéfices environnementaux en limitant les emprises de terres agricoles, ceci par délimitation et positionnement optimisés des aménagements écologiques et/ou hydrauliques. Une illustration remarquable de cet apport est fournie par les travaux de modélisation couplant les dimensions temps et espace pour le positionnement de bandes enherbées dans un objectif de limitation des phénomènes érosifs (Ciampalini *et al.,* 2012).

Ces cinq enseignements ne signifient pas rejet de la mesure de verdissement de la PAC de consacrer un certain pourcentage des terres de l'exploitation (7% dans les propositions de la Commission européenne) en Surfaces d'Intérêt Ecologique (SIE). Il est en effet urgent de renverser la tendance à la diminution de ces SIE, même si cela peut éventuellement conduire à dégrader les performances économiques (et dans les régions où ce trend n'est pas encore observé, la mesure, qui ne sera pas douloureuse sur le plan économique, évitera qu'une telle tendance voit le jour). De façon à maximiser les bénéfices environnementaux pour un coût économique minimisé, on suggérera de rendre la mesure plus flexible en fixant un niveau plancher de SIE par exploitation et en permettant les « échanges » de SIE entre exploitations, sur une base contractuelle encouragée, de sorte à atteindre le niveau souhaité / souhaitable de SIE à l'échelle de la petite région agricole dans lesquelles s'insèrent les exploitations agricoles (en y associant les activités non agricoles consommatrices d'espaces ruraux). Définir ce niveau souhaité / souhaitable n'est pas chose aisée (cf. supra), mais la difficulté ne doit pas être prétexte à différer la mesure dans le temps, notamment parce que les bénéfices environnementaux de ces SIE sont eux aussi différés dans le temps. De même, la difficulté d'agir à une échelle qui n'est pas celle de l'exploitation agricole ne doit pas conduire à refuser de réfléchir à une échelle collective, notamment parce que les bénéfices environnementaux seront maximisés et les pertes économiques réduites si tel est le cas. Concrètement, nos recommandations seraient, d'une part, de fournir des incitations minimales à cette fin, par exemple sous forme de « bonus d'agglomération », dit autrement un soutien additionnel à tous dès lors que les acteurs qui occupent l'espace agricole et rural dans une région donnée s'entendent pour respecter collectivement la cible avec un niveau minimal de SIE dans chaque exploitation (niveau minimal plus faible que le niveau cible global) et définition sur une base contractuelle collective des niveaux de SIE de chaque exploitation, voire (à titre expérimental) des MAE spécialement liées à des AFAF agroécologiques ciblés sur l'amélioration de certains objectifs (qualité des eaux, érosion, biodiversité, paysage, accessibilité pour les promeneurs, etc.) ; d'autre part de renforcer quantitativement et qualitativement les études amont des SCoT, PLU et AFAF.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Aménagement foncier	Adaptation du parcellaire	Modifier la taille et/ou la forme des parcelles pour mieux les adapter au sol et pour diminuer les risques phytosanitaires	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=/-	=	=	=
		Regrouper les parcelles pour améliorer l'organisation du travail et/ou la localisation des systèmes de culture	=/+	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=/+	=/+	=	=	=
	Gestion des Infrastructures Agro-Ecologiques (IAE)	Implanter une haie en bordure de parcelle	+/-	=	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=/+	=	=	=	=	=	=
		Implanter des bandes enherbées dans les parcelles ou en limite de celles-ci	-	=	=/-	+	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=
		Implanter des arbres à faible densité dans les parcelles	+	=	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+	=/-	+	=	+	=	=/+	=	=
		Diversifier les espèces végétales des IAE	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	+	=	=	=	=	=	=
		Valoriser la biomasse des IAE	=	=	+	=	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	=	=
		Entretenir les éléments fixes du paysage : murets, talus, mares, ripisylves, etc.	=	=	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=	=	=/+	=/-	=	=	=
	Aménagements hydrauliques	Implanter une haie en bordure de parcelle	+/-	=	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=/+	=	=	=	=	=	=
		Réaménager les zones humides	-	=	-	+	-	-	-	=	-	=	=	=	=	=	=	=
		Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle	-	=	=/-	+	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=
		Implanter des bassins de rétention	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Drainer les parcelles	+	=	+	+	+	+	+	+	+	=	-	+	=	=	=/+	=
		Construire des retenues collinaires (ou bassines)	=/+	=	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	=	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Aménagement foncier	Adaptation du parcellaire	Modifier la taille et/ou la forme des parcelles pour mieux les adapter au sol et pour diminuer les risques phytosanitaires	=	+	=	=	+	+	+	=	+/-	=	=	=	=/+	=/+	+	+	=/-	=	=	+
		Regrouper les parcelles pour améliorer l'organisation du travail et/ou la localisation des systèmes de culture	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	-	=/-	-	+/-	=/+	=	=	+
	Gestion des Infrastructures Agro-Ecologiques (IAE)	Implanter une haie en bordure de parcelle	=	+	=	=	+	+	+	=	+	+	+	=	+	=/+	+	+	-	=	=/+	+
		Implanter des bandes enherbées dans les parcelles ou en limite de celles-ci	=	+	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	+	=	=/+	+	=/-	=	=	=
		Implanter des arbres à faible densité dans les parcelles	=	+	+	=	+	=/+	+	=	+	=	=	=	+	=/+	+	+	+/-	=	=/+	+
		Diversifier les espèces végétales des IAE	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	=	=	=	+	=/+	=	+	=	=	=	=
		Valoriser la biomasse des IAE	=	=/+	=/+	=	=/+	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	+
		Entretenir les éléments fixes du paysage : murets, talus, mares, ripisylves, etc.	=	+	=	=	+	=/+	+	=	=	=	=	=	+	=	+	+	-	=	=/+	=
	Aménagements hydrauliques	Implanter une haie en bordure de parcelle	=	+	=	=	+	+	+	=	+	+	+	=	+	=/+	+	+	-	=	=/+	+
		Réaménager les zones humides	=	=	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	+	=	+	+	+	=	=	=
		Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle	=	+	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	+	=	=/+	+	=/-	=	=	=
		Implanter des bassins de rétention	=	=	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=/-	=	=	=
		Drainer les parcelles	+	=/+	=	=	-	+/-	=/+	=	+	+	=	=	-	=	=/-	-	+	=	=	+
		Construire des retenues collinaires (ou bassines)	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=/-	=/-	+/-	=	=	+

E - Références bibliographiques

AGROPEPS. « Assainir les parcelles par drainage » [en ligne]. (page visitée le 04/03/2013). http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Assainir_les_parcelles_par_drainage

AMIGUES J.P., DEBAEKE P., ITIER B., LEMAIRE G., SEGUIN B., TARDIEU F., THOMAS A. (éditeurs). 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport. Inra (France), 72 p.

BRETAGNOLLE V., HOUTE S., BOILEAU N. 2002. Restauration hydraulique d'un marais et conséquences pour les oiseaux : contraintes d'échelles d'espace et de temps dans les processus écologiques. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 9, 175-187

CERVEK C. 2012. Intégrer la biodiversité dans les systèmes d'exploitation agricole : le projet IBIS. CASDAR Innovation et partenariat : Résultats 2007. MAAF-CASDAR, 04/12/2012, Paris (France), 198 p.

CIAMPILINI R., FOLLAIN S., LE BISSONNAIS Y. 2012. LandSoil: a model for analysing the impact of erosion on agricultural landscape evolution. *Geomorphology*, 175/176, 25-37

CONCARET J., CRECY J. DE, GUYOT J., PERREY C., TROUCHE G. (coord.). 1981. Drainage agricole. Théorie et pratique. Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne, 509 p.

DEBRAS J.F., COUSIN M., RIEUX R. 2000. Conception d'une haie fonctionnelle pour lutter contre le psylle du poirier. *Phytoma - La Défense des Végétaux*, 525, 44-48

DUPRAZ C., **CAPILLON A.** 2006. L'agroforesterie : une voie de diversification écologique de l'agriculture européenne? Cahier d'étude DEMETER. Economie et Stratégies agricoles, 101-113

DUPRAZ C., LIAGRE F. 2008. Agroforesterie, des arbres et des cultures. France Agricole (Ed), 413 p.

DUPRAZ C., NEWMAN S. 1997. Temperate agroforestry: the European way. **In**: GORDON A., NEWMAN S. (editors.). Temperate Agroforestry Systems. CAB International, 181–236

DUPRAZ C., QUERNE A., TALBOT G., DUFOUR L. 2010. What explanations for the surprising productivity of temperate agroforestry systems as measured by their Land Equivalent Ratio? **In**: Proceedings of Agro2010, the XIth ESA Congress. 29/08/2010 – 03/09/2010, Montpellier (France)

FRANCART C., PIVOT J.M. 1998. Incidences de la structure parcellaire sur le fonctionnement des exploitations agricoles en régions de bocage. *Ingénieries EAT*, 14, 41-54

GRAVES A.R., BURGESS P.J., PALMA J., HERZOG F., MORENO G., BERTOMEU M., DUPRAZ C., LIAGRE F., KEESMAN K., VAN DER WERF W. 2007. Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecological Engineering*, 29, 434–449

JAKUBOV J. « Les projets de réforme de la PAC votés au Parlement européen » [en ligne]. (page consultée le 29/03/2013). http://www.europarl.europa.eu/news/fr/pressroom/content/20130124BKG59668/html/Les-projets-de-r%C3%A9forme-de-la-PAC-vot%C3%A9s-au-Parlement-europ%C3%A9en

JOSE S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, 76, 1-10

LIAGRE F. 2008. L'agroforesterie en France : L'agroforesterie est-elle une idée moderne ? *Agroforesteries*, 1, 7-10

LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG, F., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER-ESTRADE J., SARTHOU J.P., TROMMETTER M. (éditeurs). 2008. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport. Inra (France), 113 p.

NAIR P.K.R. 2007. The coming age of agroforestry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 1613-1619

NAIR P.K.R., KUMAR B.M., NAIR V.D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* 172, 10-23

PALMA J.H.N., GRAVES A.R., BUNCE R.G.H., BURGESS P.J., FILIPPI R.D., KEESMAN K.J., KEULEN H.V., LIAGRE F., MAYUS M., MORENO G., REISNER Y., HERZOG F. 2007. Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 119, 320–334

POINTEREAU P., COULON F., FLEUTIAUX C. 2007. Pertinence des infrastructures agroécologiques au sein d'un territoire dans le cadre de la Politique agricole commune. Rapport de l'étude, MEDDTL

QUINKENSTEIN A., WÖLLECKE J., BÖHM C., GRÜNEWALD H., FREESE D., SCHNEIDER B. U., HÜTTL R. F. 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science & Policy,* 12, 1112-1121

VIAUX P. 1999. Une 3ème voie en Grande Culture : Environnement, Qualité, Rentabilité. Editions Agridécisions*,* 145 p.

CHAPITRE 9
CHOIX ET GESTION DES AGROÉQUIPEMENTS

A - Introduction 180
B - Descriptif par pratique élémentaire 181
C - Eléments-clefs à retenir 189
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 192
E - Références bibliographiques 193

CHAPITRE 9
Choix et gestion des agroéquipements

A - Introduction

Cette méta-pratique qui concerne les équipements à la fois en production végétale et en production animale (hors bâtiments) est structurée en trois ensembles qui correspondent à trois enjeux différents :

- Il s'agit d'abord de raisonner la maîtrise des charges de mécanisation. Cette maîtrise peut être obtenue par plusieurs voies qui nous ont conduit à positionner dans cette première pratique le recours aux services d'une entreprise extérieure, le recours à l'entraide *via* un fonctionnement collectif et l'utilisation de matériels en commun, le recours à un conseil stratégique pour raisonner le choix des équipements, l'allongement des durées d'utilisation des matériels agricoles, et l'entretien et la réparation par l'agriculteur de son matériel. Nous avons également analysé ici les conséquences d'une diminution du poste « fioul » des charges variables *via* l'utilisation d'huile végétale pure, produite sur l'exploitation, moyennant une adaptation des réglages des moteurs ; la législation autorise cette utilisation à la ferme de l'huile végétale brute. Au total, cette pratique réunit ainsi un ensemble hétérogène de voies de maîtrise des charges de mécanisation et de fonctionnement des équipements.
- Le second ensemble de pratiques élémentaires concerne la modernisation du matériel agricole, modernisation qui a pour objet de capturer des innovations technologiques susceptibles de contribuer à certaines performances des exploitations agricoles. Comme pour l'ensemble précédent, il s'agit d'un regroupement de pratiques élémentaires hétérogènes.
- Le dernier ensemble concerne les pratiques élémentaires relevant de l'agriculture de précision. Sont ici regroupés un ensemble de technologies informatiques, de capteurs embarqués ou de possibilités de géo-positionnement (satellites, antennes RTK pour Real Time Kinematic ou, en Français, Cinématique Temps Réel, etc.) permettant un pilotage de précision des interventions agricoles. Les développements technologiques mobilisés peuvent être embarqués,[63] voire montés sur les équipements agricoles (systèmes d'autoguidage)[64]. Ils relèvent alors, à la fois des constructeurs de machines agricoles et d'autres structures industrielles impliquées dans la production de boitiers de commande reliés à un système GPS, de structures impliquées dans l'analyse de signaux satellitaires (Astrium qui est une filiale du groupe EADS développant les utilisations d'images satellitaires, et Farmstar® qui est un OAD combinant des images satellitaires, des modèles de croissance végétale et des règles de décision pour la fertilisation azotée (principalement du blé et du colza), voire d'entreprises qui développent des capteurs embarqués. Il s'agit donc là d'un domaine en émergence, ceci bien que les premiers travaux relatifs à l'agriculture de précision datent de près de 20 ans (Blackmore, 1994). Ces pratiques élémentaires, en particulier le guidage et l'autoguidage, concernent le travail du sol, le semis, l'épandage d'engrais, l'utilisation de produits phytosanitaires et la récolte du produit agricole.

[63] Un système embarqué mobile est un récepteur GPS installé dans un véhicule.
[64] Un système d'autoguidage assisté par GPS assure la conduite automatique du véhicule.

B - Descriptif par pratique élémentaire

B1 - Maîtriser les charges de mécanisation

B1.1 - Recourir à l'extérieur pour des travaux agricoles

Cette pratique élémentaire consiste à déléguer une partie des interventions agricoles à une entreprise extérieure de travaux agricoles, moyennant rémunération. Cette délégation, mobilisée à la demande du producteur agricole, permet à ce dernier de ne pas posséder l'équipement indispensable aux interventions considérées. Il y a possibilité de mise en concurrence de plusieurs prestataires et une certaine assurance de réalisation du service, même en cas de panne d'un équipement. Cette pratique élémentaire est répandue dès lors qu'il s'agit de travaux peu fréquents et/ou mobilisant des équipements couteux et de (très) grande taille et/ou exigeant une réalisation sur un temps très contraint avec donc des équipements surdimensionnés relativement aux besoins « effectifs et ponctuels » de l'exploitation (drainage, récolte de légumes frais, arrachage de betterave, moisson…).

Si l'on admet que l'entreprise est qualifiée et intervient en temps utile, cette pratique élémentaire n'a en principe pas d'impact sur la quantité et la qualité de la production. Ses effets sur les performances économiques courantes sont plutôt négatifs avec, en contrepartie, un moindre endettement par réduction de la charge d'investissement de matériel. Le temps de travail de l'agriculteur est réduit, de même que la sensibilité aux aléas. On peut aussi présumer que cette pratique élémentaire favorise une plus grande diversification des productions agricoles du fait que l'agriculteur n'a plus besoin de disposer du matériel potentiellement spécifique nécessaire à telle ou telle production / culture de diversification.

Les effets de cette pratique élémentaire sur les performances environnementales de l'exploitation sont neutres, à l'exception de la consommation d'énergie directe et des émissions de GES qui diminuent : on peut imaginer qu'il ne s'agit là que d'un transfert de la charge vers l'entreprise de travaux agricoles ; en pratique, on peut légitimement supposer que l'adaptation du matériel et son usage accru permettent de réduire la consommation d'énergie directe et les émissions de GES de l'ensemble « exploitation agricole et entreprise de travaux agricoles » relativement à une situation ou l'exploitation agricole effectue elle-même les tâches.

B1.2 - Recourir à l'entraide

Cette pratique élémentaire a trait aux fonctionnements collectifs entre agriculteurs, allant jusqu'à la mise en place de Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole (CUMA), pour acheter et utiliser en commun du matériel agricole.

Cette pratique élémentaire tend à améliorer les performances économiques de l'exploitation, y compris l'endettement. Elle tend aussi, comme la pratique élémentaire précédente, à diminuer le temps de travail de l'agriculteur, la sensibilité aux aléas, le coût énergétique direct et les émissions de GES.

Relativement à la pratique élémentaire précédente, la diminution du temps de travail serait moindre pour deux raisons : (i) s'il s'agit d'une entraide sous forme d'échanges de travail entre exploitations ou d'une CUMA sans salarié agricole, la charge de travail de chaque agriculteur restera identique ; et (ii) si le fonctionnement collectif prend la forme d'une CUMA, il y a un temps minimum indispensable de gestion du collectif (planification des achats et des utilisations du matériel, gestion des coûts, etc.).

Cette pratique élémentaire présente un avantage collatéral, celui d'un fonctionnement collectif favorable au partage d'expériences, à l'adoption d'innovations, voire à la prise de risques par diminution de l'aversion face à ces derniers.

B1.3 - Recourir à du conseil pour le choix des équipements et/ou d'organisation du travail

Cette pratique élémentaire a fait l'objet de travaux importants à la fin des années 1980 et au début des années 90 (logiciels OTELO et SIMEQ), débouchant sur une panoplie d'outils d'aides à la décision stratégique, mais elle est encore assez peu répandue ; les choix d'équipements et l'organisation du travail agricole étant le plus souvent décidés par l'agriculteur de façon autonome ou en lien avec le vendeur de matériels. L'organisation du travail permet d'ajuster l'utilisation des équipements nouveaux ; elle est de ce fait indissociable du choix et de l'achat de ces derniers.

Cette pratique élémentaire a un impact neutre sur la production, en quantité et en qualité. Elle affecte peu les différentes performances économiques courantes. Elle permet de réduire l'endettement par adéquation augmentée de l'équipement aux besoins de l'exploitation ; de fait, elle permet ainsi de faciliter la transmissibilité de celle-ci en évitant, soit un parc matériel inadapté, soit un parc matériel surdimensionnée et donc trop couteux à la reprise. Elle permet aussi, en limitant les risques de suréquipement, de réduire les consommations d'énergie directe et les émissions de GES associées. Enfin, elle réduit la charge de travail de l'exploitation agricole.

Les principales difficultés d'extension de cette pratique élémentaire résident dans (i) dans le fait qu'elle se situe à la frontière des compétences entre différents types d'organismes (chambres, centres de gestion, TRAME, etc.), aucun d'entre eux ne prenant vraiment en charge l'intégralité du problème à traiter ; (ii) en corollaire, le faible nombre de personnes dotées des compétences pluridisciplinaires nécessaires pour correctement traiter ce sujet. Ce service existe dans quelques chambres d'agriculture où il est surtout dédié aux bâtiments d'élevage, mais très peu aux équipements.

B1.4 - Allonger la durée d'utilisation du matériel

Dans le prolongement d'une démarche de limitation du suréquipement et de réduction des charges matérielles de l'exploitation, l'agriculteur peut être tenté d'allonger la durée d'utilisation de ses équipements, donc de travailler avec des machines amorties et possiblement obsolètes mais qu'il maîtrise parfaitement avec un coût de fonctionnement modeste (du moins tant que les coûts de réparation n'explosent pas).

L'impact premier de cette pratique élémentaire est de réduire la charge d'endettement. Les autres performances économiques sont très faiblement impactées, éventuellement néanmoins de façon négative à cause du vieillissement du matériel et des risques accrus de casse. Pour les mêmes raisons, cette pratique élémentaire aurait un impact plutôt négatif sur le temps de travail (durée augmentée des chantiers et temps d'entretien et de réparation plus élevés) et la sensibilité aux aléas serait accrue. Le vieillissement de l'équipement aurait plutôt pour effet de détériorer la transmissibilité de l'exploitation en l'état sauf si la transmission se fait dans le cadre d'un agrandissement et/ou si le repreneur dispose déjà d'un parc matériel suffisant.

Enfin, on peut légitimement anticiper que des équipements avec des périodes d'utilisation allongées vont progressivement entraîner une dégradation du rendement et de la qualité de la production, ceci parce que des matériels de plus en plus vieillissants auront de plus en plus de difficultés à garantir l'efficacité des opérations de fertilisation, de protection phytosanitaire, de récolte, etc.

B1.5 - Utiliser de l'huile végétale pure dans les moteurs en substitution au fioul

Cette pratique élémentaire, qui a connu un développement (resté modeste) au moment où le cours des huiles végétales était très bas (en 2006, le cours de la graine de colza était inférieur à 250 €/t, alors que depuis 2008, il dépasse 400 €/t sauf pendant les 6 premiers mois de 2010), est moins

utilisée aujourd'hui en raison du prix élevé des graines de colza (cf. Encadré 9.1 pour un point sur la législation). Elle suppose qu'un agriculteur ou groupe d'agriculteurs disposent d'une presse et peuvent valoriser les coproduits liés à la transformation de la graine en huile en alimentation du bétail, les tourteaux gras ne pouvant pas être consommés par tous les animaux. Avant utilisation, il est recommandé de laisser décanter pendant plusieurs semaines l'huile issue du pressage, puis de la filtrer avant utilisation. Cette pratique élémentaire suppose également un réglage adéquat des moteurs sous peine de dommages et de dysfonctionnements. En l'absence de réglage, il est possible de faire fonctionner les tracteurs diesel avec un mélange composé à 30% d'huile végétale pure et à 70% de fioul. Pour aller au-delà et fonctionner uniquement avec de l'huile végétale pure, il est nécessaire de disposer d'un kit de bicarburation d'une valeur unitaire de 600 €.

Cette pratique élémentaire améliore légèrement les performances économiques courantes, en particulier quand les cours des produits pétroliers sont élevés et ceux des graines oléagineuses et des huiles dérivées sont faibles (ce qui n'est pas le cas aujourd'hui avec, en outre, une corrélation plutôt positive entre les deux catégories de cours). La pratique élémentaire a pour effet mécanique de réduire la consommation d'énergie fissile directe et les émissions de GES, même si les émissions de NOx semblent légèrement augmentées par rapport à du fioul. Elle laisse inchangées les autres performances liées à l'utilisation des ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement. Elle augmente la charge de travail de l'agriculteur et réduit la sensibilité aux aléas économiques, plus spécifiquement la sensibilité aux fluctuations des cours des produits pétroliers.

Encadré 9.1

Utilisation de l'huile végétale comme carburant : état de la législation

De façon générale, pour ce qui est de l'utilisation de l'huile végétale en tant que carburant, la France ne s'est pas conformée à la Directive européenne du 8 mai 2003 (2003/30/CE) considérant encore l'usage de l'huile végétale comme carburant comme illégale pour toute utilisation, en dehors d'une exploitation agricole auto-productrice.

Il y a néanmoins des expériences. Ainsi, fin 2005, la communauté de communes du Villeneuvois (CCV) a adopté l'utilisation d'huile végétale brute pour la carburation de ses camions de ramassage d'ordures ménagères en s'appuyant sur l'expertise d'un juriste spécialisé en droit public, Philippe Terneyre, qui dit : « Il ne fait aucun doute que le Droit français est incompatible avec les dispositions d'effet direct de la Directive européenne du 8 mai 2003 (2003/30/CE). La production d'huile végétale pure pour la carburation de véhicules et l'utilisation de ce biocarburant sont désormais licites en France, même en l'absence de système d'autorisation interministérielle ». Néanmoins, en février 2006, la préfecture de Lot-et-Garonne a décidé de déférer au tribunal administratif de Bordeaux les délibérations de la CCV sur l'usage des HVP, estimant illégale leur utilisation comme carburant autre qu'agricole.

Toutefois, la Loi n° 2006-1771 du 30 décembre 2006 indique dans son article 37 : les huiles végétales pures peuvent être utilisées, pures ou en mélange, comme carburant dans les véhicules des flottes captives des collectivités territoriales ou de leurs groupements ayant conclu un protocole avec le préfet et le directeur régional des douanes territorialement compétents. À cet effet, ils concluent un protocole avec le préfet et le directeur régional des douanes territorialement compétents. Les huiles végétales sont utilisées dans ce cadre sous l'entière responsabilité des utilisateurs. Elles sont soumises à la taxe intérieure de consommation au tarif applicable au gazole identifié à l'indice 22 et mentionné au tableau B du 1 de l'article 265. Ce tarif est diminué de la valeur de la réduction appliquée aux esters méthyliques d'huile végétale mentionnés au a du 1 de l'article 265 bis A.

B1.6 - Entretenir et réparer soi-même le matériel

Cette pratique élémentaire est très répandue dans les exploitations agricoles où l'entretien du matériel et les travaux agricoles sont majoritairement, voire exclusivement, réalisés par les producteurs agricoles et/ou les salariés de l'exploitation. Néanmoins, relativement peu nombreux sont les agriculteurs en mesure de réaliser des maintenances et/ou des réparations complexes qui

requièrent un outillage spécifique ; il s'agit alors de personnes passionnées et ayant bénéficié d'une formation à cette fin, ceci d'autant plus que les matériels sont eux-mêmes de plus en plus complexes ; concrètement, cette pratique élémentaire peut difficilement être mise en œuvre dans le cas des agroéquipements dédiés à l'agriculture de précision et incluant une électronique embarquée.

Cette pratique élémentaire ne joue que sur un nombre réduit de performances : amélioration des performances économiques courantes au prix d'une augmentation de la charge de travail de l'agriculteur et/ou de ses salariés.

B2 - Moderniser le matériel pour améliorer son rendement d'utilisation

Tous types de matériels confondus, le secteur du matériel agricole affiche un chiffre d'affaires de 5,47 milliards d'euros en 2012 ; il est déficitaire d'environ 1 milliard d'euros avec des volumes d'importations se situant à 4 milliards dont 1,4 pour les seuls tracteurs.

B2.1 - Moderniser le matériel de traction

Le tracteur est, encore aujourd'hui, le symbole de « l'agriculture moderne » ; la puissance de traction a régulièrement augmenté sur les décennies passées permettant un accroissement régulier de la productivité du travail, en production végétale comme en élevage. Cette progression s'est stabilisée comme en atteste les données issues d'Axema. Selon cette source, les parts des différents segments de puissance des tracteurs agricoles neufs standard se sont stabilisées entre les années 2008 et 2012 : 33% des tracteurs neufs achetés en 2012 sont des véhicules avec une puissance supérieure à 150 chevaux ; 41% avec une puissance entre 100 et 149 chevaux ; 22% avec une puissance entre 60 et 99 chevaux ; et 4% avec une puissance inférieure à 60 chevaux. Au-delà de la puissance, les niveaux d'équipement et de confort des tracteurs ont régulièrement augmenté.

On peut penser qu'aujourd'hui la modernisation du matériel de récolte n'a plus d'impact direct sur les performances productives en volume et en qualité, sauf, cas non considéré ici, dans l'hypothèse où le matériel remplacé est obsolète. Parce qu'elle augmente la productivité du travail, cette pratique élémentaire tend à améliorer les performances économiques courantes (augmentation de la rentabilité, de la valeur ajoutée, de l'excédent brut d'exploitation, de l'autonomie productive ; diminution des charges variables et de la dépendance aux aides), au prix d'une dégradation de l'endettement (investissement), possiblement du Revenu Courant avant Impôt (RCAI), et la transmissibilité de l'exploitation (coût de reprise du matériel). Elle permet de réduire la consommation d'énergie fossile directe (sous réserve toutefois d'un matériel de traction qui ne soit pas « surdimensionné ») et d'améliorer légèrement plusieurs performances environnementales : diminution des phénomènes de compactage et de dégradation du sol, ce qui permet de réduire les risques d'érosion et de pertes de nitrate et de phosphore. Elle permet enfin de réduire la charge de travail et la sensibilité aux aléas (en permettant un travail même dans des conditions météorologiques difficiles, et surtout en réduisant le nombre de jours nécessaires pour une opération donnée, donc en réduisant les pointes de travail).

B2.2 - S'équiper d'un matériel de travail du sol adapté

Les conséquences de cette pratique élémentaire sur les différentes performances sont qualitativement identiques à celles de la pratique élémentaire précédente, à quelques nuances : le rendement et la qualité du produit final sont inchangés ou augmentés ; la consommation directe d'énergie fossile est inchangée ou diminuée (diminuée avec la pratique élémentaire précédente) ; le compactage du sol est réduit (inchangé ou réduit avec la pratique précédente) ; le taux de MO est inchangé ou augmenté (inchangé avec la pratique élémentaire précédente), les utilisations de

produits phytosanitaires sont inchangées ou réduites (inchangées avec la pratique élémentaire précédente) et les émissions de NH_3 sont inchangées ou réduites (inchangées avec la pratique élémentaire précédente). Comme pour la pratique élémentaire précédente, un matériel de travail du sol adapté permet principalement d'augmenter la productivité du travail et par ce biais, de réduire le temps de travail du producteur agricole et d'améliorer les performances économiques de court terme au prix d'une dégradation de l'endettement, de la transmissibilité (coût de reprise du matériel), et possiblement du RCAI. La qualité du travail du sol est améliorée avec un impact positif sur les performances environnementales liées au sol (compactage, érosion, taux de MO), à l'exception de la teneur en ETM qui est inchangée.

B2.3 - Moderniser le matériel d'épandage et de traitements phytosanitaires

Comme les deux pratiques élémentaires précédentes, moderniser le matériel d'épandage et de traitements phytosanitaires permet d'améliorer les performances économiques de court terme au prix d'une détérioration de l'endettement, de la transmissibilité et possiblement du RCAI. Parce qu'elle améliore la qualité des applications d'engrais et/ou de produits phytosanitaires, cette pratique élémentaire a en outre un impact positif potentiellement significatif sur plusieurs performances liées à la consommation de ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement : diminution de la consommation indirecte d'énergie fossile, diminution de la consommation de phosphore, réduction des utilisations de nitrate et/ou de produits phytosanitaires, réduction des émissions de GES et de NH_3. Les émissions d'odeurs et les rejets de polluants organiques sont également diminués, ou inchangés. Cette modernisation permet en outre de réduire la charge de travail des travailleurs agricoles et leur expositions aux risques. La sensibilité aux aléas devrait également diminuer.

B2.4 - Moderniser le matériel de récolte

Cette pratique élémentaire n'a pas d'effet sur les performances environnementales à l'exception possible d'un moindre compactage[65] et d'une réduction des émissions de GES par tonne récoltée / produite. Elle a un impact plutôt positif sur la production, en quantité et en qualité, en permettant un travail plus rapide au moment adapté et en limitant les pertes à la récolte. Comme pour les trois pratiques élémentaires précédentes, les performances économiques de court terme sont améliorées ; mais l'endettement, la transmissibilité et possiblement le RCAI dégradés ; le temps de travail est diminué et la sensibilité aux aléas est réduite. Cette pratique élémentaire permet aussi de réduire les consommations directes d'énergie fossile pour peu que les équipements ne soient pas surdimensionnés.

B2.5 - Utiliser des pneus basse pression

Cette pratique élémentaire, aujourd'hui d'usage courant (tous les tracteurs neufs de grande taille sont équipés de pneus basse pression), a été rendue possible grâce aux progrès significatifs réalisés en amont, au niveau des manufacturiers spécialisés dans les pneus agricoles (carcasse radiale au lieu de diagonale) et par la maîtrise des pressions de gonflage en fonction de la charge passive et de la charge dynamique. Ses principaux impacts positifs sont de limiter fortement le compactage des sols, en particulier en conditions de travail difficiles, et de réduire les phénomènes érosifs ; ces deux effets permettent de limiter les émissions de phosphore (dans une large mesure liées aux pertes de particules) et les émissions de GES (réduction des pertes gazeuses du fait d'un moindre compactage des sols). Les impacts de cette pratique élémentaire sur les autres performances sont nuls, en tout

[65] En améliorant la qualité du travail réalisé, la pratique élémentaire « modernisation du matériel de récolte » est susceptible de diminuer les phénomènes de compaction et de dégradation des états du sol, sauf pour la récolte des grains qui est le plus souvent réalisée dans des conditions sèches avec un sol très portant ; dans ce cas, il n'y a pas d'impact sur le sol.

état de cause minimes, dans un sens ou un autre s'il y en a. On notera toutefois une usure un peu plus rapide des pneus basse pression relativement à des pneus conventionnels et le fait qu'ils ne sont pas adaptés à une utilisation sur route. On notera aussi un coût d'achat plus élevé que les pneus normaux.

B2.6 - Moderniser le matériel de distribution des rations animales

Des innovations importantes ont été mises au point, diffusées et adoptées, au cours des dernières années, allant des mélangeuses qui permettent de composer des rations alimentaires complètes jusqu'aux robots distributeurs de fourrages et de compléments.

Parce qu'il augmente la qualité de mise à disposition des rations, la modernisation du matériel de distribution des rations animales peut contribuer à améliorer la production, quantitativement et qualitativement. Cette pratique élémentaire tend aussi à améliorer les performances économiques de court terme (rentabilité, VA et EBE) au prix, à l'instar des autres pratiques élémentaires portant sur la modernisation des autres matériels, d'une dégradation de l'endettement, de la transmissibilité et possiblement du RCAI. Les charges variables peuvent être amenées à augmenter, mais ceci dépend du type d'équipements concernés (avec un robot distributeur, par exemple, il y a accroissement de consommation électrique) ; dans la plupart des cas, elles seront inchangées.

Cette pratique élémentaire permet globalement de diminuer les consommations directes et indirectes d'énergie fossile, et donc les émissions de GES associées à ces consommations. Elle réduit la charge et la pénibilité du travail pour l'éleveur et les risques de santé (moins de contacts physiques avec les animaux au moment de leur alimentation).

B2.7 - Supprimer les fuites d'eau en élevage

Les fuites d'eau peuvent représenter des volumes significatifs dans les exploitations et engendrer des pertes financières significatives car il s'agit pour l'essentiel d'eau d'adduction.[66] La réduction de ces fuites va permettre de diminuer la consommation d'eau et d'améliorer l'ensemble des performances économiques de court terme. A l'exception du temps de surveillance et d'intervention, le temps de travail est peu affecté. Réduire les fuites d'eau requiert de disposer d'un équipement adapté pour détecter les fuites et les éliminer.

B3 - Utiliser l'agriculture de précision

B3.1 - Moduler la fertilisation au sein des parcelles

Cette pratique élémentaire consiste à moduler la fertilisation en fonction de la localisation dans la parcelle, cette modulation étant réalisée en fonction des données relatives au sol (profondeur, potentiel de production) et de l'état de la végétation. Les données relatives au sol requièrent des relevés préalables (enregistrement localisé des productions, analyse cartographiée des sols). Quant aux données relatives à l'état de végétation, elles sont issues d'observations satellitaires, selon des dispositifs de type Farmstar® ; ce dernier dispositif est aujourd'hui limité aux grandes cultures car ce sont les seules productions pour lesquelles l'ampleur et la variabilité des doses de fertilisation azotée justifient le recours d'un OAD de ce type ; il ne peut être mis en œuvre que sur des exploitations de grande dimension, sur de grandes parcelles.

[66] L'adduction d'eau regroupe les techniques permettant d'amener l'eau depuis sa source à travers un réseau de conduites ou d'ouvrages vers les lieux d'utilisation et de consommation.

La modulation de la fertilisation permet d'accroître la production, en quantité et en qualité. Elle contribue à améliorer les performances économiques de court terme des exploitations (diminution des charges variables, augmentation de la rentabilité, de la VA, de l'EBE et du RCAI, accroissement de l'autonomie et diminution de la dépendance aux aides). On notera cependant que le coût de mise en œuvre de cette pratique élémentaire est significatif dans la mesure où elle nécessite de disposer à la fois des équipements de guidage GPS et de l'accès à des informations spatialisées ; mais les économies en termes de charges variables sont supposées surcompenser ce coût de mise en œuvre.

La pratique élémentaire permet de réduire significativement les apports d'éléments fertilisants (ainsi que les consommations indirectes d'énergie associées) et donc de réduire les émissions de GES et de NH_3, et les risques de lessivage de nitrate. La mise en œuvre de la pratique élémentaire peut être complexe, exiger l'acquisition de nouvelles compétences et ainsi augmenter la charge de travail de l'agriculteur.

B3.2 - Localiser les traitements phytosanitaires sur les rangs

Cette technologie de traitement localisé correspond, dans le cas des cultures annuelles, au désherbage chimique sur le rang, l'inter-rang étant désherbé de façon mécanique ; on parle alors de désherbinage. De façon plus sophistiquée, cette pratique élémentaire peut aussi recouvrir, en cultures pérennes ligneuses, l'apport de produits phytosanitaires exactement sur la végétation, avec adaptation des volumes de pesticides à la densité de la végétation, cette dernière étant mesurée à l'aide de capteurs embarqués.

Cette pratique élémentaire n'a pas d'impact sur la quantité et la qualité de la production. Elle permet de réduire les charges de protection phytosanitaire et par ce biais, d'améliorer les performances économiques de court terme. Parce qu'elle permet de diminuer de façon significative les apports de produits phytosanitaires, cette pratique élémentaire permet de réduire les rejets de polluants organiques et les perturbations de l'écosystème.

La complexité de mise en œuvre de la pratique élémentaire peut entrainer une augmentation du temps de travail ; les évolutions rapides des technologies et la qualité des capteurs et des logiciels de gestion devraient rapidement permettre de dépasser ce frein à l'adoption.

B3.3 - Moduler la répartition des phytosanitaires selon la répartition des bioagresseurs

Cette pratique élémentaire est aujourd'hui exploratoire ; elle constitue une évolution de la pratique élémentaire précédente *via* son extension aux apports de produits phytosanitaires, non plus au regard de l'état de la végétation, mais en fonction de la présence de bioagresseurs et des symptômes de dégâts. Mettre en œuvre cette pratique élémentaire nécessite de disposer de pesticides curatifs car l'intervention se fait alors que la maladie ou les ravageurs sont installés dans la végétation ; elle suppose aussi que les capteurs disponibles permettent de reconnaître les symptômes et de les quantifier, ce qui est aujourd'hui à un stade très préliminaire pour les maladies, un peu plus avancé pour les adventices.

Sous réserve que les développements technologiques permettent de rendre opérationnelle une telle pratique élémentaire, ses impacts attendus en seraient un maintien de la production, sur les plans quantitatif et qualitatif, une réduction des coûts de la protection phytosanitaire, une augmentation de la rentabilité, des soldes de gestion (VA, EBE et RCAI) et de l'autonomie productive.

La diminution substantielle des apports de produits phytosanitaires permettrait de réduire les rejets de polluants organiques et les perturbations de l'écosystème. La complexité de mise en œuvre de

cette pratique élémentaire entrainerait une augmentation du temps de travail de l'exploitant, et surtout de coût des machines (dégradation des performances endettement et transmissibilité).

B3.4 - Utiliser un système de guidage automatique

Un dispositif de guidage (aide à la conduite) et d'autoguidage (moteur électrique ou hydraulique sur le volant ou la colonne de direction) GPS (pour *Global Positioning System*) mobilise la localisation satellitaire ; de façon à assurer un retour du matériel au même endroit ou à un endroit précis, le dispositif requiert, soit une correction différentielle (DGPS pour *Differential Global Positioning System*), soit une correction RTK (pour *Real Time Kinematic*) mobilisant des maillages d'antennes collectives couvrant des zones d'un rayon de 10 km, avec une transmission radio fixe VHF ou une transmission téléphonique.

L'autoguidage, qui nécessite de disposer d'un moteur électrique auxiliaire, soit sur le train de direction de l'engin guidé, soit sur la colonne de direction du tracteur, permet d'éviter les recouvrements. En régime de correction RTK, le recouvrement est limité à 0,5% alors qu'en conduite manuelle, il est de 12% pour le travail du sol, de 2% pour le semis et l'épandage de produits phytosanitaires, et de 4,5% pour la récolte de céréales (communication de C. Desbourdes, ARVALIS-Institut du Végétal). Les durées d'amortissement d'un autoguidage RTK varient en fonction de la valeur économique de la culture concernée. Pour un matériel de base de 16 500 € et un coût d'abonnement de 500 €, un équipement RTK de base est amorti entre 4,5 années en Picardie (exploitation de 180 hectares avec une rotation colza/blé/orge avec betterave et pomme de terre) et 9 années en Champagne crayeuse (exploitation de 180 hectares avec une colza/blé/orge avec betterave, pois et luzerne) ; données de C. Desbourdes, SIMA 2013.

Le guidage et l'autoguidage présentent également un intérêt important pour le binage mécanique, ainsi que pour le déclenchement de coupures de tronçons sur des pulvérisateurs, le bénéfice étant alors d'autant plus grand que le pulvérisateur est large et la parcelle courte et de forme non rectangulaire. L'autoguidage permet d'économiser environ 5% des apports de produits phytosanitaires, d'éviter les doubles traitements qui peuvent détruire certaines cultures (cultures légumières) et de faciliter les apports de nuit, dans des conditions de vent plus faible et/ou d'humidité plus favorable. Aujourd'hui, tous les pulvérisateurs neufs de grande taille sont équipés d'un système de coupure de tronçons (coupure manuelle ou automatique des jets). Les dispositifs à coupure automatique sont nettement plus performants que ceux à coupure manuelle. Les expérimentations conduites par ARVALIS montrent que quelles que soient la longueur ou la forme de la parcelle, l'erreur de recouvrement en coupure manuelle est environ 2 fois plus grande qu'en coupure GPS. L'évolution du matériel conduit à gérer des tronçons de plus en plus courts, allant jusqu'à la maîtrise individuelle de chaque jet.

Cette pratique élémentaire a pour effets environnementaux bénéfiques principaux de limiter le compactage des sols, notamment en facilitant le retour dans les mêmes traces, et de limiter les applications de produits phytosanitaires. Les autres performances environnementales sont inchangées.

Cette pratique élémentaire peut permettre de légèrement augmenter la production. Elle a un effet positif sur les performances économiques de court terme (rentabilité, VA et EBE). Par contre, elle augmente l'endettement (coût de l'investissement) et la transmissibilité de l'exploitation (coût de reprise de l'équipement).

Même en tenant compte de l'installation et des réglages dans le cas où les équipements passent d'un matériel à l'autre, la pratique élémentaire a pour effet de diminuer le temps de travail de l'agriculteur ; elle requiert l'acquisition de compétences nouvelles.

Au titre de la même pratique élémentaire, on notera l'apparition de robots de désherbage ou de maîtrise de l'enherbement. On peut signaler ici Vitirover, robot tondeur viticole, qui permet de maîtriser l'enherbement inter-rangs et qui fonctionne sur la base de capteurs photovoltaïques ; il est équipé de capteurs pour éviter d'endommager les ceps.

B3.5 - Installer des dispositifs de monitoring pour gérer l'alimentation des animaux

Basé sur des dispositifs de distribution automatisée des aliments et des capteurs qui permettent de suivre les animaux, le monitoring de l'alimentation du bétail permet une adaptation permanente de cette alimentation aux besoins des animaux. Cette pratique élémentaire permet donc d'augmenter la performance productive de l'exploitation et d'accroître la rentabilité, la VA et l'EBE, au prix d'une charge d'endettement augmentée et d'une diminution de la transmissibilité par coût augmenté de reprise de l'exploitation. On estime que la charge d'endettement augmentée est plus élevée que les économies de charges variables ; il y a donc dégradation, au moins à court terme, du RCAI.

Cette pratique élémentaire permet un ajustement optimal des niveaux d'aliments distribués et ainsi, de réduire les consommations indirecte d'énergie fossile nécessaires pour la fabrication des aliments concentrés. Elle permet aussi de réduire les émissions de nitrate et de phosphore, et de diminuer les usages de médicaments vétérinaires. Cette diminution est vraie dans le cas de la distribution d'aliments médicamenteux, où l'apport est ajusté au mieux. Cette pratique élémentaire permet également de limiter les émissions de GES et de NH_3. Elle permet enfin de réduire la charge de travail grâce à l'automatisation.

B3.6 - Installer des dispositifs de monitoring pour gérer la conduite de l'élevage

Des capteurs permettent de suivre les animaux et leur activité ; ils facilitent les interventions de l'éleveur à des moments clé où l'action humaine est essentielle ; c'est notamment le cas des capteurs qui ont pour mission d'alerter l'éleveur en cas de vêlage.

De façon générale, les diverses performances associées à cette pratique élémentaire sont identiques à celles de la pratique élémentaire précédente. L'amélioration des performances économiques de court terme (augmentation de la rentabilité, de la VA et de l'EBE) doit, ici aussi, être appréciée en regard du coût de l'investissement et de l'augmentation de la charge d'endettement. La surveillance assistée des animaux va permettre d'intervenir de façon précoce et précise et ainsi, de limiter les utilisations de médicaments vétérinaires, réduisant de ce fait la perturbation de l'écosystème. Elle va réduire la charge de travail, notamment celle liée aux astreintes, et améliorer la sécurité de l'éleveur qui n'interviendra que si cela est nécessaire.

C - Eléments-clefs à retenir

Maîtriser les charges de mécanisation a des effets globalement positifs sur les performances économiques qu'il s'agisse de la rentabilité, des soldes de gestion ou de la robustesse. Moderniser le matériel pour en améliorer l'efficacité et utiliser l'agriculture de précision ont aussi pour effets globaux d'améliorer les performances économiques de court terme (rentabilité et soldes de gestion), mais au prix d'un investissement souvent conséquent et donc d'une dégradation de la charge d'endettement (à un moindre degré pour les pratiques élémentaires visant à localiser et moduler les apports d'engrais et/ou de produits phytosanitaires). De façon générale, les pratiques élémentaires ici considérées améliorent l'état de l'environnement au sens large ; aucune performance relative à la

consommation de ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement n'est dégradée ; plusieurs sont améliorées. La sensibilité aux aléas est réduite, au pire inchangée.

La maîtrise des charges de mécanisation est par définition recommandable à tous points de vue, notamment en grande culture où l'excès des charges fixes constitue un point de faiblesse notable pour l'agriculture française. En revanche, les deux autres pratiques « moderniser le matériel pour en améliorer l'efficacité » et « recourir à l'agriculture de précision » ne sont des voies recommandables que sous condition de ne pas aggraver à l'excès la charge d'endettement liée aux investissements requis. Dans les cas où l'équipement nécessaire ne peut pas être partagé, la mise en œuvre de ces deux pratiques requiert des exploitations d'une dimension économique suffisante de façon à bénéficier d'économies d'échelle. Dans les cas où l'équipement n'est pas exclusif, sa mise en commun doit être encouragée, y compris par des incitations financières : l'amélioration des performances environnementales permet de légitimer des aides spécifiques mais collectives à l'investissement.
Cette MP est très dépendante de l'offre d'équipements et de ses évolutions. Elle est donc en lien étroit avec les industries du secteur de l'agroéquipement et du machinisme. Ces industries disposent de bureaux d'étude puissants, avec de forts potentiels de développements technologiques. Leurs liens à la recherche finalisée et la recherche-développement sont aujourd'hui (trop) limités, les orientations étant couvertes par le secret industriel dans un contexte de vive concurrence. En dépit des échanges que nous avons pu avoir avec ces industriels, notre capacité à dresser une image précise des innovations qui sont travaillées, pour mise en œuvre à des échéances plus ou moins proches, est restée très partielle. Il s'agit là, à n'en pas douter, d'une piste qu'il conviendrait d'explorer plus en profondeur.

La dimension très technologique de l'agriculture de précision nous conduit à formuler cinq observations conclusives :

1/ On notera le grand nombre de petites entreprises qui ont vu le jour et/ou se sont développées pour apporter un service dans le domaine du traitement des signaux et la production d'équipements de guidage. On peut donc imaginer l'émergence d'innovations et l'apport de services aux agriculteurs et aux gestionnaires de territoires, par exemple dans le domaine de la gestion de la ressource en eau pour l'irrigation.

2/ La deuxième observation a trait à la (très) forte attraction que la haute technologie exerce sur les agriculteurs, notamment les plus jeunes d'entre eux. Il s'agit là, incontestablement, d'un atout qu'il faut utiliser à bon escient en évitant d'opposer modernisation, souvent associée négativement à productivisme, et protection des ressources naturelles et de l'environnement ; l'analyse des performances environnementales des pratiques élémentaires relevant de l'agriculture de précision montre que lesdites performances sont souvent améliorées, au pire demeurent inchangées. Dans le domaine spécifique du guidage et compte tenu de l'intérêt des dispositifs RTK, un nombre croissant de coopératives se sont mobilisées pour déployer des antennes dans les principales régions de grandes cultures ; il s'agit là d'une évolution positive, avec mise en place de démarches collectives d'apprentissage et de maîtrise de ces nouvelles technologies.

3/ L'analyse conduit à s'interroger sur les espérances de progrès des différentes technologies. Les progrès observés aujourd'hui au niveau des capteurs embarqués permettent raisonnablement d'envisager que l'ajustement spatialisé aujourd'hui confiné à la question de l'azote pourrait demain être étendu au désherbage, puis aux aspects plus pathologiques avec une mesure en proximité de l'état sanitaire de la végétation ; il s'agit d'une voie prometteuse de progrès doublement gagnante, sur les plans économique et environnemental. Les travaux entrepris, par exemple au sein de l'UMT Capte entre l'Inra et ARVALIS-Institut du végétal et initialement destinés au phénotypage, ou encore au sein de l'UMT Eco Tech Viti entre l'IRSTEA et l'IFV permettront des développements de capteurs et de logiciels de traitement d'informations qui bénéficieront aux agriculteurs, sous réserve que les constructeurs soient associés à ces démarches.

4/ Même si le marché de l'agriculture de précision s'étend et permet des économies d'échelle au niveau des constructeurs, il est quasi-inévitable que cette évolution (très souhaitable sur le plan environnemental) se traduise par un accroissement du coût des machines. Il serait donc particulièrement opportun qu'elle se réalise par la voie des CUMA ou achats de matériels en commun.

5/ L'agriculture de précision (AP) n'est néanmoins pas le remède miracle à l'hétérogénéité intra-parcellaire : si cette dernière ne requiert que des ajustements de dose dans le cadre de système de cultures et itinéraires techniques quasi-identiques, l'AP est une bonne solution. En revanche, si les hétérogénéités intra-parcellaires sont telles que pour s'y adapter il convient de faire varier la nature des cultures ou même seulement leurs dates de semis, alors l'AP ne résout plus le problème.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Choix et gestion des agroéquipements	Maîtriser les charges de mécanisation	Recourir à l'exterieur pour des travaux agricoles	=	=	-	-	-	=/-	=/-	-	=/-	+	+	=	+	=	=	=
		Recourir à l'entraide	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	+	=	+	=	=	=
		Recourir à des OAD ou des conseils pour les choix d'équipement et/ou d'organisation du travail	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	+	+	+	=	=	=
		Alonger la durée d'utilisation des matériels	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=	+	=/-	=/-	=	=	=
		Utiliser de l'huile végétale pure dans les moteurs en substitution au fioul	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	+	=	=	=
		Entretenir et réparer soi-même son matériel	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	=	=	=
	Moderniser le matériel pour améliorer les performances	Moderniser le matériel de traction	=/+	=	=/+	=/+	=/+	=/+	+/-	=/+	+/-	=	-	-	+	=	=	=
		S'équiper d'un matériel de travail du sol adapté	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	+/-	=/+	+/-	=	-	-	=/+	=	=	=
		Moderniser le matériel d'épandage (engrais et produits phytosanitaires)	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	+/-	+	+/-	=	-	-	+/-	+	=	+
		Moderniser le matériel de récolte	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	+/-	=/+	+/-	=	-	-	+/-	=	=	=
		Utiliser des pneus basse pression	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Moderniser le matériel de distribution des rations animales	=/+	=/+	=/+	=/-	=/+	=/+	-	+/-	-	=	-	-	+	+	=	=
		Supprimer les fuites d'eau en élevage (bâtiments et pâtures)	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	-	-	=	=	+	=
	Agriculture de Précision (grâce aux Techniques d'Information et de Communication)	Moduler la fertilisation au sein des parcelles	+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	+	=	+
		Localiser les traitements phytosanitaires sur les rangs	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	=	=	=
		Moduler les traitements phytosanitaires selon la répartition des bio-agresseurs	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	-	-	=	=	=	=
		Utiliser un système de guidage automatique	=/+	=	+	+	+	+	+	+	+	=	-	-	=	=	=	=
		Installer des systèmes de monitoring pour gérer l'alimentation des animaux	+	=	+	+	+	+	-	+	-	=	-	-	=	+	=	+
		Installer des systèmes de monitoring pour gérer la conduite de l'élevage	=/+	=	+	+	+	+	-	+	-	=	-	-	=	=	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Choix et gestion des agroéquipements	Maîtriser les charges de mécanisation	Recourir à l'exterieur pour des travaux agricoles	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	+	=	=	+	=	=	+
		Recourir à l'entraide	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	+
		Recourir à des OAD ou des conseils pour les choix d'équipement et/ou d'organisation du travail	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
		Alonger la durée d'utilisation des matériels	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=/-
		Utiliser de l'huile végétale pure dans les moteurs en substitution au fioul	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	+
		Entretenir et réparer soi-même son matériel	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=
	Moderniser le matériel pour améliorer les performances	Moderniser le matériel de traction	=/+	=/+	=	=	=/+	=	=/+	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=/+
		S'équiper d'un matériel de travail du sol adapté	+	=/+	=/+	=	=/+	=/+	=/+	=	=/+	=/+	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=/+
		Moderniser le matériel d'épandage (engrais et produits phytosanitaires)	=/+	=	=/+	=	+	+	=	=	+	+	=/+	=/+	=	=	=	=	+	=/+	=	=/+
		Moderniser le matériel de récolte	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=/+
		Utiliser des pneus basse pression	+	=/+	=	=	=	=	=/+	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Moderniser le matériel de distribution des rations animales	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	+	+	=	=
		Supprimer les fuites d'eau en élevage (bâtiments et pâtures)	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=
	Agriculture de Précision (grâce aux Techniques d'Information et de Communication)	Moduler la fertilisation au sein des parcelles	=	=	=/+	=	+	=	=	=	=/+	+	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=
		Localiser les traitements phytosanitaires sur les rangs	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=/+	=/-	=	=	=
		Moduler les traitements phytosanitaires selon la répartition des bio-agresseurs	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=/+	=/-	=	=	=
		Utiliser un système de guidage automatique	+	=	=	=	=/+	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
		Installer des systèmes de monitoring pour gérer l'alimentation des animaux	=	=	=	=	+	=	+	+	=/+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=/+
		Installer des systèmes de monitoring pour gérer la conduite de l'élevage	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	+	+	+	=	=

E - Références bibliographiques

BAQUERO G., ESTEBAN B., RIBA J.R., RIUS A., PUIG R. 2011. An evaluation of the life cycle cost of rapeseed oil as a straight vegetable oil fuel to replace petroleum diesel in agriculture. *Biomass and Bioenergy*, 35, 3687-3697

BATES R.T., GALLAFHER R.S., CURRAN W.S., HARPER J.K. 2012. Integrating mechanical and reduced chemical weed control in conservation tillage corn. *Agronomy Journal*, 104, 505-517

BLACKMORE S. 1994. Precision farming - an introduction. *Outlook on Agriculture*, 23, 275-280

GUO Y., CORKE P., WARK T., BISHOP-HURLEY G., SWAIN D. 2006. Animal Behaviour Understanding using Wireless Sensor Networks. Proceedings of IEEE Conference on Local Computer Networks, 607-614

LAGERKVIST C.J., HANSONN H. 2012. Machinery-sharing in the presence of strategic uncertainty: evidence from Sweden. *Agricultural Economics,* 43, 113-123

MOSHOU D., BRAVO C., OERTI R., WEST J.S., RAMON H., VOUGIOUKAS S., BOCHTIS D. 2011. Intelligent multi-sensor system for the detection and treatment of fungal diseases in arable crops. *Biosystems Engineering*, 108, 311-321

PINAKI MONDAL, TEWARI V.K. 2010. Present status of precision farming: a review. *International Journal of Agricultural Research*, 5, 1124-1133

RASMUSSEN D.K., WEBER R., WECHSLER B. 2006. Effects of animal/feeding-place ratio on the behaviour and performance of fattening pigs fed *via* sensor-controlled liquid feeding. *Applied Animal Behaviour Science*, 98, 45-53

VERMEULEN G.D., PERDOK U.D. 1994. Benefits of low-ground pressure tyre equipment. **In:** Soane B.D., Ouwerkerk C van. (editors). Soil compaction in crop production. *Elsevier Publishers*, 447-478

CHAPITRE 10
GESTION DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE

A - Introduction 196
B - Descriptif par pratique élémentaire 198
C - Eléments-clefs à retenir 207
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 210
E - Références bibliographiques 211

CHAPITRE 10
Gestion des bâtiments d'élevage

A - Introduction

Les bâtiments d'élevage sont le centre de gravité des systèmes de production animale : leur fonction première est de permettre un exercice optimisé de l'activité sur tout ou partie de l'année. Ils sont le plus souvent à l'origine d'investissements très élevés qui engagent l'éleveur sur le long terme ; mal conçus au départ, ils doivent être « subis » pendant de nombreuses années. Ils conditionnent fortement les performances technico-économiques des élevages. Ils sont en outre très différents selon les productions et filières.

Les bâtiments sont au carrefour de nombreux enjeux auxquels sont confrontés les élevages ; on en distinguera quatre principaux :

- Des enjeux économiques d'abord. Le bâtiment d'élevage doit être pensé dans la perspective de réaliser des gains d'efficacité *via* la réduction des charges variables et/ou l'augmentation des produits (de leur volume et de leur nature). Les exemples du Nord de l'Europe pourraient laisser croire que la maîtrise des coûts en élevage spécialisé passe par l'agrandissement de la dimension des bâtiments de façon à exploiter des économies d'échelle (RMT Bâtiments d'élevage, 2012) ; les investissements correspondants ne peuvent en effet être rentabilisés que sur plusieurs années compte tenu des sommes en jeu. Résultats qu'il s'agira ci-dessous de qualifier au regard notamment des spécificités de l'élevage français, ainsi que des impacts de l'agrandissement sur les performances autres que productives et économiques ;
- Des enjeux sociaux ensuite. Le bâtiment doit en effet apporter des réponses à la demande d'amélioration des conditions de travail de l'agriculteur et de ses salariés, de l'organisation du travail et de la nécessaire augmentation de l'attractivité du métier d'éleveur, notamment en élevage porcin. La prise en compte des conditions de travail est aujourd'hui un point essentiel à considérer lors de la conception de nouveaux bâtiments. Le développement concomitant de l'automatisation (équipements de distribution de l'aliment, de traite et de surveillance des animaux, etc.) offre des possibilités de réduction du temps d'astreinte et de travail, ainsi que de la pénibilité de ce dernier. On note ainsi des écarts substantiels de temps de travail par unité de produit entre les différents pays européens (90 kilogrammes de porc par heure de travail en France mais 140 aux Pays-Bas et au Danemark, alors que la productivité des animaux est proche, d'après les résultats du RMT Bâtiments d'élevage publiés en 2012) ;
- Des enjeux de santé et de bien-être des animaux pour continuer. Le bâtiment d'élevage doit aujourd'hui respecter des conditions de logement (par exemple, en termes de surface minimale par bête) qui permettent de garantir la santé et le bien-être des animaux (par exemple, *via* l'optimisation des conditions d'ambiance), ainsi que la maîtrise des risques sanitaires pour les éleveurs, leurs salariés et les consommateurs ;
- Des enjeux environnementaux enfin. La conception des bâtiments doit aussi être réfléchie en visant une réduction des impacts négatifs des élevages sur la qualité de l'air et de l'eau, ou les consommations d'énergie (le bâtiment peut par ailleurs également être source d'énergie renouvelable). En outre, le bâtiment doit désormais inclure la dimension relative à son insertion dans le paysage et le territoire.

Ces quatre enjeux font que la MP Gestion des bâtiments d'élevage doit être considérée en lien étroit avec les deux MP Gestion des effluents et Gestion de la santé et du bien-être des animaux, certaines pratiques étant à l'interface entre ces trois MP : ainsi, la pratique relative à la litière relève à la fois du bâtiment d'élevage, de la gestion des effluents, et de la santé et du bien-être des animaux ; de même, les pratiques élémentaires de stockage des effluents relèvent naturellement de la gestion de ces derniers, mais aussi des bâtiments et de la santé et du bien-être des animaux.

On distinguera les bâtiments des filières de granivores qui sont, sauf pour les volailles et les porcs ayant accès au plein air, le seul milieu de vie des animaux. Il s'agit alors de bâtiments fermés avec ambiance maîtrisée, utilisés toute l'année et peu en lien avec le parcellaire de l'exploitation. A l'inverse, les bâtiments des filières de ruminants sont ouverts, rarement utilisés tout au long de l'année et en lien fort avec le parcellaire de l'exploitation. Compte tenu de ces différences essentielles entre les productions de monogastriques versus de ruminants, certaines des pratiques élémentaires ici décrites n'ont de sens que pour un type d'animal (par exemple, l'utilisation de bâtiments sur litière paillée en élevage porcin qui est distinguée de la même pratique élémentaire même pour l'élevage de ruminants) ; d'autres pratiques élémentaires sont plus génériques (par exemple, supprimer les fuites dans les bâtiments). En dépit de cette spécificité potentielle de certaines pratiques élémentaires, caractéristique qui n'est d'ailleurs pas unique à la présente MP Gestion des bâtiments d'élevage, nous avons néanmoins essayé de garder un niveau d'analyse aussi générique / agrégé que possible. En pratique, la MP a été divisée en cinq pratiques :

- *La gestion de la traite*. Cette pratique ne concerne, par définition, que l'élevage de ruminants laitiers. Comme la consommation d'énergie électrique du bloc de traite représente un poste important des dépenses énergétiques de l'exploitation (en moyenne, 19% de l'énergie totale, directe et indirecte, d'une exploitation conventionnelle de bovins laitiers ; Morin *et al.,* 2011), de nombreux équipements sont aujourd'hui proposés pour réduire la consommation d'énergie électrique dans la salle de traite et dans la laiterie. L'utilisation d'un robot de traite a été isolée car cette pratique élémentaire entraîne souvent une réorganisation en profondeur du système d'élevage, du bâtiment et des conditions de travail ;
- *La gestion de la litière*. Les productions de ruminants, avicoles et porcines sont utilisatrices de litière à des degrés divers, les plus gros usagers étant les ruminants et les volailles. L'élevage sur litière des porcs est souvent mis en avant pour en particulier des objectifs de bien-être animal et d'environnement. Concrètement, cette pratique élémentaire se développe peu avec aujourd'hui moins de 5% des élevages porcins français (CITEPA, 2012 ; Anonyme, 2012) ; elle aurait même tendance à régresser puisque selon le CITEPA (2012) presque 10% des porcins étaient élevés sur paille en 1990 ; l'élevage sur litière paillée est un peu plus fréquent pour les truies bien qu'il ait aussi fortement régressé, de 25% en 1990 à 10% en 2010, toujours selon le CITEPA (2012). Cette pratique modifie en profondeur le système d'élevage relativement à l'élevage porcin plus traditionnel sur caillebotis. Chez les ruminants, les litières paillées sont plus courantes. Près de 55% des 19 millions de bovins français sont logés sur litière paillée lorsqu'ils ne sont pas au pâturage. Cette proportion tend néanmoins à diminuer. Ainsi, 63% des vaches laitières étaient logées sur des litières paillées en 1990 mais seulement 50% en 2010 (CITEPA, 2012), l'évolution étant identique chez les vaches allaitantes et les bovins de boucherie, à l'exception des veaux. Chez les volailles, la litière est la modalité la plus courante, à l'exception des canards qui sont exclusivement élevés sur des systèmes lisier avec caillebotis et des pondeuses élevées en cages (RMT Elevage et Environnement, 2010). Les phénomènes biologiques et physico-chimiques à l'œuvre dans les litières et par suite, les dégagements des différents gaz (N_2, N_2O, NH_3 et CH_4), diffèrent selon qu'il s'agit de litières de porc versus de ruminants (Peyraud *et al.,* 2012) ; les situations des porcins versus des bovins ont donc été distinguées ;
- *La gestion de l'eau*. De nombreux progrès ont été réalisés ces dernières années en termes de réduction des consommations d'eau des différents élevages, au niveau à la fois du nettoyage des bâtiments et de l'abreuvement des animaux. Deux pratiques élémentaires sont considérées, d'une part, la suppression des fuites dans les bâtiments, fuites qui sont une source de gaspillage souvent considérable, et, d'autre part, la réduction des pertes d'eau lors de l'abreuvement par le choix

d'abreuvoirs économes ; cette deuxième pratique élémentaire concerne plus particulièrement les volailles et les porcs ;

- *La gestion de l'énergie*. Cette pratique inclut, d'une part, la possibilité de production d'énergie par les bâtiments d'élevage (à l'exception de la méthanisation qui relève de la MP Gestion des effluents d'élevage, et, d'autre part, une gamme diversifiée de solutions visant à réduire la consommation énergétique dans les bâtiments d'élevage ;
- *La gestion de l'ambiance enfin*. Deux pratiques élémentaires permettent de réduire les émissions de NH_3, d'odeurs, de poussières, etc. : il s'agit des outils de lavage de l'air (principalement utilisés dans les porcheries) et de la brumisation (qui peut aussi avoir un intérêt pour diminuer la température du bâtiment en période chaude). Une troisième pratique élémentaire a trait à la ventilation des bâtiments de façon à maintenir une température et une qualité de l'air adaptées au stade physiologique des animaux ; elle est ici scindée en deux en fonction du niveau d'investissement, i.e., de la reconfiguration des bâtiments que les deux pratiques élémentaires impliquent.

B - Descriptif par pratique élémentaire

B1 - Traite

B1.1 - Optimiser le système de traite pour économiser l'énergie (pré-refroidisseur de lait, récupérateur de chaleur du tank à lait, etc.)

Installer un pré-refroidisseur de lait et/ou un récupérateur de chaleur du tank à lait vise en premier lieu à des économies d'énergie électrique et des coûts correspondants.

Selon Morin *et al.* (2012), le bloc de traite représente en effet entre 80 et 95% de la consommation électrique d'un élevage de ruminants laitiers qu'elle que soit l'espèce (bovins, ovins, caprins), consommation qui se répartit au niveau des trois postes du tank à lait (premier poste de dépenses), du chauffe-eau et de la pompe à vide. Le pré-refroidisseur de lait permet d'abaisser la température du lait avant son arrivée dans le tank en transférant les calories vers l'eau au moyen d'un échangeur de chaleur : le lait arrive ainsi dans le tank à une température comprise entre 18 et 23 degrés Celsius au lieu de 35 degrés, ce qui réduit la consommation électrique du tank de 40 à 50% ; l'eau tiède peut en outre être utilisée pour l'abreuvement des animaux ou le lavage des bâtiments. Le récupérateur de chaleur quant à lui permet de recueillir les calories dégagées par le tank à lait pour préchauffer l'eau nécessaire au nettoyage de l'installation de traite ; il permet de réduire la consommation électrique du chauffe-eau de 70 à 80%.

Ces deux équipements sont sans impact sur la production. Ils permettent de diminuer les charges variables et d'augmenter la rentabilité, la VA et l'EBE, au prix d'une dégradation de l'endettement pour financement de l'investissement : chaque équipement a un coût unitaire compris entre 3 000 et 5000 euros hors taxes ; ce coût peut réduire temporairement le RCAI avec un retour sur investissement estimé entre 5 et 8 ans (RMT Elevage et Environnement, 2010). L'impact sur la transmissibilité de l'exploitation est jugé positif en dépit du coût d'investissement.

Ces équipements permettent de réduire la consommation directe d'énergie électrique et ont donc un effet positif sur les émissions de GES, une partie de l'énergie électrique étant d'origine hydraulique (1 kWh électrique consommé correspond à 84 grammes équivalent CO_2 ; RMT Elevage et Environnement, 2010).

L'impact de ces équipements sur les autres performances est neutre ; on notera en particulier l'absence d'impact sur le temps de travail de l'éleveur, et sa pénibilité.

B1.2 - Utiliser un robot de traite

Le robot de traite apparaît aujourd'hui comme une des voies principales de réduction de la charge de travail en élevage laitier (vaches laitières). Le gain de temps correspond en première approximation à celui de la traite, soit environ 2 heures par jour un troupeau de 60 vaches ; le travail est en outre plus facile et plus flexible par suppression de l'astreinte. On notera toutefois que le gain de temps peut être un plus faible que cette valeur car la mise en place d'un robot s'accompagnera souvent de la modification d'autres pratiques ne relevant pas de la présente MP. Ainsi, l'installation d'un robot entraînera souvent une réduction du pâturage au profit de l'affouragement à l'étable qui exige plus de temps ; il accroît également le temps requis pour la gestion des effluents, les animaux restant à l'intérieur des bâtiments d'élevage plus longtemps.

Le robot de traite ne modifie pas la production de lait à l'échelle d'une lactation tant que le système d'alimentation reste inchangé. De meilleurs démarrages en lactation avec augmentation du nombre de traites quotidiennes ont pu être observés, mais cet effet est contrebalancé par des lactations généralement plus courtes et une moindre fréquentation au robot sur la fin de lactation. Les enquêtes conduites par l'IDELE montrent que la qualité du lait est légèrement dégradée du fait d'une faible baisse du taux butyrique (environ 1 gramme par litre), d'un accroissement de la lipolyse d'autant plus importante que la fréquence de traite (i.e., de passage au robot) est élevée, et souvent aussi une détérioration de la sante de la mamelle qui se traduit par un accroissement du nombre de cellules somatiques dans le lait.[67] Cette légère dégradation de la qualité explique la réticence de certaines AOC à un développement du robot. Notons toutefois que d'autres pratiques élémentaires misent en œuvre simultanément à l'occasion de l'arrivée du robot peuvent moduler l'effet sur la production. Ainsi, la production de lait s'accroit si l'éleveur est amené à distribuer du concentré au robot pour attirer les vaches ou lorsque l'arrivée du robot s'accompagne aussi d'une réduction du pâturage au profit du maïs ensilage.

Le robot de traite a un impact négatif sur les charges variables du fait des coûts de maintenance qui sont plus élevés que pour une salle de traite, avec des écarts très variables selon les contrats de maintenance, jusqu'à 50%. Il faut en outre ajouter le surcoût de consommation électrique. Son impact sur la rentabilité, la VA et l'EBE est donc négatif ou au mieux neutre.[68] Son impact sur le RCAI est négatif sous le double jeu de l'impact négatif, au mieux neutre, sur la VA et l'EBE et surtout d'une augmentation de l'endettement liée au coût d'investissement direct (achat du robot) et des aménagements nécessaires dans les bâtiments (installation du robot). Au total, il y a donc dégradation, au mieux maintien, des résultats économiques, ceci d'autant plus que l'adéquation du robot à la taille du troupeau est peu flexible, contrairement à la salle de traite, du moins dans une certaine mesure. Une unité de robot est conseillée pour 60-70 vaches laitières.

L'installation du robot de traite accroît la consommation d'énergie directe électrique. A alimentation inchangée, il ne modifie pas la consommation d'énergie indirecte. L'accroissement du temps de présence des animaux en stabulation accroît les émissions de NH_3, celles-ci étant toujours plus élevées en bâtiment qu'au pâturage et le robot étant généralement associé à un temps de présence plus long des animaux en stabulation (Peyraud *et al.,* 2012). A cette exception, le robot de traite n'a pas d'effets sur les

[67] Les cellules somatiques sont composées de cellules épithéliales et surtout des globules blancs. Ceux-ci sont naturellement présents dans la mamelle où ils participent activement à la défense contre une éventuelle infection. Dans le cas d'une infection (une mammite par exemple), il y alors afflux important de globules blancs dans la mamelle. Cette réaction est normale et salutaire pour l'animal car elle lui permet de combattre efficacement l'infection. Le lait d'une vache saine contient moins de 150 000 cellules par millilitre ; le lait d'une vache atteinte de mammite peut en contenir plusieurs millions par millilitre. Le taux cellulaire du tank à lait permet donc d'évaluer l'état sanitaire des vaches de l'exploitation.

[68] Toutes choses égales par ailleurs, notamment sans accroissement de la taille du troupeau et de son mode d'alimentation.

performances environnementales liées au sol, à l'eau, à l'air et la biodiversité. Il a un impact neutre sur la santé et le bien-être des animaux.

B2 - Litières

B2.1 - Utiliser des bâtiments sur litière paillée en élevage porcin

La technique consiste à recouvrir presque entièrement le sol en béton plein d'une couche de paille ou d'autres matériaux ligno-cellulosiques pour absorber l'urine et les fèces. Les pailles de blé ou d'orge sont les principaux substrats utilisés comme litière (80% des substrats utilisés). Les résidus de la transformation du bois peuvent aussi être utilisés, mais une attention particulière doit alors être portée au dépoussiérage du matériau ainsi qu'à l'absence de traitement du bois ; de fait, l'élevage sur sciure a aujourd'hui pratiquement disparu. Les élevages sur litière apparaissent comme des modes d'élevage répondant à une demande sociétale croissante relative au bien-être animal et l'environnement. Ce type d'élevage porcin reste néanmoins très minoritaire ; on estime que 5% seulement des places en engraissement sont sur litière, l'immense majorité restant sur caillebotis et lisier car cette modalité présente de nombreux avantages pour les éleveurs (travail simplifié avec animaux du fait en particulier de l'automatisation possible de l'évacuation des effluents ;moindre coût de logement car la paille est de plus en plus chère ; animaux plus propres ; et problème croissant de l'approvisionnement en paille et du coût de cet approvisionnement. La mise aux normes « bien-être » des truies, se traduisant principalement par la mise en groupes des truies gestantes, devrait contribuer au développement des systèmes sur paille, au moins pour ce stade physiologique.

La litière paillée ne modifie pas la production des animaux par mètre carré de bâtiment, mais dégrade la qualité de la production en raison principalement d'une adiposité supérieure. On notera néanmoins que cette pratique élémentaire s'accompagne très souvent d'une réduction significative de la densité animale et a donc pour effet indirect de réduire la production par mètre carré de bâtiment.

Les charges variables sont fortement accrues du fait de l'achat du matériau constitutif de la litière. Le chiffre d'affaires n'est pas affecté ; il peut être légèrement diminué en lien avec la baisse de la qualité des carcasses ou au contraire augmenté lorsque la production s'inscrit dans une filière qualité (label rouge fermier par exemple). Les performances économiques de court terme (rentabilité, VA, EBE, RCAI et autonomie productive) sont donc généralement impactées négativement. La dépendance aux aides est jugée inchangée car les ateliers porcins ne bénéficient que très peu de soutiens budgétaires publics. L'endettement peut augmenter en lien avec la construction de nouveaux bâtiments ou la rénovation des anciens. Toutefois le coût à la place en litière sur paille peut ne pas être très supérieur à celui de la place en bâtiments sur lisier, des économies sur la ventilation et l'isolation permettant de compenser le coût de la litière. Les performances économiques sont davantage dégradées si la litière paillée s'accompagne d'une réduction importante de la densité animale des bâtiments.

La pratique élémentaire a peu de conséquences sur la consommation directe d'énergie, l'augmentation de consommation associée à la manipulation des litières étant compensée par les économies de consommation liées au chauffage et à la ventilation.

Le temps de travail de l'éleveur est impacté négativement ; néanmoins, sa nature change dans un sens qui peut rendre ce surcroît de travail et le travail de façon générale mieux acceptés. Malgré la poussière occasionnée par le paillage, la qualité de l'air est généralement améliorée du fait de la conception des bâtiments, ceux-ci étant généralement ouverts sur un côté.

La pratique élémentaire améliore le bien-être des animaux et plusieurs performances environnementales : apport de MO aux sols et amélioration de leurs caractéristiques physiques, moindres

risques de compactage et d'érosion, légère diminution des risques de lessivage du nitrate, l'intensité de la réduction étant fonction des phénomènes d'organisation (stockage) et de minéralisation (libération) de l'azote dans les sols.

L'impact de la pratique élémentaire sur les émissions de GES et d'odeurs dépend de la température, de l'humidité de la litière et de son aération.

Les émissions de NH_3 peuvent être réduites (de 5 à plus de 50%), l'ampleur de l'abattement étant fortement dépendante de la gestion de la litière qui doit assurer une disponibilité suffisante en carbone et en oxygène (porosité du substrat) pour limiter les émissions de NH_3. Un paillage en quantité insuffisante et/ou trop peu fréquent, notamment dans les zones où les animaux regroupent leurs déjections, peuvent accroître les émissions de NH_3. Au total, l'impact de la pratique élémentaire sur les émissions de NH_3 dépend donc fortement de sa mise en œuvre, en matière en particulier de paillage et de densité (Rigolot *et al.,* 2010). L'utilisation d'activateurs de litières (microorganismes) pourrait, en modifiant les réactions biologiques, diminuer les émissions directes de NH_3. Les émissions de N_20 sont plus élevées sur litières relativement aux caillebotis avec de fortes variations selon l'état et la gestion des litières. A l'inverse, les émissions de CH_4 sont généralement réduites. Compte tenu des pouvoirs relatifs de réchauffement climatique de ces deux gaz, l'impact exprimé en équivalent CO_2 aurait plutôt tendance à augmenter (Rigolot *et al.,* 2010). La réduction des odeurs est significative, à l'exception des cas de litières très mal gérées.

Les utilisations de médicaments vétérinaires peuvent être réduites dans la mesure où l'état sanitaire des animaux élevés sur litières est le plus souvent supérieur à celui de leurs congénères élevés sur lisiers / caillebottis (sauf si l'état des litières est fortement dégradé).

B2.2 - Utiliser des bâtiments sur paille en élevage de gros ruminants

Les productions herbivores sont traditionnellement de fortes consommatrices de litières paillées. Les bovins en consomment en moyenne 760 kilogrammes par animal et par an, les caprins 350 kilogrammes et les ovins 130 kilogrammes (RMT Elevage et Environnement, 2010). Les ruminants élevés sur litière paillée peuvent être conduits, soit à l'attache (élevage traditionnel qui se maintient en zone de montagne), soit en stabulation libre qui est la forme la plus répandue aujourd'hui. Il s'agit quasi-exclusivement de paille de céréales.

L'impact de la pratique élémentaire sur la performance zootechnique est ambigu : le confort est amélioré ce qui peut augmenter la productivité, mais les risques de pathologie, notamment les mammites, sont également augmentés ; l'impact final dépend donc étroitement des conditions globale d'hygiène. La qualité du lait (taux butyreux et protéique, lipolyse, profil en acides gras) et/ou de la viande est très peu affectée.

Tout comme la pratique élémentaire précédente relative à l'utilisation de litières paillées en élevage porcin, l'utilisation de bâtiments sur paille en élevage bovin a un impact négatif sur les performances économiques (rentabilité, soldes de gestion, autonomie productive), la consommation indirecte d'énergie, les émissions de GES[69] et le temps de travail de l'éleveur et de sas salariés ; la sensibilité aux aléas est réduite ou inchangée. Et tout comme pour la pratique élémentaire précédente, les performances environnementales sont souvent améliorées. Le compactage du sol et les risques d'érosion sont réduits, le taux de MO augmenté. Les émissions de nitrate sont réduites, au pire inchangées. Les émissions de NH_3 au champ sont plutôt réduites, l'effet étant d'autant plus important que les fumiers sont évacués rapidement (ce qui accroit la charge de travail).

[69] Les émissions de N_20 augmentent moins avec les bovins sur paille relativement aux porcins sur paille, mais il y en contrepartie accroissement des émissions de CH_4 : l'impact de la pratique élémentaire sur les émissions totales de GES est donc ambigu, plutôt négatif en moyenne.

B3 - Eau

B3.1 - Supprimer les fuites d'eau dans les bâtiments d'élevage

Cette pratique élémentaire a pour effet premier, par définition, de réduire la consommation d'eau des bâtiments d'élevage. Cette réduction des fuites permet de diminuer les charges variables et, dans une situation où la production est inchangée en volume et en valeur, d'améliorer la rentabilité, la VA, l'EBE, l'autonomie productive et la sensibilité au aides (au sens d'une moindre dépendance).[70] Si l'impact sur le RCAI est ici noté positif ou neutre, c'est parce que la pratique élémentaire peut requérir l'acquisition de compteurs d'eau pour mieux détecter les fuites, ce qui peut accroitre modérément l'investissement et l'endettement.

La réduction du gaspillage d'eau permet d'obtenir des litières plus sèches, ce qui réduit les émissions de NH_3 et d'odeurs ; les autres performances environnementales ne sont pas affectées. Dans le cas de la production de lisier les volumes et les coûts de transports et d'épandage sont réduits.

B3.2 - Utiliser des abreuvoirs économes en eau

La consommation d'eau pour l'abreuvement est importante. A titre d'exemple, elle représente 120 mètres cubes pour une bande de 25 000 poulets (RMT Elevage et Environnement, 2010). En élevage de volailles, les abreuvoirs en cloche sont les moins performants car il y toujours des débordements : les mini-coupelles et les pipettes (qui permettent à ce que l'eau tombe directement dans le bec) permettent de réduire ces pertes. En élevage porcin, les abreuvoirs à tétine occasionnent des pertes importantes : leur remplacement par des abreuvoirs à bol et palette permet de limiter les pertes. De façon générale, la vérification régulière des débits d'eau des abreuvoirs permet aussi de limiter les pertes d'eau.

Cette pratique élémentaire a des impacts sur les différentes performances identiques à ceux de la pratique élémentaire précédente (« supprimer les fuites d'eau dans les bâtiments d'élevage »), à quelques exceptions. L'investissement (et l'endettement qu'il induit) est ici augmenté : le coût de mise en place de dispositifs de pipettes est compris entre 4 et 8 euros par mètre carré de bâtiment ; celui des abreuvoirs à niveau constant est de 0,1 centime d'euro par kilogramme de porc produit avec un amortissement sur 10 ans (RMT Elevage et Environnement, 2010) ; de ce fait, l'impact sur le RCAI est plutôt négatif, au mieux inchangé. Et la diminution de la consommation totale d'eau pour la boisson des animaux du fait d'une réduction des fuites, à même consommation par les animaux, réduit les volumes d'effluents à gérer, d'où une réduction de la consommation directe d'énergie pour l'épandage et un gain de temps pour l'éleveur.

B4 - Energie

B4.1 - Utiliser des bâtiments et des équipements producteurs d'énergie (hors méthanisation)

Cette pratique élémentaire a pour objectif de remplacer la consommation d'énergie fossile par des énergies renouvelables, notamment le solaire. Les équipements concernés incluent les chauffe-eau solaires, principalement en élevage laitier ; les échangeurs de chaleur air/air qui récupèrent une partie de la chaleur de l'air extrait du bâtiment pour le transférer à l'air entrant dans le bâtiment ; et les pompes à chaleur qui récupèrent les calories issues de diverses sources pour les restituer dans les bâtiments d'élevage, principalement dans les élevages porcins (technique également utilisable en élevages de volailles).

[70] Dans le cas de production de lisier, les volumes (de lisier) et ses coûts de transport et d'épandage sont réduits.

Ces équipements permettent de réduire la consommation directe d'énergie, électrique et autres énergies. Ils entraînent donc une diminution des émissions liées de GES, et permettent de réduire la sensibilité de l'exploitation aux fluctuations des cours de l'énergie. De ce fait, en en dépit de l'investissement requis, on peut penser que cette pratique favorise la transmissibilité de l'exploitation, les gains espérés à moyen/long terme du reprenant étant supérieurs aux coûts des annuités à court/moyen terme.

La pratique élémentaire a un impact neutre sur la production, sur les plans quantitatif et qualitatif. Par suite, l'amélioration des performances économiques de court terme (rentabilité, VA, EBE et autonomie productive) sera d'autant plus grande que la réduction des charges variables, plus spécifiquement de la consommation directe d'énergie, sera forte, cette réduction pouvant être substantielle dans le cas, par exemple, des échangeurs air/air. Ceci au prix d'un coût d'investissement lui aussi substantiel : il est de 105 euros par vache laitière pour un chauffe-eau solaire (coût variable selon l'ensoleillement de la zone d'implantation) ; Il est de 20 euros par place en élevage porcin pour une pompe à chaleur relativement à un système de chauffage classique ; le retour sur investissement est compris entre 5 et 10 ans selon les équipements (RMT Elevage et Environnement, 2010). La pratique élémentaire peut avoir pour effet d'accroître la dépendance aux aides dès lors que les investissements requis sont éligibles au plan de performance énergétique (RMT Elevage et Environnement, 2010).

A l'exception des postes consommation directe d'énergie et émissions de GES, la pratique élémentaire n'a pas d'impacts sur les autres performances relatives à la consommation de ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement. L'entretien des équipements et la surveillance peut entraîner un (léger) surcroît de travail pour l'éleveur.

B4.2 - Utiliser des bâtiments et des équipements permettant des économies d'énergie (isolation, étanchéité, échangeurs de chaleur, etc.)

Cette pratique élémentaire rassemble des équipements et des techniques permettant des économies d'énergie, depuis une utilisation économique de l'électricité ou du gaz pour le chauffage, l'éclairage et la ventilation des bâtiments, jusqu'aux travaux d'isolation et d'étanchéité des bâtiments. Ces équipements et techniques concernent toute la chaîne du lait en élevage laitier ; ils ont un rôle moins stratégique en élevage allaitant. Ils sont également très importants en élevages porcins et avicoles dans la mesure où les bâtiments doivent être chauffés à certains stades de vie des animaux.

Les impacts de cette pratique élémentaire sur les différentes performances sont le plus souvent identiques à ceux de la pratique élémentaire précédente.

Sans effet sur la production quantitative et qualitative, cette sous pratique permet de réduire la consommation directe d'énergie, possiblement dans des proportions importantes et dépendantes de l'état initial du bâtiment, jusqu'à un facteur 2 dans les élevages peu performants initialement sur ce point (RMT Elevage et Environnement, 2010) ; les charges variables correspondantes sont donc également réduites et cette baisse permet d'améliorer les performances économiques de court terme (rentabilité, VA, EBE, autonomie productive).

L'utilisation plus économique de l'électricité et du gaz ne nécessite pas d'investissement (entretien du matériel, réduction des gaspillages), ou seulement un investissement mineur (par exemple, *via* l'utilisation de lampes à basse consommation). A contrario, remplacer les installations de chauffage et améliorer l'isolation des bâtiments, par leur reconditionnement et/ou la construction de nouveaux bâtiments plus économes en énergie, requiert des investissements élevés et par suite, dégrade l'endettement (et donc le RCAI). Le retour sur investissement est très variable selon les mesures mises en œuvre, entre 1 et 5 ans pour l'éclairage électrique, de 2 à plus de 10 ans pour les appareils de chauffage et de ventilation et l'isolation des bâtiments (RMT Elevage et Environnement, 2010).

La qualité des bâtiments et leurs consommations énergétiques peuvent constituer des critères importants dans l'évaluation de leur valeur et plus généralement dans la transmissibilité des outils. Malgré l'investissement initial qui peut réduire le RCAI sur quelques années, on peut penser que cette pratique favorise la transmissibilité de l'exploitation, les gains espérés à moyen/long terme du reprenant étant supérieurs aux couts des annuités à court/moyen terme.

L'entretien et la surveillance des équipements peuvent légèrement augmenter la charge de travail de l'éleveur. Une bonne isolation des bâtiments étant un facteur clé de la maîtrise de la ventilation, cette technique contribue indirectement à améliorer le bien-être des animaux ; les autres équipements et techniques relevant de cette pratique élémentaire n'ont pas d'impact sur la santé et le bien-être des animaux.

B5 - Ambiance

B5.1 - Utiliser des outils de lavage de l'air en élevage porcin

L'objectif de la pratique élémentaire est de réduire les émissions de NH_3, d'odeurs et de poussières en sortie des bâtiments d'élevage porcin. Son principe consiste à faire passer certains composants de l'air de la forme gazeuse à la forme liquide, ceci à l'aide d'un caisson de lavage en sortie de porcherie. Au contact de l'eau, éventuellement acidifiée, l'air se décharge de composés, dans des proportions variables selon la nature de ceux-ci ; le lavage favorise également la sédimentation des poussières. Selon les analyses du RMT Elevage et Environnement (2010), cette technique permet de considérablement réduire les émissions de NH_3 (entre 40 et 90%) et d'odeurs (jusqu'à 75%).

Les impacts positifs de cette pratique élémentaire sont donc la réduction des émissions de NH_3 et d'odeurs, ainsi qu'une diminution de l'exposition aux risques par baisse des contacts avec les particules fines.[71] Ces impacts positifs sont à considérer en regard des performances détériorées. La pratique élémentaire entraîne en effet une augmentation de la consommation directe d'énergie pour la ventilation, le fonctionnement des pompes à eau et une augmentation de la consommation d'eau (pouvant aller jusqu'à 250 litres par porc fini ; RMT Elevage et Environnement, 2010). Ces deux augmentations, et les coûts d'entretien de l'installation, accroissent les charges variables et dégradent les performances économiques à court terme (rentabilité, VA et EBE). En outre, l'utilisation de la pratique élémentaire requiert un investissement conséquent, d'environ 15 000 euros pour un élevage de 2 000 places (RMT Elevage et Environnement, 2010) et donc, augmente l'endettement. Le RCAI diminue sous le double jeu de l'augmentation des charges variables et des annuités d'endettement

La pratique élémentaire n'a pas d'effet sur la production quantitative et qualitative. Les installations étant situées en sortie des bâtiments, il n'y a pas d'effet sur la santé et bien-être des animaux. On peut penser qu'elle favorise la transmissibilité de l'exploitation en éliminant les émissions d'odeurs pour le voisinage malgré les investissements requis.

B5.2 - Installer des rampes de brumisation

Les rampes de brumisation ont pour objectif de refroidir les bâtiments en période chaude, par absorption de la chaleur de l'eau passant de l'état liquide à l'état gazeux. Cette pratique élémentaire améliore le bien-être des animaux avec des réductions de la température ambiante entre 4 à 7 degrés Celsius au moment le plus chaud de la journée. Ceci peut s'accompagner d'une diminution des

[71] Un autre impact positif est une amélioration de l'image de l'élevage, et de son acceptabilité par le voisinage, *via* la limitation des odeurs.

problèmes de fertilité et des retards de croissance dus à la chaleur et donc, d'un accroissement de la production sans affecter sa qualité.

La consommation directe d'énergie associée au fonctionnement de la brumisation dépend des conditions climatiques, d'où un impact sur ce poste de dépenses neutre ou négatif. Il en est de même pour la consommation d'eau de lavage ; néanmoins, comme la brumisation permet un pré-trempage des salles avec donc économie légère des eaux de lavage, on a considéré que l'impact de la pratique élémentaire sur la consommation totale d'eau est globalement neutre.

Les effets de cette pratique élémentaire sur les performances économiques sont difficiles à apprécier. L'effet plutôt positif lié à l'augmentation de la production doit être mis en regard de l'effet plutôt négatif lié à l'accroissement des charges variables, accroissement par ailleurs variable en fonction du nombre de jours d'utilisation des rampes de brumisation[72]. Le coût d'investissement requis pour équiper une salle d'engraissement est relativement modeste, moins de 0,2 centimes d'euro par kilogramme de porc pour un amortissement sur environ 10 ans. Du fait de ce niveau d'investissement plutôt faible, on a considéré que cette sous pratique n'affecte pas, voire améliore légèrement, la transmissibilité de l'atelier, ceci parce qu'elle est favorable au bien-être des animaux qui est une attente de plus en plus exprimée par les éleveurs, ne serait-ce qu'en réponse aux demandes de plus en plus fortes du reste de la société en ce domaine.

La brumisation réduit les émissions de NH_3 et de poussières liées aux bâtiments, réduction qui contribue à limiter l'exposition aux risques, tant pour l'éleveur que pour son voisinage. Elle réduit aussi les émissions d'odeurs en période chaude. L'entretien des rampes augmente (légèrement) la charge de travail ; on notera en outre que les éleveurs ne passent généralement guère de temps à cet entretien, ce qui a pour contrepartie de réduire le temps de vie à 5 ans en moyenne alors que ces équipements peuvent facilement être fonctionnels une dizaine d'année avec un entretien régulier.

B5.3 - Améliorer la ventilation et la température des bâtiments d'élevage (monogastriques) par la maîtrise des débits d'air

La ventilation a pour rôle d'évacuer la vapeur d'eau, le CO_2, le CH_4 et le NH_3, et d'apporter l'oxygène nécessaire à la respiration des animaux pendant toute l'année, tout en limitant l'élévation des températures en période chaude et les déperditions de chaleur en hiver. Le dispositif qui fait entrer l'air dans les salles est largement responsable du fonctionnement satisfaisant ou au contraire défaillant des bâtiments. La ventilation est dynamique (régulée par des appareils consommateurs d'énergie) en élevage de monogastriques ; elle est le plus souvent statique (simple circulation d'air) en élevage de ruminants.

Une bonne régulation de la ventilation coordonnée avec un bon réglage du chauffage et une bonne isolation des bâtiments permet de maitriser l'ambiance dans ces derniers, et de placer les animaux dans les meilleures conditions pour exprimer leur potentiel, d'où des croissances optimisées, moins de problèmes de santé des animaux, une diminution des utilisations de médicaments vétérinaires et une amélioration du bien-être des animaux. Quand la ventilation est déficiente, notamment quand la température des bâtiments diminue, l'animal a tendance à utiliser une proportion plus importante de l'aliment qu'il consomme pour le maintien de sa température. La quantité d'aliment consommé peut donc augmenter dans le cas d'une alimentation à volonté, ou on peut voir apparaître des retards de croissance dans le cas d'une alimentation rationnée (RMT Elevage et Environnement, 2010).

Les charges variables peuvent de ce fait ou augmenter ou diminuer ; mais, à la hausse comme à la baisse, les variations de ces charges sont en tout état de cause modérées, « tout » n'étant qu'une question de

[72] La dégradation, si elle a lieu, des performances économiques de cette pratique élémentaire est très vraisemblablement inférieure à celle qui résulte de la mise en œuvre de la pratique élémentaire précédente (« utiliser des outils de lavage de l'air en élevage porcin ») dans la mesure où cette dernière n'a pas d'impact positif sur la production (contrairement à la présente pratique élémentaire).

réglages à adapter en fonction de la saison et éventuellement des types de bâtiments. Compte tenu de l'impact positif sur la production quantitative, la pratique élémentaire a plutôt pour effet d'améliorer les performances productives que sont la rentabilité, la VA, l'EBE, le RCAI (il n'y pas d'investissement particulier requis), l'autonomie et la dépendance aux aides. De ce fait la transmissibilité de l'atelier est plutôt améliorée.

Les performances environnementales affectées sont l'utilisation de médicaments vétérinaires (diminuée ou inchangée) et les émissions de NH_3 et d'odeurs toutes deux diminuées. Certes, les émissions de NH_3 augmentent avec les élévations des débits d'air (courants d'air) mais, inversement, des débits d'air trop faibles entraînent un accroissement des concentrations d'ammoniac dans les bâtiments : un débit d'air bien régulé permet d'obtenir un optimum entre ces deux effets contraires.

B5.4 - Améliorer la ventilation par des rénovations dans les bâtiments

Cette pratique élémentaire poursuit le même objectif que la précédente et a de ce fait les mêmes impacts sur une très grande majorité de performances, à une exception notable : parce qu'elle requiert un investissement initial nettement plus élevé, elle a pour effet d'accroitre l'endettement et de détériorer le RCAI (alors que la VA et l'EBE sont améliorés). Contrairement à la sous pratique précédente, la transmissibilité est négativement affectée compte tenu des investissements requis qui peuvent être conséquents.

B5.5 - Maitriser la durée d'éclairage en bâtiment pour stimulation photopériodique

Chez les espèces les plus sensibles aux saisons (ovins, caprins, volailles…), c'est la photopériode qui est responsable du contrôle externe des variations saisonnières de l'activité de reproduction, conditionnant ainsi la disponibilité en produits animaux (lait, viande, œufs…). Au cours des dernières décennies, les traitements photopériodiques ont été utilisés dans un grand nombre d'espèces d'élevage, en particulier les volailles de chair et de ponte et les mammifères, avec l'objectif ultime de fournir aux consommateurs une disponibilité des produits animaux frais toute l'année (revue de Chemineau *et al*. 2010).

Le développement considérable des productions avicoles intensives est dû, pour une part, aux conséquences de la mise au point et de l'utilisation de programmes « jours longs définis », applicables à chaque période de la vie des reproducteurs. Ces traitements consistent à définir et appliquer, pour chaque espèce et même chaque type de production (ex: ponte, chair), des programmes lumineux spécifiques (en durée d'exposition, variation de la durée, intensité lumineuse…) à partir de deux à trois semaines après l'éclosion jusqu'à la fin de la saison de reproduction. Depuis plusieurs décennies, la majorité des poules pondeuses produisant des œufs de consommation sont soumises à des régimes lumineux « fractionnés » (i.e. fournissant plus d'une période claire et obscure par jour), nécessitant l'utilisation de bâtiments obscurs. D'un point de vue zootechnique, de tels régimes, dans lesquels le cycle de 24 heures est fractionné en plusieurs périodes obscures et claires, peuvent, selon le type de programme utilisé (asymétrique, symétrique, etc.), produire une augmentation de la fréquence de ponte, du poids des œufs et/ou de la consommation alimentaire. Chez les poulets de chair, un ajustement spécifique à l'environnement extérieur (lumière, température), pour les reproducteurs mâles et femelles, a aussi été d'un grand intérêt pour développer des programmes d'insémination artificielle (IA). Des modifications sont cependant en cours pour ajuster les systèmes de production d'œufs aux contraintes des règlements européens.
Chez les mammifères, les traitements photopériodiques sont intéressants pour contrôler l'activité saisonnière de reproduction, en particulier chez les ovins et caprins. Les centres de production de semence (pour l'IA des chèvres et des brebis) souhaitant disposer de semence tout au long de l'année s'équipent de bâtiments fermés étanches à la lumière, afin d'utiliser des régimes photopériodiques dits « accélérés » faisant alterner en permanence un mois de jours longs avec un mois de jours courts. Ces programmes permettent le maintien d'une production de semence élevée des boucs et béliers, sans

variation saisonnière de la qualité de semence. Dans les centres qui ne sont pas assujettis à une production continue de doses au cours de l'année, les béliers sont soumis à deux à trois mois de jours longs (éclairage artificiel) en période hivernale, suivis soit par des jours courts ou décroissants s'ils sont en bâtiment fermé, soit par un retour à la photopériode naturelle (le cas échéant *via* un traitement par des implants sous-cutanés de mélatonine) pour mimer des jours courts s'ils sont en bergerie ouverte. C'est ce second type de traitement qui est mis en œuvre sur les cheptels de production caprins et ovins soumis au désaisonnement, car leurs bâtiments sont généralement ouverts à la lumière naturelle, les bâtiments étanches à la lumière étant très coûteux.

- La maîtrise de la durée d'éclairage en bâtiment pour stimulation photopériodique ne modifie pas les quantités de lait, de viande ou d'œufs produites, ni leur qualité, bien qu'elle contribue significativement à en étaler la production au cours de l'année par désaisonnement des périodes de reproduction naturelle (dans les espèces non désaisonnées) ;
- La valeur des produits s'en trouve augmentée dans les filières où le désaisonnement n'est pas systématisé (ovins, caprins), contrairement aux filières avicoles où cette pratique est la règle. Corrélativement, la valeur ajoutée, l'EBE, l'autonomie productive et la dépendance aux aides sont améliorées ou restent stables, les charges variables n'étant que très modérément augmentées (réduites au seul éclairage pendant des périodes limitées) ;
- Il n'en va pas de même pour l'endettement, les investissements étant importants en cas de recours à des bâtiments étanches à la lumière. Par suite, le RCAI est susceptible de fluctuer fortement. La transmissibilité est par contre améliorée du fait des avantages des dispositifs mis en place ;
- La consommation d'énergie directe s'accroit avec la surconsommation d'électricité induite par l'éclairement artificiel ;
- L'utilisation de médicaments vétérinaires est réduite dans les filières (ovins, caprins) où la maîtrise de la photopériode *via* la durée d'éclairage dispense l'éleveur de recourir à des traitements d'induction des chaleurs par progestagènes de synthèse. Les rejets de polluants organiques en sont diminués d'autant, de même que la perturbation de l'écosystème ;
- Cette pratique est sans impact sur les autres performances, y compris sociales, bien qu'en termes d'acceptabilité sociétale elle soit mieux perçue que le recours aux progestagènes de synthèse auxquels elle peut se substituer pour certaines filières (ovins, caprins).

C - Eléments-clefs à retenir

C1 - La MP en huit enseignements

Il n'est pas facile de synthétiser les effets, positifs ou négatifs, de cette MP relative à la gestion des bâtiments d'élevage dans la mesure où elle rassemble des pratiques élémentaires hétérogènes et donc aux impacts eux-aussi hétérogènes. On se risquera à un résumé en huit enseignements principaux.

1/ Un impact positif sur les performances productives dès lors que la pratique élémentaire améliore l'ambiance (la stimulation photopériodique constituant un cas à part), neutre pour les autres pratiques élémentaires relatives à la traite, aux litières, à l'eau et à l'énergie. En élevage bovin, la litière paillée (largement majoritaire) peut avoir un impact négatif sur la production dans les situations de litières mal entretenues qui peuvent favoriser les pathologies, en particulier les mammites ; en élevage porcin, la litière paillée (largement minoritaire) peut théoriquement s'accompagner d'un accroissement des performances productives individuelles des animaux du fait d'une amélioration des conditions de logement et de vie des animaux, mais la pratique élémentaire se traduit aussi, très souvent, par une

réduction de la densité animale qui réduit la performance productive par mètre carré de bâtiments. Ce dernier point n'est pas nécessairement un problème dès lors que le coût du bâtiment sur paille est moindre que celui sur lisier.

2/ Un impact neutre sur la qualité de la production et des produits, à l'exception des deux pratiques élémentaires « utilisation d'un robot de traite » et « utilisation des litières paillées en élevage porcin ». Le robot de traite peut en effet légèrement dégrader la qualité du lait et donc le revenu de l'éleveur, essentiellement du fait de l'accroissement du nombre de cellules, et la litière paillée en élevage porcin dégrade la qualité de la production en raison principalement d'une adiposité supérieure des carcasses des animaux.

3/ Un impact neutre sur de nombreuses performances liées à l'utilisation de ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement. Sont ainsi inchangées l'utilisation du phosphore, la qualité du sol (à une exception notable, cf. infra), la qualité de l'eau et la préservation de la biodiversité. L'exception notable est liée est celle des deux pratiques élémentaires relatives à l'usage de litières paillées : celles-ci fournissent en effet du fumier qui, après épandage, améliore la teneur en MO du sol, et réduit risques de compactage et d'érosion ; le fumier est, après la prairie, le vecteur essentiel de retour de MO sur les sols agricoles.

4/ En dehors de cette exception, la performance environnementale la plus impactée est la qualité de l'air qui est le plus souvent améliorée, notamment dans les dimensions émissions de NH_3 et d'odeurs. C'est en particulier le cas des pratiques élémentaires qui visent à améliorer l'ambiance des bâtiments (effet direct sur les émissions) et de celles qui visent à réduire les consommations d'eau ou d'énergie (effet indirect sur les émissions). Les pratiques élémentaires permettant des économies directes d'énergie ont aussi un effet positif de réduction des émissions GES (1 kWh électrique, 1 litre de fuel et 1 kilogramme de propane correspondent à, respectivement, 84 grammes, 3,07 kilogrammes et 3,54 kilogrammes d'équivalent CO_2 ; RMT Elevage et Environnement, 2010), ce qui n'est pas le cas du robot de traite et des litières paillées.

5/ Un impact ambigu sur les performances économiques de court terme (rentabilité, VA et EBE) : le robot de traite, les litières paillées, les outils de lavage de l'air et les rampes de brumisation ont des effets plutôt négatifs sur ces indicateurs, les autres pratiques élémentaires ayant des conséquences plutôt positives.

6/ Un impact très souvent négatif sur l'endettement du fait des coûts d'investissement que ces pratiques élémentaires peuvent nécessiter avec, en corollaire, dégradation du RCAI.

7/ Un impact toujours positif, au minimum neutre, sur l'exposition aux risques (diminution) et le bien-être des animaux (augmentation).

8/ Et enfin, un impact ambigu sur le temps de travail de l'éleveur et de ses salariés en fonction de la pratique élémentaire considérée : alors que, par exemple, le robot de traite diminue (significativement) la charge de travail, la suppression des fuites d'eau dans les bâtiments d'élevage a un impact neutre sur cette performance et l'utilisation de litières paillées un impact négatif.

C2 - Trois enseignements transversaux

Au-delà de cette synthèse, performance par performance, on retiendra également les trois points suivants.

En premier lieu, le fait que la litière paillée en élevage porcin ne peut pas être recommandée sans précaution. Cette pratique élémentaire est aujourd'hui sur le devant de la scène, plébiscitée par certains (souvent extérieurs à la sphère agricole) en raison de ses avantages supposés sur les plans zootechnique

et agronomique, en matière de bien-être des animaux ou encore en termes d'environnement. Notre analyse suggère, outre que certains de ces bénéfices sont en pratique plus affirmés que démontrés, qu'il y a en outre dégradation de plusieurs autres performances, notamment dans les dimensions temps de travail, charges variables, VA et EBE, investissement et endettement, RCAI, ainsi qu'au niveau des émissions de GES. Ces inconvénients font que la pratique élémentaire séduit bien peu les éleveurs de porcs, avec un décalage fort entre les attentes de la société et la pratique dominante de ces éleveurs (lisier / caillebotis). En jouant sur les pratiques relatives à l'eau, à l'énergie et à l'ambiance, il est sans doute possible de concilier pour partie du moins les attentes de la société et les contraintes de l'éleveur, le frein principal à l'adoption de ces trois pratiques étant leur coût (d'investissement).

En second lieu, le bilan mitigé du robot de traite. Si celui-ci connait aujourd'hui un développement certain, c'est en premier lieu parce qu'il permet de résoudre, au moins pour partie, un des principaux inconvénients de l'élevage de vaches laitières, celui du temps de travail et de sa pénibilité. En outre, comme nous l'avons déjà mentionné, le recours à un robot de traite est souvent envisagé, dans une période de sortie programmée et désormais proche des quotas laitiers (suppression dans le cadre de la PAC de l'après 2013), dans une perspective d'intensification de la production laitière et d'agrandissement de la taille du troupeau laitier, cette intensification et cet agrandissement devant permettre de mieux rentabiliser l'investissement associé à l'achat du robot de traite. S'il n'y a pas de raison d'associer agrandissement et détérioration des performances environnementales, tel n'est sans doute pas le cas de l'intensification, ici définie comme l'augmentation de la production laitière par vache via, en particulier, un recours augmenté aux aliments concentrés et de façon plus générale aux intrants achetés en dehors de l'exploitation (aliments du bétail, médicaments vétérinaires, engrais minéraux, produits phytosanitaires, etc.). Ici aussi, la prudence est de mise dans la mesure où notre analyse suggère que le robot de traite détériore, non seulement l'endettement en raison des coûts d'investissement, mais aussi la rentabilité courante de l'exploitation (rentabilité, EBE, VA, etc.), ceci pour un bénéfice environnemental mitigé (certaines performances environnementales sont améliorées, d'autres sont dégradées). Reste que la question du travail en élevage laitier est un enjeu majeur. Dans un contexte de différentiel pérenne entre les prix des grandes cultures et les prix des produits laitiers (au bénéfice des premiers, au détriment des seconds), cette question trouvera une première solution en augmentant les revenus en élevage laitier de sorte que la productivité du travail exprimée en valeur (c'est-à-dire en utilisant au numérateur la valeur de la production et non pas le volume) se rapproche, à défaut de l'égaler, de la même productivité en grandes cultures. Le travail en élevage laitier sera subjectivement considéré comme étant moins pénible et moins contraignant si son fruit est mieux valorisé, au sens d'un rapprochement pérenne des revenus des éleveurs laitiers et des producteurs de grandes cultures. Cela peut passer par une meilleure valorisation des produits laitiers mais aussi, et peut être surtout, par une diminution du coût de l'alimentation animale (cf. MP Gestion de l'alimentation animale).

Enfin, les pratiques élémentaires qui permettent d'économiser des ressources naturelles doivent être mises en œuvre, et possiblement encouragées par des soutiens publics légitimés au titre de la préservation augmentée de ressources naturelles et/ou de biens environnementaux. Le frein premier à cette mise en œuvre n'est pas tant dans la détérioration des soldes de gestion courants mais dans l'endettement dès lors que la pratique élémentaire requiert des investissements importants.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie									
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				
Métaptique	Pratique	Sous- pratique	Augmenter la production	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité
Gestion des bâtiments d'élevage	Traite	Optimiser le système de traite pour économiser l'énergie (préfroidisseurs de lait, récupérateur chaleur du tank…)	=	=	+	+	+	+	-	+	=	=	-	+
		Mettre en place un robot de traite	=	-	-	-	-	-	-	-	=	=	-	+/-
	Litière	Utiliser des bâtiments sur litière paillée en élevage porcin	=	-	-	-	-	-	-	-	=	=	=/-	+/-
		Utiliser des bâtiments sur paille (vaches)	+/-	=	-	-	-	-	-	-	=	=	=	+/-
	Eau	Supprimer les fuites dans les bâtiments	=	=	+	+	+	+	=/+	+	+	=	=/-	=
		Utiliser des abreuvoirs économes en eau	=	=	+	+	+	+	=/-	+	+	=	-	=
	Energie	Utiliser des bâtiments et équipements producteurs d'énergie (hors méthanisation)	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/-	+	=/-	+	-	+
		Utiliser des bâtiments et équipements générant des économies d'énergie (isolation, étanchétié, échangeurs de chaleur…)	=	=	+	+	+	+	=/-	+	+	=	=/-	+
	Ambiance	Utiliser des outils de lavage de l'air en élevage porcin	=	=	-	-	-	-	-	-	-	=	-	+
		Installer des rampes de brumisation	=/+	=	=/-	=/-	+/-	+/-	+/-	=/-	=/-	=	-	=/+
		Améliorer la ventilation et la température en bâtiments d'élevage (monogastriques) par la maîtrise des débits d'air	+	=	+	+/-	+	+	+	+	+	=	=	+
		Améliorer la ventilation par des rénovations dans les bâtiments	+	=	+	+/-	+	+	-	+	+	=	-	=
		Maîtriser la durée d'éclairage en bâtiment pour stimulation photopériodique	=	=	=/+	=	=/+	=/+	+/-	=/+	=/+	=	-	+

			Ressources naturelles fossiles				Environnement							
			Energie		Quantité d'eau	Phosphore	Sol				Qualité de l'eau			
Métaptique	Pratique	Sous- pratique	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires
Gestion des bâtiments d'élevage	Traite	Optimiser le système de traite pour économiser l'énergie (préfroidisseurs de lait, récupérateur chaleur du tank…)	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Mettre en place un robot de traite	-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Litière	Utiliser des bâtiments sur litière paillée en élevage porcin	-	=/-	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=/-
		Utiliser des bâtiments sur paille (vaches)	-	=	=	=	+	+	+	=	=/+	=	=	=
	Eau	Supprimer les fuites dans les bâtiments	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Utiliser des abreuvoirs économes en eau	+	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Energie	Utiliser des bâtiments et équipements producteurs d'énergie (hors méthanisation)	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Utiliser des bâtiments et équipements générant des économies d'énergie (isolation, étanchétié, échangeurs de chaleur…)	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Ambiance	Utiliser des outils de lavage de l'air en élevage porcin	-	=	-	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Installer des rampes de brumisation	=/-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Améliorer la ventilation et la température en bâtiments d'élevage (monogastriques) par la maîtrise des débits d'air	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+
		Améliorer la ventilation par des rénovations dans les bâtiments	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+
		Maîtriser la durée d'éclairage en bâtiment pour stimulation photopériodique	-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+

			Environnement								Dimensions sociales			
			Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métaptique	Pratique	Sous- pratique	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Gestion des bâtiments d'élevage	Traite	Optimiser le système de traite pour économiser l'énergie (préfroidisseurs de lait, récupérateur chaleur du tank…)	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Mettre en place un robot de traite	-	-	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
	Litière	Utiliser des bâtiments sur litière paillée en élevage porcin	-	+/-	+/-	=	=	=	=	+	=/-	=	+	-
		Utiliser des bâtiments sur paille (vaches)	-	+/-	+	=	=	=	=	+	-	=	+	=/-
	Eau	Supprimer les fuites dans les bâtiments	=	+	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Utiliser des abreuvoirs économes en eau	=	+	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=
	Energie	Utiliser des bâtiments et équipements producteurs d'énergie (hors méthanisation)	+	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	+
		Utiliser des bâtiments et équipements générant des économies d'énergie (isolation, étanchétié, échangeurs de chaleur…)	+	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=/+	+
	Ambiance	Utiliser des outils de lavage de l'air en élevage porcin	=	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=
		Installer des rampes de brumisation	=	+	+	=	=	=	=	=	-	+	+	=
		Améliorer la ventilation et la température en bâtiments d'élevage (monogastriques) par la maîtrise des débits d'air	=	+	+	=	=	=	=	=	=	+	+	=
		Améliorer la ventilation par des rénovations dans les bâtiments	=	+	+	=	=	=	=	=	=	+	+	=
		Maîtriser la durée d'éclairage en bâtiment pour stimulation photopériodique	=	=	=	+	=	=	=	+	=	=	=	=

E - Références bibliographiques

ANONYME. 2012. Elever des porcs sur litière - Comprendre les fonctionnements, améliorer les résultats. Chambres d'agriculture de Bretagne et des Pays de la Loire - IFIP - Inra, 60 p.

BREF. 2003. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour l'élevage intensif de volailles et de porc. Commission Européenne – MEEDDM, 417 p.

CHEMINEAU P., MALPAUX B., BRILLARD J-P., FOSTIER A. 2010. Traitements photopériodiques et reproduction chez les animaux d'élevage. *Bull. Acad. Vét. France*, 163 (1), 19-26

PEYRAUD J.L., CELLIER P., AARTS F., BELINE F., BOCKSTALLER C., BOURBLANC M., DELABY L., DONNARS C., DOURMAD J.Y., DUPRAZ P., DURAND P., FAVERDIN P., FIORELLI J.L., GAIGNE C., KUIKMAN K., LANGLAIS A., LE GOFFE P., LESCOAT P., MORVAN T., NICOURT C., PARNAUDEAU V., RECHAUCHERE O., ROCHETTE P., VERTES V., VEYSSET P. 2012. Les flux d'azote liés aux élevages : Réduire les pertes, rétablir les équilibres. Expertise scientifique collective, Rapport, Inra (France), 527 p.

RMT ELEVAGE ET ENVIRONNEMENT. 2010. Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage : porcs, bovins, volailles. IFIP (Ed), 302 p.

RMT BATIMENT D'ELEVAGE DU FUTUR. 2012. Bâtiments d'élevage du futur : les enjeux pour demain. RMT Bâtiment d'élevage du futur. 13/12/2012, Paris (France)

MORIN C., BÉGUIN E., BELVEZE J., BOSSIS N., CAPDEVILLE J., CHAMBAUT H., CHARROIN T., CORBET V., DOLLÉ J.B., JOUSSEINS C., LECLERC M.C., MANNEVILLE V., MARTINEAU C., MORIN E. 2011. Consommation d'énergie en élevages herbivores et leviers d'action. IDELE. Collection Méthodes et outils, 92p.

RIGOLOT C., ESPAGNOL S., ROBIN P., HASSOUNA M., BELLINE F., PAILLAT J.M., DOURMAD J.Y. 2010. Modelling of manure production by pigs and NH_2, NO_2 and CH_4 emissions. Part II. Effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4 (8), 1413-1424

CHAPITRE 11
GESTION DES EFFLUENTS

A - Introduction 214
B - Description par pratique élémentaire 221
C - Eléments-clefs à retenir 235
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 241
E - Références bibliographiques 242

CHAPITRE 11
Gestion des effluents

A - Introduction

Les effluents, à l'échelle d'une exploitation d'élevage sont essentiellement constitués par les déjections animales, auxquelles il convient d'ajouter les eaux vertes[73], brunes[74] et blanches[75] qui sont des effluents peu chargés en éléments minéraux. Selon les types de bâtiments et les espèces animales considérées, les déjections générées par l'activité d'élevage peuvent être sous forme liquide (lisier) ou sous forme solide (fumier). La gestion de ces différents produits et les transformations de l'azote associées vont être radicalement différentes selon les types de déjections mais dans les deux cas, l'utilisation finale des déjections animales est très majoritairement un épandage sur les terres agricoles pour amender/fertiliser les cultures après des phases transitoires de stockage dans les bâtiments d'élevage et à l'extérieur. Plus récemment de nouvelles modalités de valorisation des effluents apparaissent, au premier rang desquelles figure la méthanisation.

Les déjections animales produites par le cheptel français représentent 300 millions de tonnes brutes qui sont à comparer aux 4 millions de tonnes de déchets des agro-industries et aux 5 millions de tonnes de boues de stations d'épuration épandues (Ademe). Elles contiennent 1,45 millions de tonnes d'azote, 819 000 t de phosphore et 1,75 millions de t de potassium, soit une charge organique de 50 uN/ha, 29 uP/ha et 63 uK/ha de SAU, respectivement (MEEDD, 2002). Ces données sont du même ordre de grandeur que celles proposées par le Citepa (2011). De même Le Gall et Vertès estiment que l'ensemble du cheptel français produit environ 1,4 Mt d'azote organique par an (Le Gall et *al*., 2005), ces rejets provenant à 75 % des bovins, 8 % des porcins, 6 % des volailles, 6 % des ovins, 3 % des équidés et 1 % des caprins. Les bovins constituent donc de loin la plus grande part des rejets azotés. On peut estimer que la part des vaches laitières représente environ 35 % des rejets bovins, les vaches allaitantes 30 % et l'ensemble des animaux d'élevage et d'engraissement des 2 troupeaux, laitier et allaitant, également 35 %. Cependant, ces données moyennes cachent des réalités territoriales très différentes. L'Institut de l'Elevage (Le Gall et *al*., 2005) a calculé les charges en azote des différentes régions en fonction de l'orientation agricole des cantons français (Tableau 11.1). Il en ressort que la pression d'azote organique et minéral varie fortement selon les régions. C'est dans l'Ouest que les apports sous forme organique sont de très loin les plus élevés, ils dépassent 130 kg N/ha de SAU dans plusieurs secteurs qui combinent production laitière et élevage de monogastriques (Finistère, Côtes d'Armor, Morbihan) ou production de viande bovine et de volailles (nord des Pays de la Loire) ou encore sont spécialisés en production laitière (sud Manche, nord Mayenne, Ille et Vilaine). Inversement les zones d'élevage caractérisées par des chargements faibles et une alimentation basée sur la prairie permanente (grand Massif Central, Jura, Alpes) sont caractérisées par des charges en N organique très faibles. La pression en azote minéral se concentre, au contraire, principalement sur le bassin parisien et le Sud-Ouest, qui correspondent aux zones de grandes cultures.

[73] Eaux de lavage de l'aire d'attente et des quais de la salle de traite souillés par les déjections des animaux (source : Chambre d'agriculture de la Haute Marne)
[74] Eaux pluviales souillées par les déjections déposées par les animaux sur les aires d'exercices non couvertes
[75] Eaux de nettoyage des canalisations de la salle de traite et du tank à lait

***Tableau 11.1** : Charges en azote de différentes régions selon l'orientation agricole. Le surplus du bilan azoté « sol-végétation » est calculé avant traitement des lisiers ; Source : Le Gall et al. (2005)*

	Charge N (kg/ha SAU)	N minéral (% entrées)	N organique ruminants (% entrées)	N organique granivores (% entrées)	Surplus du bilan (kg N/ha)
Bretagne Lait et monogastriques	221	33	36	31	84
Bretagne Lait intensif	179	43	44	13	54
Nord Pays de Loire	161	45	45	10	37
Zones grandes cultures	123	85	13	2	25
Zones herbagères plaine et montagne	98	31	67	2	9

Tandis que la croissance des végétaux associe le carbone et l'azote sous des formes stables, leur consommation par les animaux génère des composés azotés très mobiles et réactifs (urée, azote ammoniacal et nitrique, acides aminés) émis par les fèces et l'urine et qui vont se retrouver plus ou moins rapidement sous forme de nitrate (NO_3) dans l'eau, d'ammoniac (NH_3) et de protoxyde d'azote (N_2O) dans l'atmosphère. La cascade de l'azote (Galloway *et al.*, 2003) rend compte de ces flux et montre notamment que les différentes formes d'azote réactif doivent être considérées à des niveaux spécifiques, du très local pour les impacts sur un écosystème sensible voisin (par exemple suite aux dépôts de NH3), au régional pour les impacts sur la qualité des eaux et de l'air (NH3, NO3) et au global pour le changement climatique (émissions de N20). La contribution de l'élevage aux émissions nationales des différentes formes d'azote réactif est importante et représente 25-30% pour le NO3, 80% pour le NH3 et 35-40% pour le N2O si les seules émissions issues des effluents d'élevage sont comptabilisées et même 50%, 90% et 70%, respectivement, si on tient compte du fait qu'une grande part des engrais industriels est employée sur les cultures utilisées pour produire des aliments pour l'élevage (Citepa, 2011 ; Peyraud *et al.*, 2012). Les émissions de NH_3 liées à la gestion des déjections sont estimées à 465 kt N par an selon le Citepa et 382 kt N par an selon Gac *et al*.(2007), soit environ ¼ de l'azote contenu dans ces produits. Le secteur bovin est le plus concerné par les émissions de NH_3 puisqu'il représente plus de 60% des émissions nationales du secteur (moitié pour les bovins laitiers et moitié pour les autres bovins) alors que les porcins et les volailles représentent 16 et 20% respectivement (Citepa, 2011). Pour le N_2O, les quantités sont plus faibles : 76 kt N émis par an, dont environ 40 % du total est émis après épandage sur les terres agricoles. La répartition des émissions est plus partagée avec les zones de grandes cultures où l'application d'engrais synthétiques est une source importante de N_2O.

La gestion des effluents est au cœur de nombreux enjeux pour l'élevage : i) des enjeux environnementaux en premier lieu puisqu'ils font l'objet de plusieurs réglementations, notamment du point de vue de la gestion de l'azote ; ii) des enjeux sociaux également, notamment du fait du problème des nuisances à travers la question des odeurs qui reste une source de conflit récurrente malgré l'amélioration des techniques d'atténuation des odeurs et iii) des enjeux économiques puisqu'une bonne valorisation de leur azote doit permettre des économies sur les achats d'engrais azotés de synthèse.

A1 - Une très grande variété d'effluents rendant complexe leur bonne valorisation agronomique

Très schématiquement, les lisiers sont générés sur les systèmes de type « caillebotis » ou « raclage » dans lesquelles aucune litière n'est utilisée. Il en résulte un produit principalement composé des urines et des fèces des animaux auxquels s'ajoutent des refus d'aliments et des eaux de lavage. Au contraire, pour les autres systèmes, une litière (paille principalement mais aussi sciure, copeaux de bois, …) est ajoutée sous les animaux et vient s'ajouter aux urines et fèces pour former le fumier. Ces effluents ont des

compositions et des caractéristiques très différentes (Beegle et *al.*, 2008). Le taux de matière sèche des fumiers est de l'ordre de 20-25% (excepté pour les volailles où il peut être très supérieur) alors qu'il est entre 5 et 10% pour les lisiers. Les fumiers sont beaucoup plus riches en Carbone que les lisiers du fait des apports de paille. Chez le porc leur rapport C:N varie de 13:1 à 21:1 et est beaucoup plus élevé que celui des lisiers qui n'est que de 3:1 à 4:1 (Levasseur, 2005) et ce bien que les fumiers soient plus riches en azote que les lisiers. Dans les lisiers l'azote est essentiellement sous forme d'azote ammoniacal (NH4+), d'urée et d'azote organique (protéines...) alors qu'il est beaucoup plus organisé au sein de la matière organique dans les fumiers.

A ces différences entre type d'effluents s'ajoutent des différences entre espèces animales. Les teneurs en matière sèche (235 vs 205 kg/t), matières volatiles (81 vs 71 % MS) et azote total (7,5 vs 5,0 kg/t) d'un fumier de porc sont en moyenne, supérieures à celles observées pour les fumiers de bovins. Le fumier de volaille est beaucoup plus riche en MS (550 kg/t) et en azote total (25 kg/t) mais moins riche en matières volatiles (60 kg/t) (Gac et *al.*, 2007). Par contre les lisiers de porc sont moins riches en MS que ceux de bovins (56 vs 92 kg/t) mais restent plus riches en azote total (4,7 vs 3,4 kg/t). A ces variations s'ajoutent enfin, pour un même type de déjection et une même espèce, une forte hétérogénéité liée aux pratiques d'élevage (type de bâtiment, gestion de la litière et/ou évacuation des lisiers, alimentation, mode d'abreuvage…). A titre d'exemple, les caractéristiques de lisiers de porcs issus de 20 élevages « naisseur-engraisseur » bretons (prélèvement ponctuel en fosse de stockage, données Irstea non publiées, 2008) montrent que les teneurs en MS varient du simple au double. Notons enfin qu'une limitation majeure de l'application d'effluents animaux sur les terres est leur rapport N:P (4:1 à 5:1) qui est très inférieur à celui des cultures (6:1 à 8:1) (Eghball, 2003; Sharpley et Smith, 1994) ce qui favorise l'accumulation de P dans les sols où ils sont appliqués de manière répétée, surtout si des pertes d'azote importantes ont eu lieu dans les étapes de stockage ce qui peut être le cas notamment dans le cas des lisiers ayant subi un traitement aérobie et aussi dans le cas des composts.

Le cuivre et le zinc sont souvent incorporés dans les aliments en quantités bien supérieures aux stricts besoins des animaux, compte tenu de leurs effets comme facteurs de croissance ou encore en raison de l'utilisation de marges de sécurité importantes. En conséquence, ils se retrouvent en forte concentration dans les effluents ce qui peut à terme entraîner une toxicité pour les plantes ou les micro-organismes du sol (Jondreville *et al.*, 2003). De plus, lorsque les effluents sont traités, ces éléments se retrouvent dans la fraction solide à des concentrations qui rendent difficile la commercialisation de ces produits comme amendements organiques, les teneurs dépassant souvent les teneurs maximales autorisées. Il est alors parfois nécessaire d'avoir recours à des mélanges avec d'autre source organiques. La seule façon de réduire la teneur des effluents en éléments traces métalliques est d'en réduire l'incorporation dans les aliments. Suite aux travaux récents les normes maximales de teneur en Cu et Zn des aliments ont été largement réduites. Chez le porc la nouvelle réglementation a entraîné une réduction de près de 60% des rejets de Cu et de 53% de ceux de Zn (Dourmad *et al.*, 2009). Avec les recommandations actuelles, les teneurs en Cu et en Zn des effluents (respectivement environ 350 et 1250 mg/kg MS) sont inférieures aux teneurs autorisées en France pour l'épandage des boues (respectivement 1000 et 3000 mg/kg MS), mais elles dépassent les teneurs autorisées pour les fertilisants organiques (respectivement 300 et 600 mg/kg MS). Par ailleurs, bien que la situation ait été très significativement améliorée par la nouvelle réglementation, avec les pratiques actuelles les épandages de Cu et de Zn restent encore supérieurs aux capacités d'exportation des cultures (Dourmad et Jondreville, 2008). Des réductions plus poussées des apports de Cu et de Zn doivent donc être envisagées pour l'avenir.
Il est nécessaire de prendre en compte cette diversité dans le raisonnement de l'utilisation des effluents car les différences de composition sont à l'origine des différences dans la transformation de l'azote au cours du stockage, des pertes à l'épandage et de la valorisation agronomique des effluents d'élevage. Les modalités et dates d'apport des effluents au sol ont aussi un rôle déterminant.

- Les différents postes ont été quantifiés pour les élevages français par Gac et al (2003). Les conditions de transformation vont être naturellement très majoritairement anaérobie (absence d'oxygène) pour les lisiers (sauf si traitement spécifique) alors que la structure spécifique des fumiers, notamment leur

porosité, va permettre naturellement un apport d'oxygène dans le milieu entraînant des conditions partiellement aérobies (présence d'oxygène). Pour les bovins, en prenant en compte l'ensemble de la filière, les pertes d'azote sous formes de NH3 sont de l'ordre de 19-23% et de 1,5-1,8% sous forme de N2O. Il y a assez peu de différence entre les filières lisiers et fumiers sur les pertes globales mais des différences importantes sont observées au niveau des lieux/postes d'émissions. Pour les fumiers, les émissions se déroulent tout au long de la chaîne de gestion car les transformations sont assez peu influencées par les conditions environnantes (température, débit d'air, etc.). Par contre, pour les lisiers, les émissions sont nettement plus importantes au niveau des bâtiments juste après l'émission et lors de l'épandage, la phase de stockage conduisant à des pertes en général plus faibles. Globalement, les émissions de N2O ont lieu très majoritairement lors du retour au sol des déjections. Contrairement aux bovins, des différences importantes sont observés pour les porcs au niveau global entre les lisiers et les fumiers. Si les émissions de N2O sont faibles pour la filière lisier (<1% et principalement lors du retour au sol), elles atteignent presque 10% pour la filière fumier avec des émissions se déroulant principalement dans les bâtiments. Les émissions de N2O sont quasiment nulles en bâtiment de poulets de chair. Les émissions de NH3 varient moins entre les filières (de 28 et 35% pour les filières fumier et lisier, respectivement). Ces pertes dépendent en fait fortement de la densité d'animaux au m² et s'accroissent très rapidement avec la densité (Basset-Mens et van der Werf, 2005).

- La biodisponibilité à court terme en azote, qui résulte de la minéralisation (bio dégradation des composés azotés des effluents libérant des formes azotées simples) nette de l'azote organique, est liée au type de produit, avec des valeurs naturellement plus élevées pour la plupart des effluents liquides (de 70 à 100% du N est disponible sur l'année) telles que les phases liquides de lisiers obtenues par séparation de phase et les digestats liquides issus de méthanisation, des valeurs très faibles pour les fumiers et effluents compostés (20 à 40%) et intermédiaires pour des produits de type lisiers (30 à 50%) (Parnaudeau et al., 2004 ; Peyraud et *al*., 2012). Toutefois, compte tenu de la grande variabilité de composition des effluents, y compris pour un type de produit donné, il demeure une forte incertitude sur les quantités d'éléments réellement apportées et biodisponibles à court terme et il n'est pas suffisant de raisonner les apports uniquement à partir de données moyennes de classes d'effluents. Un enjeu important porte donc sur la mise au point et la diffusion de méthodes d'analyses des effluents rapides, peu coûteuses et simples à mettre en œuvre. Les connaissances acquises sur les pertes par volatilisation ammoniacale à l'épandage et sur les dynamiques temporelles de minéralisation (Morvan et *al*., 2006) après l'épandage permettent de mieux expliciter les variations de l'efficience azotée des produits. Ces connaissances, intégrées dans des outils de mesure permettant de caractériser rapidement les teneur en MS et en NH4 des lisiers (Quantofix par ex), données ensuite réutilisées par des outils opérationnels de fertilisation tels que Azofert (Machet et *al*., 2007), sont une première avancée pour mieux raisonner les apports et améliorer la gestion agro-environnementale des effluents. L'utilisation de ces outils se répand mais est encore loin d'être généralisée.
- A plus long terme le taux de minéralisation de la MO résiduelle des effluents décroît rapidement avec le temps, il varie de 2 à 18% en année 2, et de 1 à 7% en année 3 (Beegle et *al*., 2008).
- La proportion de lisier de porc épandue avec des tonnes à lisier simplement équipées de buses palettes représente encore actuellement près de 40 % du volume total épandu en France (Enquête bâtiment porc, SCEES 2008), ce qui montre que l'utilisation des matériels d'épandage performants est loin d'être généralisée en France. L'enjeu est pourtant important, car l'utilisation des rampes (pendillards, sabots traînés…) réduit significativement les pertes par volatilisation, de 20 à plus de 40 % comparativement aux pertes mesurées par épandage avec buse palette (Bussink et Oenema, 1998 ; Morvan et *al*., 2004). L'injection de lisier dans le cas d'épandage sur prairie est très efficiente par rapport aux pertes par volatilisation et crée peu de dommages à la prairie si elle est pratiquée à faible profondeur (7-10 cm). Les rampes d'épandage montées sur des épandeurs de grand volume équipés de pneus basse pression rendent possibles les épandages de printemps sur des céréales semées l'automne précédent. Ces apports de lisier sur céréales d'hiver tendent à se généraliser dans les régions à forte concentration en élevage porcin (Ouest de la France, Hollande, Danemark), mais requièrent une bonne maîtrise technique.

- Le scénario d'apport le plus usité consiste à valoriser les effluents sur cultures de printemps, par des apports réalisés au début du printemps pour les fumiers et composts et immédiatement avant le semis de la culture pour les effluents dont l'azote est rapidement disponible (lisiers, digestats liquides, fumiers de volailles « jeunes ») ce qui permet de bien faire coïncider les besoins en N de la culture avec la fourniture de N par le produit. La valorisation de l'azote est alors bonne ce qui se traduit en terme environnemental par des pertes par lixiviation du nitrate égales, voire inférieures à celles mesurées sous fertilisation minérale (Diez *et al.*, 2001 ; Leterme et Morvan, 2010). En début d'automne, un apport de lisier en quantités modérées (< 25 m^3/ha) avant le semis d'un colza est également bien valorisé et sans risque pour l'environnement, sous réserve que le colza soit semé tôt pour être en mesure d'absorber l'azote de l'effluent rapidement disponible. Ces effluents apportés avant les préparations de sol préalables au semis des cultures peuvent être incorporés au sol, soit par le labour, soit par des outils à disques ou à dents, permettant de réduire la volatilisation de 35 à 95 %, comparativement au non-enfouissement (Bussink et Oenema, 1998). La qualité de l'incorporation et le délai entre l'apport et l'enfouissement jouent un rôle déterminant sur l'efficacité de l'enfouissement. Le fait d'être en système « semis direct » limite donc les possibilités d'apport d'effluent, ou impose l'utilisation de matériel permettant un épandage très localisé de lisier. Notons enfin que si l'automne peut constituer une période d'épandage possible pour certains produits, la réglementations est de plus en plus stricte sur les dates d'épandage et il est bien démontré que l'efficience de l'azote des effluents apportés à l'automne est plus faible, du fait de pertes par lessivage et/ou dénitrification, même pour des produits tels que des fumiers.

A2 - Réglementations et incitations liées à l'utilisation des déjections animales

Le système juridique actuel encadrant l'azote relève de plusieurs réglementations relatives à la pollution des eaux et de l'air qui affectent plus ou moins directement et fortement la gestion des effluents au niveau des exploitations, les contraintes étant évidemment beaucoup plus fortes dans les territoires où l'élevage est le plus concentré. Le droit de la pollution azotée est largement adossé sur la directive dite directive « nitrates » qui se limite au risque de pollution des eaux mais ne s'étend pas aux émissions d'azote vers l'air.

- La directive 91/676/CEE dite directive « Nitrates » du 12 décembre 1991 vise à protéger la qualité des eaux et de nombreuses mesures ciblent la gestion de l'azote dans les élevages. La directive repose notamment sur la définition d'un zonage écologique spécifique associé à des mesures de gestion particulière. Les zones vulnérables sont les « zones où les eaux sont atteintes par la pollution et celles qui sont susceptibles de l'être ». Largement définies à l'aide d'une norme de qualité environnementale correspondant au niveau de concentration des substances polluantes dans l'eau à ne pas dépasser (50 mg de nitrate par litre), les zones vulnérables participent à la bonne qualité des eaux en général. La législation « Nitrates » fait naturellement partie intégrante de la directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000). La définition de ces zones ne concerne pas exclusivement les épandages d'effluents d'élevage et concerne l'ensemble des composés azotés y compris les engrais chimiques, mais les effluents d'élevage font l'objet de mesures spécifiques en fixant des normes de rejets azotés de 170 kg d'azote/ha/an pour les seuls effluents d'élevage. La directive fixe aussi un plafond d'épandage des effluents (170 kg d'azote/ha de surface épandable/an, cf. articles R-211-80 et s. du code de l'environnement), la nécessité d'élaborer un plan prévisionnel de fumure et de tenir un cahier de fertilisation. Au sein de chaque zone vulnérable, les États membres sont tenus d'élaborer et appliquer un ou des programmes d'action quadriennaux. Ils concernent les règles relatives à la capacité de stockage et aux conditions d'épandage (dates, les dates possibles d'épandage, gestion des terres). Pour prendre des mesures d'action renforcées, la France a complété le zonage écologique communautaire par des zones d'excédent structurel (ZES) qui correspondent à des zones où « la quantité totale d'effluents d'élevage produite annuellement conduirait, si elle était

épandue en totalité sur les surfaces épandables du canton, à un apport annuel d'azote supérieur à 170 kg par hectare de cette surface épandable » (article R. 211-82 du code de l'environnement). Dans les « cantons ZES », le préfet peut interdire d'augmenter la quantité d'azote totale produite par les animaux « tant que la résorption de l'excédent structurel d'azote dû aux élevages dans le canton n'est pas réalisé ». Les jeunes agriculteurs et les petites exploitations peuvent toutefois y déroger.

- La France a déjà été condamnée en 2002, comme d'autres pays européens pour n'avoir pas correctement désigné les zones vulnérables à la pollution azotée (CJUE, 27 juin 2002). La Commission européenne a engagé en novembre 2009 à l'encontre de la France un pré-contentieux portant sur la transposition de la directive « Nitrates » au niveau national. Les griefs concernent pratiquement tous les points du programme d'action : définition des zones vulnérables, normes de production réglementaire d'azote épandable par type d'animaux, calendrier d'interdiction d'épandage, capacités de stockage, équilibre de la fertilisation, conditions d'épandage. Le nouveau décret d'application (et les arrêtés qui l'accompagnent) sont plus restrictifs notamment avec l'accroissement des zones vulnérables, qui incluent aujourd'hui des zones non concernées par l'élevage, une réduction des périodes autorisées pour l'épandage des effluents, des précisions relatives aux volume de stockage des effluents d'élevage, de nouvelles dispositions relatives à l'équilibre de la fertilisation, un relèvement des rejets forfaitaires des vaches laitières qui fait débat, même si maintenant c'est la surface agricole qui est considérée comme surface épandable. La Commission a par ailleurs fait une demande d'information sur la mise en oeuvre du Plan Algues vertes (2011).
- Plus récemment, la loi Grenelle 2 (n° 2010-788) a délimité de nouvelles zones correspondant d'une part à des aires d'alimentation de captage d'eau potable et d'autre part à des bassins versants connaissant d'importantes marées vertes ce qui concerne fortement l'élevage en Bretagne. Dans ce dernier cas tout utilisateur ou producteur d'azote (exploitants agricoles, gestionnaires ou utilisateurs publics et privés d'effluents, de déchets, d'engrais ou d'amendements azotés) doit déclarer les quantités d'azote produites et les lieux d'épandage. Il impose aussi un plafond de 210 kg N total/ha de SAU. La loi Grenelle 2 prévoit ainsi que des mesures obligatoires peuvent être prises hors zones vulnérables, même si les normes de potabilité ne sont pas dépassées.
- Le système juridique encadrant l'azote relève aussi de la législation relative à l'activité productive *via* les « Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)» qui a lui-même été renforcé au moment de la transposition de la directive (Bureau des biotechnologies et de l'agriculture, 2012). Selon leur taille, les activités d'élevage peuvent être soumises à déclaration, enregistrement ou autorisation, les installations les plus importantes étant considérées comme les plus polluantes et donc soumises à autorisation. Cette dernière oblige l'éleveur à réaliser une étude préalable d'impact soumise à enquête publique puis présentée en Conseil départemental de l'Environnement et des risques sanitaires et technologiques et finalement sanctionné par arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter (ou de rejet de la demande). Le plan d'épandage prévisionnel est le point essentiel de cette démarche et il est en fait souvent dénoncé, bloquant ainsi des projets. Plus récemment, le décret du 17 janvier 2011 permet de déroger à l'obligation de fournir une étude d'impact lorsqu'il y a regroupement ou modernisation des installations classées, si le projet n'entraîne pas « *une modification substantielle de l'installation* », ni une augmentation « *sensible* » des effectifs animaux.
- Enfin des démarches volontaires ont été mises en œuvre. Les PMPOA (1 puis 2 ; de 1993 à 2007) ont ciblé explicitement la mise aux normes des exploitations d'élevage tandis que Ferti-Mieux a concerné surtout les grandes cultures. Signé entre les organisations professionnelles agricoles majoritaires, les ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement, les PMPOA proposaient une participation publique aux coûts (à hauteur de 20 à 25%) de mise aux normes. Au final, 90 000 éleveurs en ont bénéficié (dont 70 000 éleveurs de bovins) et les capacités de stockage des effluents ont quasiment été doublées. En revanche, le PMPOA a considéré les éleveurs contractants comme étant en instance de régularisation vis-à-vis de la réglementation, à laquelle ils échappaient donc temporairement. L'évaluation du deuxième programme réalisée par l'Institut de l'élevage relie l'effort des éleveurs à la réduction des teneurs en nitrate dans les eaux bretonnes depuis les années 2000, sans qu'il soit pour autant possible de faire précisément la part de ce qui revient au PMPOA2 et à la diminution concomitante des effectifs de volailles (- 30% en Bretagne).

Si les pratiques de gestion des effluents ont surtout été dictées par l'objectif de mieux gérer l'azote et de limiter les émissions vers l'eau, elles vont être impactées par la nécessité de limiter les émissions vers l'air dans les prochaines années.

- Les règlementations sur l'atmosphère s'inscrivent dans le cadre de la convention de Genève et du protocole de Göteborg (2005), au travers, en particulier, de la directive européenne NEC (*National Emission Ceilings) qui fixe* des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques. Des plafonds d'émissions et des pénalités pour dépassement des seuils autorisés devraient durcir l'encadrement juridique dans un futur proche (révision de la Directive NEC en cours). En 2010 la France respectait son plafond d'émission de NH3 mais, ce plafond devrait baisser de 20 à 30%. Le plan national santé-environnement[76] et le Plan « Particules » citent les émissions d'ammoniac auxquelles l'élevage contribue majoritairement par la gestion des effluents.
- Par ailleurs, le Plan climat, vise (i) à réduire de 15% les émissions de GES pour les secteurs hors du Système Commun d'Échange de Quotas d'Émissions (SCEQE), qui concerne l'agriculture et (ii) à atteindre 23% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2020

A3 - Présentation de la Méta-pratique

La Méta-pratique « Gestion des effluents » doit être considérée en lien étroit avec de nombreuses autres sous pratiques du fait de son rôle central au sein de l'exploitation d'élevage. Elle est en interaction avec la MP « Gestion de l'alimentation animale » qui détermine en interaction avec les pratiques d'évacuation hors des bâtiments l'aptitude des déjections à émettre des composés azotés vers l'atmosphère. Elle interfère aussi avec la MP « bâtiments d'élevage » puisque les bâtiments sont le lieu de production de la majeure partie, sinon de la totalité dans le cas des monogastriques, des effluents et qu'en fonction des types de litières, les caractéristiques des effluents varient fortement. Etant à l'interface entre les pratiques liées à l'animal et celles liées au végétal, elle doit aussi être considérée en interaction avec la MP « Gestion des éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium) » dans le cadre de la recherche d'une fertilisation équilibrée entre apport d'effluents et d'azote minéral mais aussi de développement de légumineuses qui peuvent réduire les possibiltiés d'épandage. Elle est aussi en interaction avec la MP « Travail du sol et gestion de l'état de surface » car les émissions à l'épandage dépendent fortement des modalités de travail du sol qui suivent l'épandage. Elle doit enfin être considérée en interaction avec la MP « Choix et gestion des agro-équipements » puisque la limitation des pertes lors de l'épandage est très dépendante des matériels utilisés.

Cette Méta-pratique est présentée en six pratiques principales, qui, pour les quatre premières, correspondent aux différentes étapes de la gestion et du traitement des déjections depuis leur collecte jusqu'à l'application au champ, ces pratiques ayant pour objectif essentiel de mieux gérer l'azote et dans une moindre mesure le phosphore. Les deux dernières sont plus particulières et concernent la gestion de l'eau et l'élimination des cadavres des animaux. Concernant la gestion des effluents, les pratiques sont présentées successivement pour des raisons de clarté mais il faut bien comprendre que c'est l'approche intégrée de toute la chaine de gestion qu'il faut raisonner pour éviter les transferts de pollution. Ainsi, en abaissant les émissions de NH3, on augmente la quantité d'azote épandable et potentiellement la quantité d'azote disponible dans le sol et absorbable par les plantes mais aussi potentiellement lessivable. De même tout le gain lié à l'emploi de techniques de réduction des émissions en bâtiment ou dans les enceintes de stockage peut être annulé par des techniques d'épandage inappropriées.

Les performances de production considérées dans cette Méta-pratique concernent la production végétale car les effluents sont prioritairement utilisés pour leur valeur fertilisante et leur gestion n'interfère pas

[76] http://www.developpement-durable.gouv.fr/Plan-National-Sante-Environnement,20693.html

avec la conduite d'élevage (à l'exception éventuelle de la sous pratique « évacuation rapide des déjections hors des bâtiments » qui peut améliorer les conditions d'ambiance dans les bâtiments). La méthanisation constitue un cas particulier dans la mesure où la production de biogaz constitue une production supplémentaire de diversification, mais sans impact sur le rendement des cultures.

Une des difficultés pour évaluer les pratiques de gestion des effluents sur la production végétale est de définir la base de comparaison. Nous avons choisi ici de les comparer à même apport total d'azote disponible sur les surfaces, c'est-à-dire que la meilleure préservation de l'azote des effluents s'accompagne d'une réduction de la fertilisation minérale dans le cadre de l'application d'une fertilisation raisonnée sur l'exploitation.

Il n'y alors en général pas d'effet de la gestion des effluents sur les productions végétales.

- *Stockage*. Il s'agit de la première étape après l'émission des déjections et leur évacuation hors des bâtiments. L'objectif recherché est à minima de respecter la réglementation en termes de capacité de stockage pour respecter les périodes d'interdiction d'épandage, mais au-delà il peut être de limiter la dilution des effluents par l'eau de pluie et les émissions gazeuses vers l'atmosphère.
- *Collecte et traitement*. L'objectif est ici de mettre en œuvre des pratiques permettant de faciliter la gestion des effluents, de réduire les pertes d'azote par émissions de NH3 ou de N2O vers l'atmosphère, ou au contraire de favoriser les émissions sous forme de N2 pour respecter le plafond fixé par la directive nitrate ; il peut être aussi de diversifier les productions de l'exploitation en particulier par la méthanisation. Cette pratique, très diversifiée rassemble 7 sous pratiques élémentaires qui sont en partie exclusives les unes des autres.
- *Epandage*. Les deux sous pratiques d'épandage visent à limiter les pertes par émissions vers l'atmosphère qui sont souvent importantes lors de cette étape. Deux sous pratiques sont distinguées en fonction de leur efficacité comparativement à l'épandage avec des tonnes à lisier simplement équipées de buses palettes qui est encore la pratique la plus couramment utilisée.
- *Gestion collective*. La gestion des effluents est ici envisagée à une échelle organisationnelle plus large que l'exploitation agricole *sensu stricto* ce qui offre de nouvelles possibilités pour mieux équilibrer la fertilisation en valorisant les effluents.
- *Gestion de l'eau* : Il n'y a ici qu'une sous pratique qui consiste à mieux recycler les eaux vertes, brunes et blanches (dans le cas de l'élevage laitier pour cette dernière) en évitant de les dériver vers les fosses à lisier ce qui a pour objectif de limiter les volumes de stockage nécessaires et la dilution des éléments fertilisants des lisiers.
- *Equarrissage* : Cette pratique ne recouvre qu'une seule sous pratique. Elle vise à une gestion des cadavres d'animaux morts au niveau de l'élevage pour faire des économies sur le poste de gestion des carcasses des animaux morts.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Stockage

B1.1 - Couvrir les fosses et les fumières

La couverture des fosses et des fumières est une sous pratique qui vise prioritairement à limiter les émissions gazeuses, notamment de NH3 et avec elle l'exposition au risque de l'éleveur et du voisinage. Le

principe est de diminuer la circulation de l'air à la surface par la réalisation d'une fosse couverte ou l'installation d'une couverture flottante, en permettant la formation d'une croûte ou encore en réduisant la surface de l'enceinte de stockage par unité de volume. La présence d'une couverture limite aussi les entrées d'eau issues des précipitations limitant ainsi les phénomènes de dilution des lisiers. L'efficacité des différentes mesure de réduction des émissions lors du stockage ont été quantifiées (UNECE, 2007). La réduction des émissions pour un type d'enceinte donnée augment depuis 40% dans le cas de couvertures flottantes rudimentaires (dépose de paille broyée ou d'écorce), à 60% dans le cas de couvertures plastiques flottantes et 80% dans le cas de couvertures étanches (toit, structures bâchées). L'efficacité est plus faible dans le cas des fumières pour lesquelles il reste plus difficile de réduire les émissions de NH3 lors du stockage.

Les charges variables diminuent du fait des économies qui sont réalisées sur les achats d'engrais azotés de synthèse dans la mesure où cette pratique permet de mieux conserver l'azote des effluents et donc de diminuer la fertilisation minérale à même apport total d'azote sur les parcelles. La valeur ajoutée, la rentabilité, l'EBE et l'autonomie productive doivent aussi augmenter. En revanche cette sous pratique requiert des investissements, qui varient de 1 à 8 €/m^3/an selon les dispositifs mis en œuvre (UNCE, 2007). L'effet sur le RCAI et la dépendance aux aides seront variables selon le niveau relatifs des annuités (en regard des économies réalisées sur le poste fertilisation à partir des engrais de synthèse). Malgré l'investissement on peut penser que cette pratique n'est pas handicapante pour la transmissibilité et peut même la favoriser.

La consommation d'énergie directe n'est pas affectée sensiblement. La consommation d'énergie indirecte est par contre réduite du fait de la réduction de consommation des engrais azotés de synthèse. La consommation de P n'est pas affectée puisque la pratique n'affecte pas les teneurs en P des effluents.

Les émissions de nitrates ne sont pas affectées si les conditions d'épandage sont bien maîtrisées ou peuvent s'accroitre dans le cas contraire. Les risques de ruissellement de P ne sont pas modifiés puisque c'est toujours la même quantité d'effluents qui sera épandue. Cette pratique peut réduire les émissions de GES dans la mesure où elle réduit les émissions indirectes liées à l'emploi des engrais de synthèse, ou au pire ne les affecte pas si l'épandage conduit à accroître les émissions de N2O par unité d'azote épandu par rapport à des engrais de synthèse. Les émissions d'odeur sont réduites en même temps que celles d'ammoniac.

Cette pratique n'affecte aucune des performances relatives à la qualité des sols ou à la biodiversité. Elle n'affecte pas non plus le temps de travail et le bien-être des animaux ni la sensibilité du système à la survenue d'aléas. Par contre, elle diminue l'exposition aux risques (accidents, inhalation de NH3).

B1.2 - Avoir une capacité de stockage permettant de mieux piloter la fertilisation

Le dimensionnement des infrastructures de stockage est défini par les arrêtés relatifs à la directive nitrate et la capacité minimale de stockage est aujourd'hui fixée à 6 mois de production d'effluents. Le dimensionnement des unités de stockage fait partie intégrante des exigences réglementaires pour la mise aux normes des bâtiments d'élevage. Les PMPOA (1 puis 2 - de 1993 à 2007), ont proposé une participation publique aux coûts (à hauteur de 20 à 25%) de mise aux normes des bâtiments. Toutefois, les périodes d'autorisation d'épandage ne sont pas nécessairement concordantes avec les périodes optimales de fertilisation (croissance du couvert, portance du sol) ce qui peut générer des pertes de nitrate et de phosphore vers l'eau d'autant plus que les éleveurs sont parfois contraints de vider les fosses très rapidement dès que l'épandage est autorisé. La pratique proposée ici consiste à développer des capacités de stockage supérieures à la limite légale de manière à donner plus de sécurité au système et de mieux gérer ses dates d'épandage.

En offrant des degrés de liberté supplémentaires pour gérer au mieux les dates d'épandage des effluents, la sous pratique permet de mieux valoriser l'azote organique des déjections, en l'apportant au meilleur

moment par rapport aux besoins de la végétation. La sous pratique permet de réduire, la consommation d'engrais de synthèse. En conséquence, les charges variables se réduisent et la valeur ajoutée, la rentabilité, l'EBE et l'autonomie productive augmentent. Cette sous pratique requiert des investissements pour l'agrandissement des fosses (ou des fumières) et va donc réduire le RCAI et accroitre la dépendance aux aides. En revanche, la transmissibilité peut ne pas âtre affectée aussi négativement car en anticipant les évolutions possibles de la réglementation, la pratique peut au contraire inciter à la reprise malgré les annuités d'emprunts.

La consommation d'énergie directe n'est pas affectée car la quantité d'effluents à manipuler ne l'est pas non plus. Par contre, la consommation d'énergie indirecte tend à diminuer, au prorata des économies sur les engrais de synthèse, de même que la consommation de P, en proportion de la réduction du lessivage. En permettant de mieux choisir les dates d'épandage, la sous pratique permet de réduire les risques de pertes de lessivage du nitrate et de ruissellement du P. Par contre, en accroissant le temps de stockage elle peut accroitre les risques de volatilisation de NH3 et d'émissions d'odeur mais bien qu'étant plutôt négatifs ces effets doivent être très modérés car les émissions sont surtout importantes au début de la période de stockage puis diminuent avec le temps. Les émissions de GES ne sont pas affectées ou peuvent être légèrement accrues si les émissions de N2O lors du stockage s'accroissent plus que la sous pratique ne permet d'économiser sur les émissions liées à l'utilisation des engrais de synthèse. Cette pratique a en fait tout intérêt à être associée avec la sous pratique « couvrir les fosses et les fumières » pour limiter les émissions.

Cette pratique ne réduit pas le temps de travail mais contribue à en réduire la charge mentale car il n'y a plus l'angoisse de voir la capacité de stockage dépassée en fin d'hiver face à des conditions climatiques qui empêchent l'épandage. Pour la même raison, la résistance aux aléas est plutôt améliorée.

B2 - Collecte et traitement

B2.1 - Evacuer rapidement les déjections hors des bâtiments

L'évacuation rapide des déjections hors des bâtiments a pour premier objectif de limiter les émissions gazeuses d'ammoniac, d'odeurs et de GES. En effet, les températures plus élevées à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur sont un facteur favorable aux émissions (Peyraud et *al*., 2012). En outre le stockage réduit aussi les surfaces de contact avec l'air limitant d'autant les possibilités d'échanges. Les effets sont toujours très positifs même si leur ampleur est plus ou moins importante selon les espèces animales et les types de déjections. La réduction des émissions de N2O peut ainsi être particulièrement importante dans les bâtiments porcins sur paille qui sont fortement émetteurs. Les effets sont aussi plus importants pour les lisiers relativement aux fumiers de bovins car les émissions sont nettement plus importantes au niveau des bâtiments juste après l'émission dans le cas des filières lisiers.

L'accroissement de la fréquence d'évacuation accroit la consommation d'énergie directe liée au fonctionnement des systèmes de raclage, mais en limitant la perte d'azote des lisiers elle permet des économies sur le poste fertilisation à même apport total d'azote sur les parcelles. Au final l'effet sur les charges variables est nul ou légèrement positif. Comme la production totale n'est pas affectée, la valeur ajoutée, la rentabilité, l'EBE et l'autonomie productive augmentent ou ne sont pas affectés. La sous pratique peut nécessiter une adaptation du système d'évacuation et donc des investissements mais parfois il suffit de faire fonctionner plus fréquemment le dispositif en place. L'investissement, le RCAI et la dépendance aux aides seront donc affectés plutôt négativement ou pas affectés selon les situations, de même que la transmissibilité.

La consommation d'énergie indirecte est réduite puisque des économies sont possibles sur la consommation des engrais de synthèse. La consommation de P n'est pas affectée car la teneur en P des

effluents ne l'est pas. Les pertes de nitrate par ruissellement ne sont pas affectées lorsque l'épandage s'effectue dans de bonnes conditions, mais peuvent s'accroitre si l'épandage n'est pas effectué dans de bonnes conditions puisque les effluents sont plus riches en azote. Les pertes de P par ruissellement ne doivent pas être sensiblement affectées dans la mesure où les quantités mises en jeu ne varient pas.

L'exposition aux risques (inhalation de NH3 en bâtiment) est réduite. Les autres performances ne sont pas affectées, même si l'évacuation plus fréquente des effluents peut à la marge contribuer à améliorer le bien-être animal.

B2.2 - Pratiquer la séparation de phases

La séparation de phase permet d'obtenir deux produits qui pourront être gérés différemment (et potentiellement mieux) avec éventuellement une exportation de la phase solide vers d'autres zones agricoles permettant ainsi de respecter le plafond d'épandage de la directive nitrate (Peyraud et *al.*, 2012). Elle permet de séparer : i) une fraction solide riche en matière organique dont la teneur en matière sèche est de l'ordre de 25-30% avec des concentrations en azote total et en phosphore respectivement 2 et 4-5 fois supérieures à celles du produit initial, l'azote étant principalement sous forme organique (>60%) et la concentration en potassium restant du même ordre de grandeur que celle du produit initial ; ii) une phase liquide dont la teneur en matière sèche a diminué de plus de moitié par rapport au produit initial et dont les teneurs en azote et en phosphore ont diminué de 10-20% et 60-65% respectivement par rapport au produit initial (Béline et *al.*, 2003). L'azote y est principalement sous forme minérale (ou organique simple). La phase solide peut plus facilement être exportée hors de l'exploitation que le lisier de départ.

La consommation d'énergie directe, surtout électrique, est généralement accrue de l'ordre de 2 à 5 kWh/m^3 de lisier traité avec des systèmes de décanteur centrifuge (Burton et Turner, 2003) ; toutefois l'utilisation de systèmes basés sur une séparation de phase directement sous les animaux par simple gravité puis raclage régulier n'accroit pas la consommation d'énergie. L'évolution des charges variables sera soit favorable soit défavorable en fonction de la différence entre les couts induits par la séparation de phases et les économies d'achat d'engrais minéraux qu'elle permettra du fait d'une gestion plus optimisée des effluents. A production inchangée, la VA, la rentabilité, l'EBE et l'autonomie productive évolueront comme les charges variables. La sous pratique requiert des investissements qui peuvent être importants. Le RCAI est au mieux maintenu mais il sera le plus souvent réduit, de même que la dépendance aux aides ainsi que la transmissibilité du fait de l'impact de l'endettement.

En permettant de limiter le recours aux engrais azotés, la séparation de phase réduit la consommation d'énergie indirecte. En cas d'export hors de l'exploitation de tout ou partie de la fraction solide, l'accumulation des ETM (et du phosphore) est réduite. Cette pratique élémentaire, en contribuant à mieux maîtriser le N et le P des effluents, permet de réduire les pertes de nitrate et le ruissellement du P (notamment si une partie de la phase solide est exportée). Les émissions de NH3 de la fraction liquide sont globalement réduites du fait d'une réduction des émissions à l'épandage car le produit s'infiltre plus rapidement dans le sol, les émissions sont aussi réduites si la pratique intègre une évacuation rapide des effluents (cas de la séparation de phase par gravité). En revanche, ces gains peuvent être en partie contrebalancés par une augmentation des émissions de la fraction solide notamment si celle-ci est compostée. Les émissions d'odeurs sont réduites, notamment lorsque la séparation de phases est réalisée par gravité et évacuation rapide des déjections. Les émissions de GES diminuent globalement, car si les émissions de N20 ne sont pas sensiblement réduites lors de l'épandage de la phase liquide au champ (Chantigny *et al.*, 2007 ; Chantigny *et al.*, 2010), les émissions liées à la phase solide plus riche en MS sont réduites. La réduction de l'utilisation des engrais de synthèse limite aussi les productions de GES liées à leur emploi. En outre, le process de séparation de phase n'est pas fortement émetteur car il ne consomme que de l'énergie électrique. La séparation de phase n'accroit pas le temps de travail mais peut réduire la charge mentale en permettant des adaptations du système.

B2.3 - Pratiquer la méthanisation dans un cadre individuel

La méthanisation est un procédé biologique continu de traitement des effluents qui consiste en une fermentation anaérobie (en l'absence d'oxygène) dans un digesteur. Les conditions anaérobies permettent le développement d'un consortium microbien spécifique assurant le déroulement des processus de dégradation d'une partie de la matière organique en un mélange de gaz, principalement du CH4 et du CO2 (le biogaz) et laissant un digestat. Après épuration du mélange gazeux, il est alors possible de valoriser le méthane produit sous forme d'énergie soit par la production de chaleur, la transformation en électricité ou encore par réinjection dans les circuits de gaz. La chaleur produite peut notamment être utilisée pour le séchage d'une partie des effluents permettant leur transport hors de l'exploitation ou de la zone de production. L'impact de la méthanisation vis-à-vis de l'azote est faible, la méthanisation ne modifiant pas la quantité d'azote mise en jeu dans le process et finalement à gérer et à épandre. Elle peut même l'accroitre si le méthaniseur est alimenté avec des substrats végétaux provenant d'autres exploitations ou territoires. Le digestat produit par méthanisation a des teneurs en N et P peu différentes de celles du lisier de départ mais l'azote est sous une forme plus volatile (75 vs 65% de NH4+ dans le N total) donc un peu plus disponible pour les végétaux mais aussi plus volatil. Ces quelques constats mettent en avant que les effets de la méthanisation dépendront fortement du contexte de sa mise en œuvre et des pratiques qui seront associées. Il y a par exemple tout intérêt à utiliser des méthodes permettant de réduire au maximum les émissions de NH3 lors du stockage et de l'épandage des digestats.

La méthanisation peut être envisagée au niveau individuel de l'exploitation. Dans ce cadre elle participe à la diversification des productions puisque la production d'énergie s'ajoute aux productions animales et végétales dont les quantités produites restent par ailleurs inchangées. Les charges variables s'accroissent du fait de la maintenance de l'installation, mais dans tous les cas ce surcoût est limité en regard du produit supplémentaire. De ce fait, la valeur ajoutée, l'EBE, la rentabilité et l'autonomie productive sont fortement améliorés. Par contre l'équipement en méthaniseur entraîne des investissements lourds donc un très fort endettement et le RCAI est fortement dégradé ainsi que la dépendance aux aides. Il est difficile d'anticiper l'effet sur la transmissibilité dans la mesure ou l'investissement important l'affecte négativement mais en sens inverse l'existence d'un méthaniseur peut être un élément favorisant la reprise compte tenu des revenus qu'il permet et des possibilités qu'il peut offrir pour le développement de l'élevage en permettant une exportation d'effluents désodorisés.

La méthanisation réduit la consommation d'énergie directe en rendant l'exploitation productrice d'énergie, tout comme la consommation d'énergie indirecte car l'azote du digestat est plus disponible pour les cultures que celui de l'effluent de départ ce qui facilite la fertilisation azotée. Elle réduit aussi les émissions de GES car le procédé réduit les émissions de méthane liées à la gestion des déjections (Bernet et Béline, 2009). D'autre part, si l'ampleur de l'effet de la méthanisation sur la réduction des émissions de N2O est plus controversé, il reste globalement favorable : les résultats des nombreux travaux réalisés montrent que l'application du digestat a entraîné une réduction des émissions de N2O de 25% en moyenne par rapport au lisier brut, bien qu'il ait été sans effet dans environ la moitié des études (Peyraud et *al*., 2012).

Les risques de lessivage de nitrate sont susceptibles de fluctuer en fonction de l'évolution ou non de la charge totale d'azote sur l'exploitation. Si la production de biogaz nécessite d'importer de la biomasse sans possibilité de restitution des digestats correspondants, le lessivage sera accru. Dans le cas contraire (autonomie ou reprise des digestats), la charge totale d'azote n'est pas modifiée et les risques de lessivage ne sont pas modifiés.. Dans tous les cas les émissions de NH3 lors du stockage et de l'épandage sont plus élevées pour les digestats que pour les lisiers de 15% environ (Amon et *al*., 2006 ; Clemens et *al*., 2006), du fait d'un pH et d'une concentration en azote ammoniacal plus élevée du digestat. Cet effet peut toutefois être fortement atténué, voire annulé si des méthodes appropriées sont utilisées pour réduire au maximum les émissions de NH3 lors du stockage et de

l'épandage des digestats. Le digestat étant un produit désodorisé, la méthanisation réduit les émissions d'odeurs.

La charge de travail que représente l'alimentation du digesteur est uniquement portée par l'exploitation ce qui dégrade la performance travail. Par contre, la sensibilité aux aléas est réduite du fait de la diversification des productions, ainsi que dans une moindre mesure par la plus grande facilité d'exportation des digestats permettant de compenser l'effet d'une charge animale momentanément trop importante en regard de la surface d'épandage disponible sur l'exploitation.

B2.4 - Pratiquer la méthanisation au niveau collectif

La méthanisation peut être envisagée au niveau collectif (à l'échelle d'un regroupement de producteurs, d'une initiative d'acteurs territoriaux ou d'une coopérative….). Cette pratique est en développement et ses modalités d'organisation sont/seront sans doute différentes selon les installations. On peut toutefois imaginer que l'éleveur délègue la méthanisation de tout ou partie de ses effluents dans le dispositif collectif et récupère sous forme de digestats un volume d'azote équivalent à celui fourni avec ses effluents pour l'épandre dans son exploitation.

Sous cette hypothèse de fonctionnement, plusieurs différences apparaissent par rapport au cas de la méthanisation au niveau individuel, l'ampleur des écarts étant en partie liée aux modalités de la contractualisation. Elles concernent notamment les performances économiques. La plus importante est sans doute que l'investissement n'est plus supporté par l'exploitant ou reste plus modéré si celui-ci acquiert des parts dans l'outil industriel. La contrepartie est que l'exploitation ne bénéficie plus du revenu permis par la production du biogaz ou pour une faible part seulement. Les charges variables ne sont pas affectées puisque l'entretien de l'installation ne revient plus à l'exploitation ou le sont pour une faible part. Les performances économiques sont donc maintenues, ou légèrement améliorées selon l'hypothèse sauf pour le RCAI qui est au mieux maintenu ou peut diminuer, de même que la dépendance aux aides.

La transmissibilité de l'exploitation est par contre améliorée. L'autre différence majeure concerne le travail qui n'est cette fois ci plus impacté négativement puisqu'il est délégué à la structure en charge de l'outil industriel.

Tous les avantages de la méthanisation en matière de consommation de ressources fossiles (énergie directe et indirecte) et d'impact sur l'environnement (GES, odeurs) sont préservés dans le cas de la méthanisation collective. On peut en effet faire l'hypothèse que ces performances sont réaffectées à chaque exploitation au prorata de leurs livraisons d'effluents. Toutefois, comme dans le cas de la méthanisation individuelle, les risques de lessivage de nitrate sont susceptibles de fluctuer en fonction de l'évolution de la charge totale d'azote sur l'ensemble des exploitations approvisionnant le méthaniseur. Si la production de biogaz nécessite d'importer de la biomasse en complément, sans possibilité d'exportation des digestats correspondants, le lessivage sera accru. Or, le potentiel de production de méthane des déjections animales étant peu élevé, les méthaniseurs doivent être alimentés avec d'autres sources de matière organique qui peuvent être des déchets verts ou des cultures intermédiaires. Toutefois, ceux-ci ne sont pas disponible régulièrement, d'où le recours à des déchets verts (par exemple provenant de collectivités) voire à des fourrages ensilés (surtout maïs). Dans ce dernier cas, la méthanisation pousse à intensifier les cultures, avec une augmentation de la charge azotée à l'échelle des territoires concernés et des effets négatifs sur les risques de fuites de nitrate. Quant aux émissions de NH3, elles sont accrues ou au mieux maintenues constantes comme sans le cas de la méthanisation individuelle.

La sensibilité aux aléas est susceptible de diminuer en proportion de la quote-part d'intéressement à la production de biogaz (en cas de prise de parts dans l'investissement initial), ainsi que dans une moindre mesure par la plus grande facilité d'exportation des digestats permettant de compenser l'effet d'une charge animale momentanément trop importante en regard de la surface d'épandage disponible au niveau de l'ensemble des exploitations.

B2.5 - Pratiquer *le traitement aérobie*

Le traitement aérobie (aussi dénommé traitement ou épuration biologique) est un traitement visant à éliminer une partie de l'azote contenu dans les effluents vers l'atmosphère sous une forme non polluante (N2) dans l'objectif de pouvoir respecter le plafond de 170 kg de N organique par hectare en l'absence de possibilité de réalisation d'un plan d'épandage collectif et de réduction des quantités d'azote pouvant être lessivées. Les flux ainsi engendrés peuvent être importants et il s'agit d'une perte nette de N au niveau de l'exploitation. Une exploitation porcine de 400 truies et 84 ha de céréales peut ainsi éliminer l'équivalent de 255 kg N/ha pour une entrée totale de 905 kg N/ha (Peyraud et *al*., 2012). L'épuration biologique est un procédé de traitement continu des lisiers réalisé dans un réacteur biologique. Le temps de séjour moyen du lisier dans ce réacteur est de l'ordre de 30-40 jours. L'alternance de phases aérobie (apport d'oxygène) et anoxie (absence d'oxygène) couplée avec des apports de lisier cycliques permet de maintenir une flore microbienne adaptée assurant le déroulement des processus de nitrification et de dénitrification au sein de ce réacteur biologique. Cette technique appliquée majoritairement au lisier de porcs permet ainsi d'éliminer par nitrification-dénitrification environ 60-70% de l'azote entrant dans le système principalement sous forme de N2 (Béline et *al*., 2004 ; Loyon et al., 2005). Généralement, une séparation de phase par décantation gravitaire est effectuée en aval du réacteur biologique et permet d'obtenir deux produits différents : le surnageant (65 % du volume et du K, moins de 20% de N restant et 30% de P) et les boues biologiques (35 % du volume et du K, plus de 80 % de N restant et 70 % de P). Le surnageant est utilisé en irrigation alors que les boues sont utilisées pour fertiliser les cultures. Du fait de l'élimination d'azote, le rapport P:N des boues est plus élevé que celui du lisier.

Le traitement aérobie accroit la consommation d'énergie directe, celle-ci étant de 15 à 20 KWh/m^3 de lisier traité, ce qui accroit donc fortement les charges variables, sans compensation, dans le cas présent, par une réduction de la consommation d'engrais de synthèse. La production végétale n'est pas modifiée et la sous pratique affecte donc négativement les performances économiques, d'autant plus qu'elle nécessite des investissements lourds (même s'ils sont en partie subventionnés). Malgré les coûts générés, les effets sur la transmissibilité peuvent ne pas être toujours négatifs car l'équipement de l'exploitation peut être considéré comme levant un verrou à la poursuite de l'activité.

La consommation d'énergie indirecte n'est pas affectée puisque la consommation d'engrais de synthèse n'est pas modifiée.

L'épuration biologique réduit le lessivage de l'azote mais peut accroitre le ruissellement de P, ou au mieux ne l'affecte pas, dans la mesure où elle amène à gérer des effluents ayant un rapport N:P encore plus faible que celui des lisiers et donc à apporter trop de P par unité de N épandu en regard du besoin des plantes. Pour la même raison cette pratique risque d'accroitre l'accumulation des ETM dans le sol. L'énergie dépensée lors du traitement est d'origine électrique et donc peu émettrice de GES, mais si les émissions de N2O au cours de ce processus peuvent être quasiment nulles lorsque l'ensemble est bien maîtrisé, elles peuvent atteindre plus de 13 % de l'azote entrant dans le système dans certains cas (Loyon et al., 2007, Peyraud et *al*., 2012). Au total les émissions de GES sont donc accrues ou au mieux non affectées. Cette sous pratique permet en revanche de diminuer les émissions de NH3 et d'odeurs.
L'épuration biologique accroit le temps de travail. Comme indiqué précédemment, le recours au traitement aérobie peut être considéré comme levant un verrou en matière de poursuite de l'activité, lorsque les effluents produits (donc les effectifs d'animaux) excèdent les capacités d'épandage. Toutefois, ce constat ne vaut que pour la composante azote des lisiers, le procédé étant sans effet sur les teneurs en P et en ETM. L'évolution des réglementations en la matière amène donc à considérer que la traitement aérobie ne réduit pas la sensibilité aux aléas dans une perspective de moyen terme.

B2.6 - Acidifier les lisiers

L'ajout d'additifs dans les déjections est une autre voie de progrès mais les références sont encore peu nombreuses sur ce point. L'acidification des lisiers vise à stabiliser l'azote pour éviter les pertes par volatilisation ammoniacale, elle déplace l'équilibre NH3-NH4+ vers la fraction NH4+ ce qui limite le potentiel de volatilisation. Le pH du lisier est en général compris entre 7 et 8 et abaisser le pH du lisier à un niveau stable de 6 suffit en général à réduire les émissions de NH3 d'au moins 50 % et pour un pH de 5,0 les émissions sont pratiquement nulles (Peyraud et *al*., 2012). La chute du pH est provoquée par l'utilisation d'acides forts, les quantités d'acide à utiliser étant importantes (de l'ordre de 20 kg d'acide sulfurique par tonne de lisier) car les lisiers sont des milieux tamponnés par la présence de carbonates. L'action des acides peut être complétée par l'utilisation de lactobacilles[77] producteurs d'acide lactique.

L'achat d'acide s'ajoute aux charges variables mais cet effet est relativement négligeable par rapport aux économies permises par le meilleur recyclage de l'azote des effluents et la réduction qu'il permet sur l'utilisation des engrais de synthèse à même apport total d'azote sur les surfaces et à production végétale inchangée. Les autres soldes de gestion et l'autonomie sont donc aussi améliorés. En revanche, les acides étant très corrosifs, il faut s'assurer que les matériels utilisés (dispositifs de distributions, dispositifs de stockage des lisiers) sont résistants, ce qui suppose notamment de protéger le béton des cuves. Des investissements sont donc nécessaires, ce qui accroît l'endettement. Le RCAI est négativement affecté ainsi que la dépendance aux aides.

La consommation d'énergie directe n'est pas affectée, de même que celle de P. Par contre, la consommation d'énergie indirecte diminue au prorata de la réduction de la fertilisation minérale. Les émissions d'odeurs sont également fortement réduites, de même que les émissions de GES, essentiellement du fait de la moindre consommation d'engrais de synthèse mais aussi grâce à la réduction des émissions lors de la conservation des effluents. Comme à chaque fois que la fertilisation est assurée avec proportionnellement plus de lisier et un peu moins d'azote minéral, le risque de lessivage de nitrate n'est pas affecté si le lisier est épandu dans de bonnes conditions mais peut s'accroitre dans le cas contraire.

La performance travail est fortement dégradée par l'utilisation d'acides forts : cette pratique accroit l'exposition aux risques de l'utilisateur, de même que le temps de travail car il faut tenir compte du pouvoir tampon des lisiers, ce qui impose en général une surveillance constante avec mesures du pH et des additions successives d'acide pour contrebalancer le CO2 produit et émis au cours de la préparation du lisier acidifié. Enfin l'élimination du CO2 produit en général une mousse épaisse qu'il est difficile de contrôler.

B2.7 - Pratiquer le compostage

Le compostage est un procédé de transformation biologique au cours duquel la matière organique facilement biodégradable va être éliminée et la matière organique moins dégradable va être stabilisée sous forme d'humus. Le bon déroulement des processus aérobies de décomposition nécessite un apport d'oxygène et engendre une augmentation de température. Une aération mécanique est généralement effectuée régulièrement par retournement de l'andain, le compostage aura donc pour effet d'accroitre la charge de travail. Par contre la chaleur dégagée réduit la charge microbienne et contribue à hygiéniser le produit. Le compostage éliminant les odeurs,les composts sont des produits facilement exportables, ce qui est intéressant pour les exploitations en situation d'excédent. Au cours du compostage des déjections animales, la minéralisation de la matière organique entraîne des pertes de carbone organique pouvant atteindre 50-70% du C initial (Bernal et *al*., 2009). La minéralisation des composés organiques couplée à la perte de matière sèche et d'eau conduit à une augmentation des concentrations en éléments minéraux (N, P, K) dans les composts, par rapport aux produits initiaux, malgré les pertes par transfert vers l'atmosphère et par lixiviation.

[77] http://www.google.com/patents/EP0612704B1?cl=en&hl=fr

Le compostage n'affecte pas la production végétale dans le cadre d'une fertilisation raisonnée puisque la faible biodisponibilité de l'azote du compost est compensée par l'apport d'engrais minéraux. En revanche il peut être exporté et commercialisé ce qui peut constituer un revenu de diversification complémentaire. Les charges variables sont accrues du fait des couts liés aux manipulations pour la préparation du compost et au besoin accru d'engrais minéral. Au final la valeur ajoutée, l'EBE, la rentabilité et l'autonomie sont affectées négativement sauf si la vente du compost compense les surcouts, y compris d'engrais permettant de restaurer le niveau de fertilisation. Notons toutefois que ces résultats sont valides sur le court terme mais qu'après plusieurs années d'utilisation du compost on peut penser que l'apport d'humus favorise l'activité biologique des sols et la minéralisation, permettant alors de réduire les achats d'engrais. Le compostage nécessite de mettre en place une plateforme dédiée (il est encore souvent effectué en plein champ mais cette pratique risque d'être interdite à l'avenir), éventuellement couverte pour mieux gérer les pertes ce qui nécessite un investissement donc accroit l'endettement, ce qui affectera négativement le RCAI et la dépendance aux aides.

Le compostage accroit légèrement la consommation d'énergie directe du fait des manipulations requises, mais en réduisant la masse totale des effluents il réduit les dépenses liées au transport et à l'épandage, le bilan est donc neutre ou au pire légèrement dégradé. Le compostage accroit les consommations en énergie indirecte du fait de l'usage des engrais de synthèse pour compenser la plus faible disponibilité de l'azote des composts. Par contre, la consommation de P n'est pas modifiée, le procédé n'induisant pas d'abattement de la quantité de phosphore globalement contenue dans les effluents. Le compostage permet de disposer d'un produit dont la matière organique a été stabilisée (humus) ce qui est favorable au taux de matière organique du sol et contribue aussi à limiter l'érosion et le compactage, ainsi que de manière générale les perturbations de l'écosystème (réduction de charge microbienne). En cas d'exportation de compost hors de l'exploitation, l'accumulation d'ETM dans les sols est réduite.

Les pertes d'azote au cours de ce procédé sont importantes et varient entre 30 et 60% de l'azote entrant dans le système, selon les auteurs et les conditions du compostage (Peyraud et *al*., 2012). Ces pertes sont essentiellement sous forme de NH3 et elles sont toujours très supérieures à celles observées pour un fumier. Les pertes peuvent néanmoins être limitées par la couverture des plateformes mais cela accroit encore l'endettement. Les pertes d'azote concernent aussi la forme N2O qui peut représenter de 1 à 6% des pertes azotées totales durant le compostage. Le compost accroit aussi l'activité de dénitrification totale au niveau du sol et les émissions de N2O après épandage (Dambreville et *al*., 2008) mais en sens inverse, le compost étant un produit relativement plus stables que les effluents bruts, les émissions de N2O seront plus faibles au moment de l'épandage. Au final, le compostage a un effet plutôt défavorable sur les émissions de GES ou au mieux neutre. Les pertes par lessivage sont toujours très fortement diminuées après épandage du fait que l'azote des composts est stabilisé. Toutefois une partie de l'azote peut être perdu par lessivage durant le compostage, notamment si celui-ci est effectué en plein champ. Dans le cas du compostage sur plateforme, les jus peuvent cependant être récupérés. L'effet du compostage sur les pertes de nitrate est donc globalement positif mais des précautions doivent être prises au moment de la réalisation des composts. L'effet est également favorable sur les pertes de P par lessivage.

Comme indiqué précédemment, le compostage accroit sensiblement le temps de travail. La sensibilité aux aléas est susceptible de diminuer du fait de la grande facilité d'exportation des composts, ce qui permet de compenser l'effet d'une charge animale momentanément trop importante en regard de la surface d'épandage disponible sur l'exploitation.

B3 - Epandage

Les techniques d'épandage au champ ont un effet majeur sur les émissions de NH3 même si celles-ci varient aussi avec la composition des lisiers et fumiers, les conditions météorologiques et pédologiques. La technique d'aspersion est celle qui maximise les émissions, elle est pourtant encore la plus appliquée en France

(plus de 70% des épandages) alors qu'elle a quasi disparu (moins de 10% des épandages) aux Pays Bas. Pour réduire les pertes de NH3 à l'épandage, le principe général consiste à diminuer la surface de contact entre l'effluent épandu et l'air, par des techniques d'application localisées (pendillards, lisier) ou par enfouissement/injection dans le sol (lisier et fumier). Ces techniques d'application localisées sont donc fortement recommandées surtout si en amont d'autres techniques ont permis de limiter la volatilisation de l'ammoniac, faute de quoi, tout l'acquis risque d'être perdu à l'épandage. En abaissant les émissions de NH3, on augmente la quantité d'azote absorbable par les plantes, d'où la nécessité d'ajuster les apports d'engrais azotés minéraux dans le plan de fertilisation**.**

B3.1 - Utiliser des pendillards

La technique d'épandage par des tuyaux trainés installés à l'arrière des tonnes à lisier (encore appelés pendillards) permet de déposer le lisier sur le sol, celui-ci doit ensuite être enfoui par labourage ou avec des cultivateurs à disques dans un délai de moins de 24h pour limiter au maximum les pertes. La pratique permet alors de limiter les émissions de NH3 de 25 à 35% avec cependant une forte variation autour de la moyenne, de 0 à 75% de pertes (Webb *et al.*, 2010). L'effluent étant distribué par des tuyaux de faible diamètre cette technique ne convient pas pour le lisier très visqueux ou contenant de grandes quantités de matière fibreuse (de la paille, par exemple).
Cette technique permet de mettre à disposition des plantes une proportion plus importante de l'azote des effluents et donc de réaliser des économies sur les achats d'engrais de synthèse ce qui tend à réduire les charges variables mais la technique nécessite un léger accroissement de la dépense en fioul du fait d'une demande de puissance un peu plus élevée pour le tracteur. Au final les charges variables sont réduites ou au pire maintenues et la rentabilité, les autres soldes de gestion et l'autonomie sont améliorés ou au pire maintenus. La pratique ne nécessite pas d'investissement conséquent donc le RCAI et la dépendance aux aides varieront à l'identique.

La consommation d'énergie directe est faiblement mais négativement impactée du fait de la demande supplémentaire de puissance lors de l'épandage. Cette pratique limite par contre la consommation d'énergie indirecte du fait de l'économie réalisée sur la consommation d'engrais de synthèse.

La sous pratique limite aussi fortement les émissions d'odeurs surtout si l'enfouissement survient rapidement après l'épandage. Cette pratique peut accroitre le risque de lessivage du nitrate si l'azote enfoui n'est pas valorisé par les cultures ou les microorganismes du sol, elle ne l'affecte pas sinon. Le résultat dépendra donc des conditions d'épandage. Le lisier étant rapidement incorporé dans le sol le risque de ruissellement de P est réduit. L'effet des pendillards sur les émissions de GES est difficile à anticiper car deux phénomènes agissent en sens contraire. Leur utilisation tend à limiter les émissions en permettant de réduire l'apport d'engrais de synthèse mais en sens inverse, l'incorporation des lisiers en bandes concentre l'azote apporté dans un volume de sol restreint et les émissions de N2O peuvent être accrues, l'amplitude de cet effet étant toutefois fonction des conditions d'aération des sols (Peyraud et *al*., 2012).

Cette pratique n'a pas de répercussion sur le travail et réduit l'exposition au risque puisque les émissions de NH3 sont réduites pendant l'épandage.

B3.2 - Injecter les effluents dans le sol

Les systèmes permettant une injection directe des lisiers dans le sols sont plus efficaces que les pendillards puisqu'ils permettent de réduire les émissions de NH3 de 70 à 90% avec là aussi une forte variabilité autour de la moyenne (de 20 à 99%, Webb et *al*., 2010).
Cette efficacité se réalise au prix d'une consommation de fioul beaucoup plus importante que pour les dispositifs par aspersion car la demande de puissance sur le tracteur est très importante, en outre les sabots d'injection s'usent rapidement et doivent être remplacés assez fréquemment. Compte tenu du coût d'achat de l'équipement, le travail est souvent sous-traité à une entreprise agricole. Mais dans tous

les cas, les charges variables s'accroissent ou sont au mieux maintenues du fait des économies permises sur les engrais azotés. La valeur ajoutée, l'EBE et la rentabilité sont donc aussi au mieux maintenues mais peuvent être réduits, d'autant plus que cette sous pratique peut diminuer momentanément le rendement des cultures (notamment celui des prairies) par détérioration mécanique. Si l'équipement est acheté en CUMA, l'investissement s'accroit, ce qui affecte encore plus négativement le RCAI. Dans le cas contraire, i.e. sous-traitance de l'épandage, le RCAI varie comme l'EBE. Il en va de même de la transmissibilité, directement influencée par l'importance de l'endettement éventuel

L'ensemble des performances environnementales évoluent dans le même sens que pour la sous pratique « utiliser des pendillards » mais sont d'une ampleur plus marquée puisque l'efficacité de la maîtrise du processus de la volatilisation est plus importante. Il en va de même pour l'exposition aux risques.

B4 - Gestion collective

Les exploitations étant de plus en plus spécialisées, il n'est pas toujours possible de développer en interne les adaptations requises ou souhaitables pour gérer les effluents et respecter le plafond de 170 kg N organique par ha. Cela est largement le cas pour des exploitations dédiées aux productions animales hors sol et ne disposant pas d'une surface suffisante pour gérer tous leurs effluents. Ces exploitations sont en excédent d'azote. Il y a deux approches pour réduire les forts excédents, soit d'abattre l'azote par traitement aérobie soit d'exporter les effluents comme engrais pour d'autres exploitations aptes à les recevoir et les valoriser. Nous analysons donc ici les effets des pratiques de gestion collective des effluents par comparaison au traitement aérobie à l'échelle de l'exploitation exportatrice d'effluents.

B4.1 - Réaliser des échanges d'effluents entre exploitations voisines

La réalisation de plans d'épandage entre exploitations voisines relève de l'initiative privée. Les échanges d'effluents entre exploitations voisines n'affectent pas la production végétale de l'exploitation de départ puisque ce sont que les quantités excédentaires de N qui sont exportées.
Cette pratique, en évitant le traitement aérobie, réduit fortement les charges variables et comme il s'agit ici d'échanges entre exploitations de proximité les couts de transport restent modestes. En règle générale l'exportation de lisier ne conduit pas à des revenus supplémentaires et à production inchangée, l'ensemble des performances économiques est amélioré, y compris le RCAI puisqu'il n'y a pas d'investissement à envisager. L'existence d'accords de transfert entre exploitation améliore la transmissibilité.

L'échange d'effluents réduit la consommation d'énergie directe par rapport au traitement aérobie. S'il n'affecte pas la consommation d'engrais de synthèse et donc la consommation d'énergie indirecte au niveau de l'exploitation de départ, déjà excédentaire en azote, il n'en va pas de même au niveau global incluant les exploitations receveuses, l'abattement d'azote inhérent au traitement aérobie étant évité. Par contre, tant au niveau de l'exploitation de départ que des exploitations receveuses, l'échange d'effluents est sans effet sur la consommation de phosphore non affecté par le traitement aérobie.

L'exportation d'effluent n'a pas d'effet sur le risque de fuite de nitrate comparée au traitement aérobie. Par contre elle permet de limiter le risque de ruissellement du P et d'accumulation d'ETM du fait de l'exportation alors que le traitement aérobie conserve tout le P et les ETM sur l'exploitation. Les émissions de GES sont potentiellement réduites du fait que le traitement aérobie peut émettre du N2O et au pire elles ne sont pas affectées. Par contre, l'effluent n'étant pas traité, il n'y a pas de raisons que les émissions de NH3 et d'odeur soient réduites.

L'une des difficultés de cette pratique réside dans la logistique. Il faut en effet s'assurer d'une bonne coordination entre la disponibilité de l'éleveur qui va réaliser le transfert d'effluent et les besoins de l'exploitation receveuse ce qui complique l'organisation du travail (Paillat et *al*., 2009). Cette pratique peut accroitre la sensibilité aux aléas dans la mesure où le contrat d'échange entre deux exploitations peut ne pas être renouvelé.

B4.2 - Réaliser un plan d'épandage collectif

Les plans d'épandage collectifs correspondent à une extension des échanges d'effluents entre exploitations dans la mesure où ils impliquent un nombre plus important d'exploitations avec des transferts qui peuvent s'effectuer sur de plus grandes distances en moyenne. Il convient de remarquer que les plans d'épandage collectifs, très utilisés à l'étranger, sont quasi inexistants en France, en partie pour des raisons administratives (la Directive Voynet Le Pensec ayant limité leur taille) et pour des raisons d'acceptabilité par les riverains. En outre, pour développer l'offre de surfaces à épandre, les effluents concernés doivent répondre à certaines caractéristiques préalables (en particulier, liées à leur taux de matière sèche, d'éléments fertilisants et dates d'épandage). Pour autant, cette pratique offre des potentialités indéniables. La seule étude par Analyse de Cycle de Vie publiée à ce jour et comparant le traitement aérobie et le transfert montre que pour tous les indicateurs environnementaux considérés (potentiel d'acidification, d'eutrophisation, consommation d'énergie fossile) le transfert entre exploitations est bien préférable au traitement (Lopez-Ridaura et *al*., 2009).

Au niveau des exploitations exportatrices les performances économiques et environnementales du plan d'épandage collectif sont globalement assez proches de celles relevées pour les échanges d'effluents entre exploitations voisines. Une différence avec la sous pratique « échanges d'effluents entre exploitations » provient du fait que les opérations de transport et d'épandage peuvent être externalisées. Dans ce cas les charges variables s'accroissent par rapport aux échanges d'effluents entre exploitations voisines, ce qui réduit les gains escomptés sur les charges variables en référence au traitement aérobie. Pour autant les performances économiques tendent toujours à s'améliorer et au pire ne sont pas affectées. L'existence d'un plan d'épandage collectif est un véritable atout pour la transmission des exploitations. Une autre différence réside dans la consommation d'énergie directe qui est susceptible de fluctuer largement en fonction des distances entre les exploitations concernées par le plan d'épandage collectif. Il en va de même pour les émissions de GES. Comme dans le cas des échanges d'effluents, la consommation de P n'est pas affectée et l'accumulation d'ETM dans les sols est réduite, tout comme les rejets de nitrate et de P.

L'organisation collective de ce transfert n'est pas simple et nécessite une bonne combinaison des équipements, des assolements, du type de sol et des conditions climatiques (Paillat et *al*., 2009). En revanche le temps de travail peut être sensiblement réduit en cas d'externalisation du transport et de l'épandage, mais sera accrue sinon.

B4.3 - Produire des engrais organiques standardisés dans un cadre collectif

La complémentarité entre exploitations (notamment porcines) et exploitations céréalières peut aussi être recherchée à une échelle géographique plus large que celle qui est compatible d'un point de vue logistique avec le transport d'effluents en l'état. Il s'agit alors de développer des technologies permettant de réduire le volume des effluents afin de pouvoir les transporter sur de plus longues distances. La sous pratique consiste à transformer les effluents en engrais normalisés pouvant être commercialisés (la pratique du compostage le permettait aussi en partie). De telles filières d'échange ou de commercialisation de ces fertilisants se développent à des échelles régionales ou nationales (entreprises spécialisées), notamment aux Pays Bas. Certains groupements de producteurs de porcs assurent déjà la collecte et la valorisation des coproduits de leurs adhérents en intégrant cette activité dans leur organisation industrielle de manière, par exemple, à valoriser la chaleur disponible à une étape pour le séchage de boues (cas de la Cooperl). Pour les lisiers, la séparation de phases, qui permet d'obtenir une

phase solide ayant des concentrations en azote total et en phosphore beaucoup plus élevées que le produit initial, est une étape préliminaire. Les engrais peuvent être produits à partir de la phase solide, dans ce cas l'élevage continue à valoriser l'azote de la fraction liquide des effluents. Des engrais peuvent aussi être produits à partir de la phase liquide (travaux en cours aux Pays Bas). Cette pratique élémentaire est une opportunité pour les exploitations qui n'ont pas la possibilité d'accéder à des surfaces d'épandage supplémentaires.

La pratique nécessite des équipements industriels lourds qui peuvent être pris en charge par un acteur de la filière (par ex une coopérative) ou directement par une association d'exploitations. Les performances économiques sont évaluées par rapport au traitement aérobie servant de référence en situation d'excédent structurel d'effluents sur l'exploitation et vont dépendre du cas de figure. Dans le premier cas il n'y a pas d'investissement donc d'endettement supplémentaire. Les charges diminuent puisque la pratique se substitue au traitement aérobie dont les coûts de fonctionnement ne sont pas négligeables. Dans le second cas, il faut considérer une quote-part d'endettement et de charges supplémentaires (au prorata des parts détenues dans l'outil) liées à l'investissement initial puis au fonctionnement de l'outil. S'agissant des charges, on peut considérer qu'elles sont alors du même ordre de grandeur que celles liées au traitement aérobie. Au final les charges variables diminuent ou n'évoluent pas selon le cas de figure. Dans le premier cas il n'y a pas de production supplémentaire de diversification (la vente de l'engrais servant au financement du fonctionnement de l'outil par l'opérateur) et la rentabilité, la valeur ajoutée, l'EBE, le RCAI et la dépendance aux aides s'améliorent du fait de la réduction des charges. Dans le second cas, on peut penser que l'engrais produit peut être commercialisé par l'association d'exploitations, ce qui contribue à accroitre le chiffre d'affaires. La valeur ajoutée peut alors être maintenue au même niveau que pour le traitement aérobie, de même que la rentabilité et l'EBE. Par contre dans ce cas, du fait des investissements, le RCAI et la dépendante aux aides sont négativement affectées. Quel que soit le cas de figure, l'autonomie productive s'accroit, soit du fait d'une réduction des charges à chiffre d'affaires constant (opérateur extérieur), soit parce que le chiffre d'affaires s'accroit à charges constantes (association d'exploitations). L'existence de cette technologie est très favorable à la reprise de l'exploitation, y compris en cas d'investissement collectif, la quote-part de recettes générée permettant de faire face à la quote-part de charges, y compris financières, induites par le fonctionnement du dispositif.

Comparée au traitement aérobie, cette pratique réduit toujours la consommation d'énergie directe d'une part (absence de dispositif de traitement au niveau de l'exploitation) et indirecte d'autre part puisque l'azote disponible au niveau des exploitations productrices est mieux préservé (absence d'abattement) et ensuite recyclé au sein des exploitations receveuses. La consommation de P n'est pas affectée, les procédés de traitement préalable et de fabrication d'engrais organique ne générant pas d'abattement pour cet élément. Les risques de ruissellement de P et d'accumulation d'ETM sont réduits du fait de l'exportation d'effluents après traitement. Par contre la sous pratique peut limiter les fuites de nitrates ou à minima les maintient constant car le traitement aérobie réduisait fortement la quantité totale d'azote à épandre, comme ici lorsque l'engrais est exporté, mais la forme d'engrais pemet sans doute de gérer plus précisément les quantités apportées par rapport au traitement aérobie. L'effet de cette pratique sur les émissions de GES n'est pas renseignée dans la littérature. En principe elle doit contribuer à les réduire car elle réduit les émissions à l'épandage des effluents liquides et les risques d'émission pouvant survenir lors du traitement aérobie. Le process peut être consommateur d'énergie, mais essentiellement d'électricité dont le cout GES est faible. Les émissions de NH3 et d'odeurs sont réduites puisque les effluents sont traités rapidement après l'émission et que le temps de stockage est réduit.

La réalisation des opérations au sein d'un collectif réduit le temps de travail et sa pénibilité, de même que l'exposition aux risques (moindre gestion d'effluents émetteurs de NH3). La sensibilité aux aléas diminue en situation de charge animale et donc de production d'effluents structurellement supérieure aux capacités d'épandage de l'exploitation, et ce même en référence au traitement aérobie (la fraction phosphore des effluents, non affectée par ce traitement, constituant désormais un nouveau facteur limitant à la charge animale par ha épandable).

B5 - Eau

Le recyclage des eaux vertes, brunes et blanches par lagunage est une technique d'épuration par une succession de trois étapes : (i) la séparation de phase (par décantation ou filtration), (ii) la réduction de la charge polluante par l'action de micro-organismes et (iii) l'épandage de la phase liquide restante, sur prairie notamment, ce qui peut être considéré comme une forme d'irrigation (CIVAM, 2005). La deuxième phase peut être réalisée au sein de « Massifs Filtrants Végétalisés » ou de « Bosquets Epurateurs », c'est donc alors l'absorption par les végétaux qui contribue au traitement des effluents. En fait cette pratique est très peu répandue, les eaux étant généralement dirigées vers la fosse à lisier où elles sont collectées.

Le cout d'investissement est relativement modéré et même quasi nul si l'éleveur prend en charge lui-même la mise en place de l'installation. La pratique n'impacte pas les charges variables et la production peut être marginalement accrue si la phase liquide sert à irriguer de la prairie aux alentours des lagunes. Toutefois les volumes d'eau mis en jeu restent modestes et cette irrigation ne peut porter que sur une faible surface. La rentabilité, la valeur ajoutée et l'EBE sont susceptibles de s'accroitre marginalement. Le RCAI et la dépendance peuvent être légèrement dégradés en proposition éventuellement réalisé.

La pratique peut limiter légèrement la consommation d'énergie en réduisant les volumes de lisiers à reprendre dans les fosses et à épandre. La consommation d'eau peut être marginalement réduite par un recyclage pour laver les bâtiments d'élevage (notamment la salle de traite) et/ou dans le cas d'une exploitation pratiquant l'irrigation. Les autres performances ne sont affectées, hormis un effet modeste mais favorable sur les perturbations de l'écosystème (épuration biologique).

B6 - Equarrissage

Les animaux morts sont classiquement destinés à l'équarrissage. Depuis le désengagement de l'état en 2009, le coût de l'équarrissage est supporté par les filières et il est relativement élevé. La gestion des cadavres est encadrée par le Règlement CE/1069/2009 qui laisse place à l'utilisation d'autres méthodes que celles utilisées à ce jour pour autant qu'elles aient été autorisées sur la base d'une évaluation de leur capacité à réduire les risques à un niveau au moins équivalent à celui garanti par les méthodes de transformation. La faisabilité du compostage d'animaux entiers a été démontrée pour les différentes espèces d'élevage (volailles et porcs). Le procédé consiste à réaliser un mélange de cadavre dans un agent structurant (sciure ou paille) dans des proportions qui garantissent la dégradation des cadavres avec une phase d'élévation de température assurant un niveau d'abattement satisfaisant de la concentration en agents pathogènes. La température doit atteindre plus de 55 °C pendant plus de 72 heures en tout point à deux reprises, ce qui nécessite deux retournements. Le taux de réduction massique est de l'ordre de 35 à 40%, les os résiduels (dans le cas des porcs) représentant 3% du poids final de compost produit. A l'issue de ce processus qui s'étale sur plusieurs mois, un produit stabilisé est obtenu. Sa valeur fertilisante est importante, mais son épandage n'est pas envisageable, la seule issue restant l'incinération compte tenu du niveau d'exigences requis par l'EFSA. L'autorisation de composter des cadavres à la ferme (porcs et volailles) a pourtant été accordée dans de nombreux états des Etats- Unis ou provinces du Canada. Cette pratique serait particulièrement intéressante dans les zones à faible concentration en élevage et éloignées des centres de traitement.

La production est inchangée. Le compostage des cadavres offre un excellent potentiel d'application à la ferme car il permet de réduire les charges variables. Son cout est faible en regard de celui lié au passage du service d'équarrissage du fait du transport, de la logistique et des contraintes d'incinération ou de stérilisation sous pression lié à l'équarrissage. La rentabilité, la valeur ajoutée, l'EBE et l'autonomie productive s'accroissent. Par contre il nécessite un investissement en silos ou plateforme de compostage Du fait de l'endettement qui en résulte et en proportion de celui-ci, le RCAI et la dépendance aux aides évoluent

moins favorablement que les autres performances économiques mais au pire ne varient pas. Cette pratique tend à améliorer la transmissibilité.

Le compostage est peu consommateur d'énergie directe au niveau de l'exploitation. Il permet de réduire de manière importante la consommation d'énergie indirecte et l'émission de GES liés au processus d'incinération et de stérilisation de l'équarrissage. Même si le compost doit être incinéré, les quantités sont plus faibles. En supprimant les risques de contamination sanitaire liés au passage du service d'équarrissage, il peut contribuer à réduire l'usage des produits vétérinaires. Par contre la charge de travail sera accrue.

C - Eléments-clefs à retenir

A l'exception du recyclage par lagunage des eaux vertes, brunes et blanches et de la pratique de l'équarrissage, toutes les pratiques de cette méta pratique concernent la gestion des effluents avec très souvent l'objectif de réduire les pertes d'azote, notamment par volatilisation de l'ammoniac, dans une stratégie conservatrice de l'azote des effluents pour une meilleurs valorisation. Dans le cadre de l'application d'une fertilisation raisonnée sur l'exploitation, la meilleure préservation de l'azote des effluents doit s'accompagner d'une réduction de la fertilisation minérale. Les pratiques sont donc comparées sur la base d'une même fertilisation totale sur les surfaces, ou plus précisément d'une même quantité d'azote disponible pour les cultures dans l'année en cours, ce qui suppose d'avoir recours à des OAD pour bien connaître les caractéristiques des effluents. Il n'y alors en général pas d'effet de la gestion des effluents sur les productions végétales. Ces pratiques sont plus ou moins efficaces pour réduire le recours aux engrais de synthèse mais la plupart permettent effectivement des gains à l'exception notoire du traitement aérobie, qui à l'inverse vise à éliminer un maximum d'azote par émissions dans l'air sous forme de N2, ainsi que du compostage qui en rendant l'azote moins disponible ne permet pas, au moins dans un premier temps, des économies sur le poste des engrais de synthèse. La gestion des effluents est une voie d'action majeure pour améliorer les performances environnementales des exploitations d'élevage, non seulement pour la gestion de l'azote (Peyraud et *al*., 2012) mais aussi pour limiter les risques de pertes de phosphore, les émissions d'odeurs et de GES. Il faut cependant noter que ces pratiques plus vertueuses nécessitent le plus souvent des investissements pour pouvoir être mises en place.

Dans la mesure où les pratiques sont comparées à même apport total d'azote disponible, la production végétale n'est pas affectée dans cette métapratique. Nous faisons en effet l'hypothèse que l'utilisation de l'azote des effluents est aussi efficace que celle des engrais de synthèse lorsque les effluents sont bien utilisés (Leterme et Morvan, 2010). Les productions animales ne sont pas affectées non plus dans la mesure ou la gestion des effluents n'interfère pas avec la conduite d'élevage, à l'exception éventuelle de la sous pratique « évacuation rapide des déjections hors des bâtiments » qui peut améliorer les conditions d'ambiance dans les bâtiments. Rappelons toutefois que comme à chaque fois que la fertilisation est assurée avec proportionnellement plus de lisier et moins d'azote minéral, le risque de lessivage de nitrate n'est pas affecté si le lisier est épandu dans de bonnes conditions mais peut s'accroitre dans le cas contraire.

Plusieurs voies d'actions sont envisageables. Une première voie vise à optimiser tous les maillons de la chaîne de gestion des effluents après avoir agi à la source (voir la MP alimentation) : la limitation des pertes dans les bâtiments, les conditions de stockage et d'épandage, sont autant de pistes qui ont été analysées. Il est très important de mentionner que c'est l'ensemble de la chaîne de collecte - stockage - épandage qu'il convient de maîtriser, les risques de transfert de pollution étant importants. Tout gain effectué à un stade peut être perdu au suivant si celui-ci est mal géré. Rappelons que si moins de NH3 est émis au stockage, les risques d'émission à l'épandage sont accrus et si au final plus d'azote peut être épandu du fait de pertes moindres au stockage et à l'épandage, les risques de lessivage peuvent

s'accroitre. Une seconde voie concerne le traitement technologique des effluents pour faciliter leur transport éventuellement hors des zones d'élevage. Les pratiques les plus courantes sont ici le compostage et la séparation de phase. La production d'engrais organique normalisés est une voie encore peu explorée à ce jour mais prometteuse. Ici aussi les pratiques ne sont pas indépendantes. Ainsi la séparation de phases, qui permet d'obtenir une phase solide ayant des concentrations en azote total et en phosphore beaucoup plus élevées que le lisier initial, est une étape préliminaire à d'autres traitements.
Les pratiques de gestion collective hors méthanisation (échanges d'effluents entre exploitations voisines ; plan d'épandage collectif ; production d'engrais organiques standardisés) sont des pratiques qui concernent des exploitations ayant un fort excès d'azote. Elles présentent des caractéristiques communes très favorables en termes d'impact sur les performances de l'exploitation comparativement au traitement aérobie qui est l'autre voie d'élimination de l'azote en excès dans les exploitations hors sol.

- Les charges variables sont réduites ou au pire maintenues en référence à celles associées au traitement aérobie, et la consommation d'énergie directe peut être réduite ;
- La consommation d'engrais de synthèse est réduite du fait d'une meilleure valorisation agronomique des effluents, chaque exploitation devenant à même de les utiliser d'une manière optimale, sans déficit ni excès par rapport aux besoins des cultures ;
- Ces pratiques permettent en même temps de limiter les excès de P et l'accumulation d'ETM dans les exploitations exportatrices alors que le traitement aérobie a un effet négatif sur ces performances puisqu'il amplifie les déséquilibres de composition des lisiers ;
- Ce résultat étant obtenu en l'absence d'investissement individuel et à charges variables minimisées par rapport au traitement aérobie, la rentabilité, les autres soldes de gestion, l'autonomie et la dépendance sont au moins maintenus et le plus souvent améliorés, avec un effet toujours favorable sur la transmissibilité ;
- Les rejets de GES par contre sont susceptibles de fluctuer, à la hausse comme à la baisse, en fonction des distances d'épandage (cas des effluents en frais) ou des procédés de production d'engrais organiques standardisés ; cette dernière pratique exerce par ailleurs une influence favorable sur les émissions de NH3 et l'émission d'odeurs ; l'exposition aux risques de l'éleveur s'en trouve diminuée ;
- Enfin, dans le cas des plans d'épandage collectif (avec externalisation de la prise en charge des opérations de transport et d'épandage) comme dans celui de la production d'engrais organiques standardisés, la quantité de travail est significativement réduite.
- Notons enfin que ces pratiques procurent plusieurs avantages aux exploitations receveuses : réduction de la consommation d'engrais N et P et donc réduction des charges variables et de la consommation d'énergie indirecte associée, accroissement de la teneur en MO de leurs sols, au moins dans le cas d'échange de lisier. L'évaluation de ces sous pratiques au niveau collectif est donc plus positive encore qu'au niveau des seules exploitations productrices d'effluents.

Ces trois pratiques sont à recommander. Elles se montrent efficaces pour réduire les excès d'azote sans toutefois l'être complètement dans les communes qui présentent les plus fortes densités d'élevages, en particulier dans le Grand Ouest de la France, car les possibilités de transfert y sont limitées. Le renforcement de la règlementation sur le phosphore favorisera ces pratiques car ce sont aussi des voies d'exportation du P en plus du N. Si les plans d'épandage entre exploitations voisines ne relèvent que de l'initiative privée, tout comme la production collective d'engrais organiques standardisés, il convient de remarquer que les plans d'épandage collectifs, très utilisés à l'étranger, sont quasi inexistants en France, en partie pour des raisons administratives (la Directive Voynet Le Pensec ayant limité leur taille) et pour des raisons d'acceptabilité par le voisinage. La production collective d'engrais normalisés est une voie qui mérite attention car elle offre *a priori* beaucoup d'avantages. Elle permettrait de décharger en azote des territoires qui sont aujourd'hui en excédents structurels, tout en conservant l'azote contrairement au traitement aérobie qui est subventionné. Dans le même temps cette production d'engrais et l'export vers d'autres cantons ou régions conduit aussi à diminuer les excédents de Phosphore et d'ETM, et d'initier un rééquilibrage en P des sols français (trop riches en Bretagne où il continue de s'accumuler, à trop faible

teneur dans certaines zones très céréalières). Cette pratique est en plus de nature à créer de l'emploi dans les zones de production de ces engrais par développement d'une nouvelle activité de nature industrielle. Au-delà des premières tentatives il est très probablement nécessaire d'injecter de la technologie pour réussir à produire des engrais aux propriétés bien maîtrisées et répétables dans le temps. Il s'agit là d'une piste de R&D très développée aux Pays Bas. Elle pourrait être encouragée par des dispositions financières ou fiscales.

La méthanisation réalisée dans un cadre collectif occupe une place à part parmi les pratiques relevant de la collecte et du traitement des effluents :

- C'est en effet la seule qui peut ne requérir aucun investissement au niveau individuel, contrairement à toutes les autres. Elle exerce également un effet favorable sur la consommation d'énergie directe (*via* la production d'électricité et/ou de chaleur).
- La limitation des rejets non contrôlés de méthane impacte favorablement l'émission de GES.
- Son intérêt pour la gestion de l'azote et la limitation des fuites de nitrates est en revanche beaucoup plus discutable. Du côté positif, l'azote présent dans les digestats de méthanisation est sous forme beaucoup plus soluble donc plus disponible pour les cultures lors de l'épandage, outre que la chaleur produite peut être utilisée pour le déshydrater et faciliter son transport. Du coté plus négatif, l'azote des effluents étant justement plus labile, les risques d'émissions lors du stockage et de l'épandage sont accrus. par ailleurs, le potentiel de production de méthane des déjections animales est peu élevé et les méthaniseurs doivent être alimentés avec d'autres sources de matière organique qui peuvent être des déchets verts ou des cultures intermédiaires mais ceux-ci ne sont pas disponible régulièrement, d'où le recours à des cultures dérobées voire à des fourrages ensilés (surtout du maïs). Dans ce cas la méthanisation pousse à intensifier les cultures, avec une augmentation de la charge azotée à l'échelle des territoires concernés et des effets négatifs sur les risques de fuites de nitrate d'une part, ainsi qu'à une mise en compétition la méthanisation avec la production animale pour l'utilisation des fourrages d'autre part, induisant une augmentation des prix du fourrage. L'exemple de l'Allemagne du Nord est particulièrement illustratif de ces deux risques : très fort renchérissement du prix du maïs ensilage, fort accroissement des teneurs en nitrates des eaux de surface.

Si cette pratique est favorisée à l'avenir par des incitations financières ou fiscales, compte tenu aussi du fait qu'elle peut être génératrice d'emplois, il convient de bien définir et encadrer les conditions de son développement, les risques de dérives étant importants. Cette pratique ne doit donc pas être présentée comme une solution aux problèmes des excès d'azote.

En dehors de ces pratiques envisagées à une échelle collective, plusieurs autres pratiques peuvent être mises en œuvre pour la gestion et le traitement des effluents, mais à l'échelle de l'exploitation cette fois-ci.

L'application localisée des lisiers (par utilisation de pendillards) **et l'acidification des lisiers** sont deux pratiques qui impactent les performances environnementales de façon assez similaire bien qu'il s'agisse de technique très différentes.

- Les charges variables tendent à se réduire tout en restant dans des solutions développées à l'échelle de l'exploitation. La rentabilité et les soldes intermédiaires de gestion s'améliorent dans les deux cas, mais le RCAI reste influencé par les investissements nécessités par l'utilisation d'acide.
- La consommation d'énergie indirecte est réduite car en limitant très fortement les émissions de NH3 au moment de l'épandage, cette pratique doit permettre des économies d'engrais azotés par une meilleure valorisation de l'azote des effluents. Par contre la valorisation du phosphore n'est pas impactée. Le revers de la médaille est bien sûr qu'en apportant plus d'azote organique au sol, ces deux pratiques sont susceptibles d'accroitre les rejets de nitrate dans l'eau selon les conditions entourant l'épandage ;
- Les émissions d'odeur sont réduites et celles de GES peuvent l'être aussi ;
- Le temps de travail n'est pas (ou peu) affecté par ces deux pratiques mais l'acidification accroit sa pénibilité, de même que l'exposition au risque du fait de la manipulation d'acides forts.

L'utilisation de pendillards est à recommander sans aucune restriction compte tenu de son intérêt pour mieux gérer l'azote, sans contreparties négatives fortes en terme d'investissement ou de travail, sachant qu'en plus elle permet de limiter le risque de ruissellement de P. En France l'épandage localisé des déjections est encore bien trop peu répandu alors qu'il est quasi systématique aux Pays Bas. C'est une technique à fortement encourager. Nous n'avons pas de recul en France sur la pratique de l'acidification des lisiers qui est surtout utilisée au Danemark. Cette technique mériterait quelques investigations avant d'être recommandée, il faut notamment vérifier qu'il n'y a pas d'effets négatifs à moyen et long terme sur la vie des sols, l'utilisation d'acide répétée pouvant ne pas être totalement neutre. En outre l'utilisation d'acide accroit toujours l'exposition aux risques des éleveurs et nécessite des investissements pour que les équipements puissent supporter l'addition d'acides forts.

L'injection des effluents dans le sol permet de limiter très fortement, voire supprimer les émissions de NH3, d'odeurs et de GES (en particulier de N2O). Elle a donc un impact très favorable sur la qualité de l'air sur l'exposition au risque de l'éleveur et du voisinage des parcelles en cours d'épandage. Le risque de ruissellement du phosphore est aussi très fortement limité. Compte tenu du bon recyclage de l'azote, les économies d'engrais azotés peuvent être plus importants que ce qui est permis par l'utilisation des pendillards. A l'inverse et pour la même raison, les risques de lessivage du nitrate peuvent être accrus. L'injection des effluents dans le sol accroit fortement la consommation d'énergie fossile du fait de l'augmentation de la puissance de traction requise. Les charges variables tendent aussi à s'accroitre malgré l'économie d'engrais minéral, et ce d'autant plus que le matériel peut s'user rapidement (usure des systèmes d'injection). Mais surtout, la pratique nécessite un investissement important. Ces machines sont d'ailleurs le plus souvent achetées dans le cadre de CUMA, une exploitation seule pouvant difficilement en assurer les charges financières. Les avantages de cette pratique sont encore plus importants que ceux de l'épandage par pendillards, mais au prix d'un investissement très lourd et de charges variables accrues. Venue des Pays Bas où de longue date les éleveurs sont concernés par la qualité de l'air (contrairement à la France) tout en bénéficiant de sols sablonneux, cette pratique ne semble pas devoir être recommandée systématiquement à l'inverse de l'usage des pendillards.

Les autres pratiques de collecte et traitement des effluents peuvent être rangées par ordre décroissant d'importance des équipements requis et d'efficacité sur le volet de la préservation de l'azote.

- **La méthanisation à l'échelle individuelle** permet aussi des économies sur la consommation de ressources fossiles et ses performances environnementales sont inchangées par rapport à la méthanisation collective. En diversifiant les productions de l'exploitation elle apporte un revenu complémentaire et améliore la résistance aux aléas. Par contre, il en va tout autrement de ses performances économiques du fait de l'importance considérable des investissements, rejaillissant sur l'endettement, outre que la maintenance du dispositif accroit les charges variables ; le RCAI se trouve amputé pendant la période d'amortissement et de remboursement des emprunts ; la dépendance aux aides et la transmissibilité sont affectées, de même que le temps de travail qui s'accroit notablement pour assurer la gestion du nouvel atelier de production d'énergie ;
- La mise en œuvre de cette pratique à titre individuel dépendra donc de l'assise financière de l'éleveur et des possibilités de collaboration avec le voisinage pour approvisionner le méthaniseur en sources carbonées notamment. En outre, cette pratique ne permet pas de gérer l'azote directement et de réduire sensiblement les risques de fuites de nitrates. Par contre l'énergie produite peut être utilisée pour sécher les effluents permettant ainsi de les transporter mais cette solution est difficilement envisageable au niveau individuel. Il faut noter que la méthanisation est intéressante pour les élevages biologiques qui sont très souvent déficitaire en azote puisque la méthanisation des résidus de culture et des cultures intermédiaires permet d'augmenter significativement l'azote réactif apporté au sol dans le système (75% vs 64% de NH4+ dans le N total).
- **Le traitement aérobie des lisiers** est appliqué très majoritairement au lisier de porc et permet d'éliminer sous forme de N2 environ 60 à 70% de l'azote du lisier entrant dans le système de traitement. Elle réduit les émissions de nitrate, de NH3 et d'odeurs du fait même de son principe consistant à pratiquer des abattements d'azote organique. Cependant cette pratique souffre de nombreuses limites : l'impact du traitement aérobie est le plus souvent négatif sur les rejets de

phosphore (ainsi que d'ETM) dont la concentration se trouve accrue dans les lisiers traités, ce qui peut conduire à des surdosages sur les cultures sauf à sous doser l'apport de N ; il s'agit d'un véritable gaspillage d'azote puisque au final le traitement ne fait qu'évacuer vers l'atmosphère environ 40% de l'azote initialement ingéré par les troupeaux, azote qui au demeurant coute de plus en plus cher à l'éleveur; la production est dégradée du fait de ces abattements ; l'importance de l'endettement conjugué à l'accroissement des charges variables dégradent l'ensemble des performances économiques (hormis la transmissibilité qui fluctue selon l'intérêt de l'installation en regard du plan d'épandage, notamment) ; la consommation d'énergie directe et indirecte augmente, de même que le temps de travail nécessité par la gestion de l'équipement. Si cette pratique a permis de réduire les charges de N pour certaines exploitations, en général les plus importantes donc pouvant envisager l'investissement, elle n'a fait que concourir à la concentration de l'élevage de porc. Au mieux elle a permis de libérer quelques surfaces dont d'autres exploitations ont pu bénéficier pour épandre leurs effluents. Au vu de ce bilan, il apparaît assez clairement que cette pratique n'a pas/plus à être subventionnée, d'autant que d'autres pratiques beaucoup plus vertueuses sont possibles pour contribuer à limiter les excédents d'azote. Au regard des performances observées, cette pratique élémentaire n'est pas à recommander pour mieux gérer l'azote et doit être considérée comme la dernière alternative. Cette pratique pourrait d'ailleurs devenir très coûteuse à l'avenir avec le renchérissement du prix de l'énergie.

- **L'évacuation rapide des déjections hors des bâtiments** par des dispositifs automatisés et la **pratique de leur séparation de phases** se caractérisent par des performances environnementales relativement proches. Elles permettent avant tout de réduire les émissions de NH3, d'odeurs et de GES. En permettant d'accroitre la quantité d'azote disponible dans les déjections, elles permettent aussi une réduction des consommations d'engrais minéraux et donc d'énergie indirecte qui lui est liée. La réduction des émissions de NH3 en bâtiment réduit l'exposition au risque des éleveurs. L'évacuation rapide des déjections tend à accroitre la consommation d'énergie directe, par contre celle-ci n'est pas toujours accrue par les dispositifs de séparation de phase : certaines installations fonctionnant par simple gravité ne requièrent pas d'énergie, d'autres basées sur des systèmes mécaniques qui sont plus souvent sollicités vont consommer un peu plus. La séparation de phase permet en outre de réduire le temps de travail et de mieux gérer le phosphore. Pour ces deux pratiques l'accroissement de l'endettement tend à dégrader certaines performances économiques ou du moins à les faire fluctuer en fonction de l'ampleur des investissements en regard des économies possibles. Ces deux pratiques présentent donc un intérêt certain au plan environnemental, mais doivent être bien raisonnées économiquement. Ces pratiques s'inscrivent dans la chaine globale de gestion des effluents de l'exploitation et elles ne sont jamais à raisonner seules mais en lien avec d'autres pratiques.
- **Le compostage** permet d'obtenir un produit final plus riche en éléments fertilisants (N, P, K) que le fumier initial. C'est de loin la pratique de traitement des effluents la plus abordable en termes d'investissement (en dehors de la méthanisation collective qui permet d'externaliser tout ou partie des investissements) puisqu'elle ne requiert au pire qu'une plateforme stabilisée même si la couverture de cette plateforme peut être recommandée pour limiter les pertes de NH3. Dans bien des régions le compostage est réalisé en plein champ, donc sans investissement, mais cette pratique pourrait être réglementée à l'avenir. En revanche les charges variables sont fortement accrues du fait des interventions à réaliser (constitution, retournement et évacuation des andains), de ce fait les performances économiques sont fluctuantes et risquent d'être dégradées. Le compostage a plusieurs intérêts environnementaux : les composts réduisent les risques d'émissions de nitrate car l'azote n'est plus sous forme soluble mais est organisé dans la matière organique ; le risque de ruissellement de phosphore est également réduit ; de ce fait, ils impactent favorablement l'écosystème (réduction de charge microbienne) et la structure du sol, c'est notamment une source de MO pour les sols. Par contre, l'azote des composts n'est pas ou très peu disponible à court terme ce qui nécessite des apports supplémentaires d'engrais de synthèse et globalement complexifie la gestion de la fertilisation, d'autant que les composts sont très hétérogènes. Le processus de compostage accroit les émissions de NH3, notamment lorsqu'il est imparfaitement maîtrisé. Il accroit aussi la consommation d'énergie directe et indirecte ainsi que le temps de travail. La pratique du compostage n'a pas vocation à être recommandée pour être généralisée. En complément de l'élevage biologique où elle est très

utilisée pour le maintien de la fertilisé des sols, cette pratique a tout intérêt à être mise en œuvre quand des exportations hors de l'exploitation doivent être réalisées, les composts étant une forme d'effluent facilement transportable et exportable car ils sont désodorisés et hygiénisés. Le compostage peut aussi être une alternative dans un contexte péri-urbain ou quand des marchés spécifiques (à destination des jardineries) peuvent être valorisés.

Les pratiques de stockage des effluents ont aussi des effets importants sur les performances de l'ensemble de la chaine de gestion des effluents, notamment en aidant à mieux gérer les effluents et à réduire les émissions de NH3.

- **Disposer d'une importante capacité de stockage** constitue un élément majeur de la fertilisation raisonnée dans les exploitations disposant d'engrais organique en abondance. En permettant d'optimiser les dates d'épandage et non plus d'épandre parce que la capacité de stockage est atteinte, cette pratique permet d'économiser de l'engrais azoté minéral et les engrais phosphatés et donc aussi de moins consommer d'énergie indirecte. La pénibilité du travail est améliorée, de même que la résistance aux aléas. Par contre l'investissement est important, ce qui dégrade l'endettement et le RCAI. Les émissions d'odeurs, de NH3 et dans une moindre mesure de GES peuvent s'accroitre du fait du stockage des effluents pendant une période plus longue, à l'origine de pertes de N gazeuses si d'autres pratiques ne sont pas mises en œuvre dans le même temps, comme la couverture des fosses. La mise en œuvre de cette pratique doit donc être raisonnée économiquement.
- **Couvrir les fosses et les fumières** permet de réduire sensiblement les émissions de NH3, d'odeurs et de GES, et donc aussi l'exposition au risque de l'éleveur. Toutefois, en préservant mieux l'azote dans les effluents, cette pratique accroit aussi les risques de lessivage du nitrate si l'épandage n'est pas ensuite effectué dans de bonnes conditions. Cette pratique permet des économies d'engrais minéral et donc de réduire les charges variables ainsi que la consommation d'énergie indirecte . Par contre, l'investissement est accru. Les soldes de gestion intermédiaires s'améliorent, mais le RCAI fluctue en fonction de l'endettement. Compte tenu des avantages escomptés sur la qualité de l'air et la santé, cette pratique doit être encouragée et recommandée à condition d'être couplée avec des pratiques d'épandage qui permettent de tirer partie de l'azote non volatilisé.

Le recyclage par lagunage des eaux vertes, brunes et blanches constitue un cas particulier. C'est une pratique très peu répandue, l'essentiel des eaux étant généralement récupérées dans la fosse à lisier. Elle peut néanmoins être recommandée, son principal avantage étant de limiter les volumes de lisiers à manipuler et la consommation d'eau du fait du recyclage, avec un effet favorable sur la perturbation de l'écosystème.

La pratique de l'équarrissage à la ferme se différentie totalement des précédentes puisque les « effluents » à traiter sont des cadavres d'animaux et non plus des déjections. Elle consiste en une décomposition maitrisée assimilable à du compostage. Sa faisabilité a été démontrée dans le cas des porcs et des volailles. Dans ces filières, elle est d'ailleurs utilisée dans certains pays en dehors de l'UE (Canada par ex.). Une application aux gros bovins semble par contre improbable pour des raisons d'acceptabilité sociétale liée au risque sanitaire potentiel (prion). Cette pratique accroit certes l'endettement du fait des investissements requis, mais l'économie liée à la suppression des coûts d'équarrissage réduit fortement les charges variables. La rentabilité et les soldes de gestion sont améliorés. La consommation d'énergie indirecte est réduite du fait de la disparition du processus de crémation en usine d'équarrissage. Le temps de travail, par contre, est significativement accru. Cette pratique présente donc de très nombreux avantages potentiels, tant en termes économiques qu'environnemental. Sa mise en place chez le porc et la volaille ne pourrait toutefois passer que par une modification de la réglementation sanitaire (de préférence au niveau UE) précédée d'une évaluation des risques avec mise au point, le cas échéant, d'un processus de décontamination bactériologique. On ne peut donc que recommander aux pouvoirs publics de faire évaluer cette pratique et ses éventuelles modalités de mise en œuvre.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter la production	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Gestion des effluents	Stockage	Couvrir les fosses et les fumières	=	=	+	+	+	+	+/-	+	+/-	=	-	=/+	=	+	=	=
		Avoir une capacité de stockage permettant de mieux piloter la fertilisation	=	=	+	+	+	+	-	+	-	=	-	=/-	=	=/+	=	=/+
	Collecte et traitement	Evacuer rapidement les déjections hors des bâtiments	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/-	=/+	=/-	=	=/-	=/-	-	+	=	=
		Pratiquer la séparation de phases	=	=	+/-	+/-	+/-	+/-	=/-	+/-	=/-	=	-	=/-	=/-	+	=	=
		Pratiquer la méthanisation dans un cadre collectif	=	=	+	-	+	+	-	+	-	+	-	=/+	+	+	=	=
		Pratiquer la méthanisation au niveau individuel	=	=	=/+	=/-	=/+	=/+	=/-	=/+	=/-	=	=/-	+	+	+	=	=
		Pratiquer le traitement aérobie	=	=	-	-	-	-	-	-	-	=	-	+/-	-	=	=	=
		Acidifer les lisiers	=	=	+	+	+	+	-	+	-	=	-	=	=	+	=	=
		Pratiquer le compostage	=	=	=/-	-	=/-	=/-	-	=/-	-	=/+	-	=	=/-	-	=	=
	Eau	Recycler par lagunage les eaux vertes, brunes, blanches	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=/-	=	-	+	=	=
	Gestion collective	Réaliser des échanges d'effluents entre exploitations voisines	=/-	=	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=/-	-	+	=	=
		Réaliser un plan d'épandage collectif	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	+	+	+	=	=
		Produire des engrais organiques standardisés dans un cadre collectif	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	+	+/-	+	=	=
	Epandage	Utiliser des pendillards	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	+/-	+	+/-	=/+	+/-	+	+	+	=	=
		Injecter les effluents dans le sol	=/+	=	=/+	=	=/+	=/+	=/-	=	=/-	=	=/-	=	+	=	+	=
	Equarissage	Pratiquer la décomposition des cadavres d'animaux à la ferme	=	=	+	+	+	+	=/+	+	=/+	=	-	=/+	+	+	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Gestion des effluents	Stockage	Couvrir les fosses et les fumières	=	=	=	=	=/-	=	=	=	=/+	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=
		Avoir une capacité de stockage permettant de mieux piloter la fertilisation	=	=	=	=	+	=	+	=	=/-	-	-	=	=	=	=	=	+	=	=	+
	Collecte et traitement	Evacuer rapidement les déjections hors des bâtiments	=	=	=	=	=/-	=	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=/+	=
		Pratiquer la séparation de phases	=	=	=	=/+	+	=	+	=	+	=/+	+	=	=	=	=	=	+	=	=	=
		Pratiquer la méthanisation dans un cadre collectif	=	=	=	=	=/-	=	=	=	+	=/-	+	=	=	=	=	=	-	=	=	+
		Pratiquer la méthanisation au niveau individuel	=	=	=	=	=/-	=	=	=	+	=/-	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+
		Pratiquer le traitement aérobie	=	=	=	=/-	+	=	=/-	=	=/-	+	+	=	=	=	=	=	-	=	=	=
		Acidifer les lisiers	=	=	?	=	=/-	=	=	=	+	+	+	=	=	=	=	=	-	-	=	=
		Pratiquer le compostage	+	+	+	=/+	+	=	+	=	=/-	-	+	=	=	=	=	+	-	=	=	=/+
	Eau	Recycler par lagunage les eaux vertes, brunes, blanches	=	=	=	=	=/-	=	+	=	+/-	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=
	Gestion collective	Réaliser des échanges d'effluents entre exploitations voisines	=	=	=	=	=/-	=	+	=	=/+	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=
		Réaliser un plan d'épandage collectif	=	=	=	+	=	=	+	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=/-
		Produire des engrais organiques standardisés dans un cadre collectif	=	=	=	+	=	=	+	=	+/-	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=
	Epandage	Utiliser des pendillards	=	=	=	+	=/+	=	+	=	+	+	+	=	=	=	=	=	+	+	=	+
		Injecter les effluents dans le sol	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=
	Equarissage	Pratiquer la décomposition des cadavres d'animaux à la ferme	=	=	=	=	=	=	=	+	+	=	=	=	=	=	=	=	-	?	=	=

E - Références bibliographiques

ADEME. « Panorama de l'épandage en agriculture » [en ligne]. (page visitée le 28/03/2013) http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f21.htm

AMON B., KRYVORUCHKO V., AMON T., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112 (2-3), 153-162

BASSET-MENS, C., VAN DER WERF, H.M.G. 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems - the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105, 127-144

BEEGLE D.B., KELLING K.A., SCHMITT, M.A., 2008**.** Nitrogen from animal manures. **In** : Schepers J.S., Raun W.R. (Ed) Nitrogen in Agricultural Systems. American Society of Agronomy, 823-881

BÉLINE F., DAUMER M.L., GUIZIOU F. 2003. Traitement biologique aérobie du lisier de porcs: performances des systèmes de séparation de phases et caractéristiques des co-produits. *Ingénieries*, 34, 27-36

BÉLINE F., DAUMER M.L., GUIZIOU F. 2004. Biological aerobic treatment of pig slurry in France: Nutrients removal efficiency and separation performances. *Transactions of the ASAE*, 47 (3), 857-864

BERNAL M.P., ALBURQUERQUE J.A., MORAL R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100 (22), 5444-5453

BERNET N., BÉLINE F. 2009. Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents. Proceedings of the OECD Workshop: Livestock waste treatment systems of the future: A challenge to environmental quality, food safety, and sustainability. 2-4/04/2008. Florence (South Carolina, USA). *Elsevier*, 5431-5436

BUREAU DES BIOTECHNOLOGIES ET DE L'AGRICULTURE. Les élevages IPCE. Les épandages des effluents d'élevage, Les Mardis de la DGPR, MEED, 10/04/2012, La Défense (Paris)

BURTON C.H., TURNER C. 2003. Manure Management. Treatment Strategies for Sustainable Agriculture. 2nd Edition. *Silsoe Research Institute*, 451 p.

BUSSINK D.W., OENEMA O. 1998. Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51 (1), 19-33

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA HAUTE MARNE. « Effluents Liquides » [en ligne]. (page visitée le 27/03/2013).
http://www.haute-marne.chambagri.fr/kit/fileadmin/documents/technique/effluentsliquides.htm

CHANTIGNY M.H., ANGERS D.A., ROCHETTE P., BELANGER G., MASSE D., COTE D. 2007. Gaseous nitrogen emissions and forage nitrogen uptake on soils fertilized with raw and treated swine manure. *Journal of Environmental Quality*, 36 (6), 1864-1872.

CHANTIGNY M.H., ROCHETTE P., ANGERS D.A., BITTMAN S., BUCKLEY K., MASSE D., BELANGER G., ERIKSEN-HAMEL N., GASSER M.O. 2010. Soil nitrous oxide emissions following band-incorporation of fertilizer nitrogen and swine manure. *Journal of Environmental Quality*, 39 (5), 1545-1553

CITEPA. 2011. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France. Séries sectorielles et analyses étendues (Format Secten). 328 p.

CIVAM. 2005. Pourquoi Comment réaliser une mise aux normes économe
www.agriculture-durable.org/wp-content/uploads/2009/09/sixvoletsman.pdf

CLEMENS, J., TRIMBORN M., WEILAND P., AMON B. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112 (2-3), 171-177

DAMBREVILLE C., MORVAN T., GERMON J.C. 2008. N2O emission in maize-crops fertilized with pig slurry, matured pig manure or ammonium nitrate in Brittany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123 (1-3), 201-210

DIEZ J.A., DE LA TORRE A.I., CARTAGENA M.C., CARBALLO M., VALLEJO A., MUNOZ M.J. 2001. Evaluation of the application of pig slurry to an experimental crop using agronomic and ecotoxicological approaches. *Journal of Environmental Quality*, 30 (6), 2165-2172

DOURMAD J.Y., JONDREVILLE C. 2008. Improvement of balance of trace elements in pig farming systems. **In** : Trace elements in animal production systems. Schlegel P., Durosoy S., Jongbloed A. (Ed). *Wageningen Academic Publishers*, 139-142

DOURMAD J.Y., RIGOLOT C., JONDREVILLE C. 2009. Influence de la nutrition sur l'excrétion d'azote, de phosphore, de cuivre et de zinc des porcs, et sur les émissions d'ammoniac, de gaz à effet de serre et d'odeurs. *Inra Prod. Anim*., 22 (1), 41-48

EGHBALL B. 2003. Leaching of phosphorus fractions following manure or compost application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34 (19-20), 2803-2815

GAC A., BELINE F., BIOTEAU T., MAGUET K. 2007. A French inventory of gaseous emissions (CH4, N2O, NH3) from livestock manure management using a mass-flow approach. *Livestock Science*, 112 (3), 252-260

GALLOWAY J.N., ABER J.D., ERISMAN J.W., SEITZINGER S.P., HOWARTH R.W., COWLING E.B. et COSBY B.J. 2003. The Nitrogen Cascade. *BioScience*, 53 (4), 341-356

JONDREVILLE C., REVY P.S., DOURMAD J.Y. 2003. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. *Livest. Prod. Science*, 84, 147-156

LE GALL A., VERTES F., PFLIMLIN A., CHAMBAUT H., DELABY L., DURAND P., VAN DER WERF H., TURPIN N., BRAS A. 2005. Flux d'azote et de phosphore dans les fermes françaises laitières et mise en œuvre des règlementations environnementales. Rapport numéro 190533017. Collection Résultats. Inra / Institut de l'Elevage. 64 p.

LETERME P., MORVAN T., 2010. Mieux valoriser la ressource dans le cadre de l'intensification écologique. *Les colloques de l'Académie d'Agriculture de France*, 1, 101-118

LEVASSEUR P., 2005. Composition des effluents porcins et de leurs coproduits de traitement. ITP, 68 p.

LOPEZ-RIDAURA S., VAN DER WERF H., PAILLAT J.M., LE BRIS B. 2009. Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 90, 1296-1304

LOYON L., BELINE F., GUIZIOU F., BOURSIER H., PEU P. 2005. Bilan environnemental des procédés de traitement biologique des lisiers de porcs. Rapport final Etude ADEME/Cemagref ADEME.

LOYON L., GUIZIOU F., BELINE F., PEU P. 2007. Gaseous emissions (NH_3, N_2O, CH_4 and CO_2) from the aerobic treatment of piggery slurry - comparison with a conventional storage system. Gaseous emissions from agricultural systems. 11th Conference of the FAO Escorena Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN), 'Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety', 6-9/10/2004, Murcia (Spain), *Elsevier*, 472-480.

MEEDD. 2002. Evaluation des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités - lot 3 : effluents d'élevage. Rapport réalisé par Biomasse Normandie [en ligne] (consulté le 26/03/2013)
http://www.biomasse-normandie.org/IMG/pdf/rapport.pdf

MACHET J.M., DUBRULLE P., DAMAY N., DUVAL R., RECOUS S., MARY B. 2007**.** Azofert: a new decision support tool for fertliser N advice based on a dynaminc version of the predictive balancesheet method. 16th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers (CIEC), "Mineral versus Organic Fertilization: Conflict or Synergism". Gand (Belgique)

MORVAN T., THIRION F., GENERMONT S. 2004. Maîtrise des émissions ammoniacales au champ : les techniques qui marchent. *Perspectives Agricoles*, 304, 24-27

MORVAN T., NICOLARDOT B., PEAN L., 2006. Biochemical composition and kinetics of C and N mineralization of animal wastes: a typological approach. *Biology and Fertility of Soils*, 42 (6), 513-522

PARNAUDEAU V., NICOLARDOT B., GENERMONT S., MORVAN T., HENAULT C., FLURA D., ROBERT P.M., FABRICE LINERES M. ET MOREL C. 2004. Disponibilité en azote des effluents urbains, agro-industriels et issus d'élevage. *Soil Science*, 34, 12-18

PAILLAT J.-M., LOPEZ-RIDAURA S., GUERRIN F., VAN DER WERF H., MORVAN T., LETERME P. 2009. Simulation de la faisabilité d'un plan d'épandage de lisier de porc et conséquences sur les émissions gazeuses au stockage et à l'épandage. Journées Recherche Porcine. 3-4/02/2009. Paris (France), 271-276

PEYRAUD J.-L., CELLIER P., (éditeurs.), Aarts F., Béline F., Bockstaller C., Bourblanc M., Delaby L., Donnars C., Dourmad J.Y., Dupraz P., Durand P., Faverdin P., Fiorelli J.L., Gaigné C., Girard A., Guillaume F., Kuikman P., Langlais A., Le Goffe P., Le Perchec S., Lescoat P., Morvan T., Nicourt C., Parnaudeau V., Peyraud J.L., Réchauchère O., Rochette P., Vertes F., Veysset P., 2012. Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres. Expertise scientifique collective. Rapport Inra (France). 527 p.

SCEES. 2008. Enquête structure Bâtiments. Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques.

SHARPLEY A.N., SMITH S.J., 1994. Wheat tillage and water-quality in the southern plains. *Soil &Tillage Research*, 30 (1), 33-48

UNECE. 2007. Document d'orientation sur les techniques d'orientation sur les techniques de prévention et de réduction des émissions d'ammoniac United Nations. 40 p. [en ligne] (consulté le 23/03/2013)
http://www.unece.org/env/documents/2007/eb/wg5/WGSR40/ece.eb.air.wg.5.2007.13.f.pdf

WEBB J., PAIN B., BITTMAN S., MORGAN J. 2010. The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response-A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137. (1-2), 39-46

CHAPITRE 12
GESTION DE LA SANTÉ ET DU BIEN-ÊTRE ANIMAL

A - Introduction 248
B - Description par pratique élémentaire 249
C - Eléments-clefs à retenir 262
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 265
E - Références bibliographiques 266
F - Annexes 269

CHAPITRE 12
Gestion de la santé et du bien-être animal

A - Introduction

Le maintien de la santé des animaux est un préalable au bon fonctionnement de tout atelier de productions animales, les performances zootechniques ne pouvant être obtenues que si la santé des animaux est préservée. L'éleveur se doit donc d'y veiller attentivement car le statut sanitaire d'un cheptel est susceptible d'être en permanence remis en cause. La satisfaction des exigences du bien-être animal répond quant à elle à des préoccupations éthiques accentuées par la demande sociétale ; elle procède plutôt d'une amélioration continue. Malgré ces différences, et bien que les mesures à mettre en œuvre pour le maintien de l'une et l'amélioration de l'autre soient de nature différente, santé et bien-être animal sont au moins en partie liés dans la mesure où les problèmes de santé affectent le bien-être et en retour, un niveau élevé de bien-être sera favorable aux performances, zootechniques en particulier. Du fait de leur impact sur la physiologie de l'animal et l'intensité de son fonctionnement, les MP de Conduite de l'élevage, de Gestion de l'alimentation animale et de Gestion la génétique animale interagissent fortement avec la présente MP de la santé et du bien-être des animaux (de même que les MP Gestion des bâtiments d'élevage et Gestion des effluents, mais à un moindre degré).

Les enjeux de la santé animale sont multiples, productifs, économiques, et de santé publique tout d'abord. Des aliments sains (œufs, lait, viande) ne peuvent être produits que par des animaux sains. Les aliments ne doivent pas être contaminés par des agents pathogènes susceptibles de nuire à la santé du consommateur. La santé des animaux doit être préservée aussi parce que 60% des agents pathogènes sont communs à l'animal et à l'homme et que 75% des maladies (ré-)émergentes sont d'origine animale. En élevage, si la santé ou le maintien de l'intégrité corporelle ne génèrent pas de gains, les maladies et les lésions peuvent engendrer de lourdes pertes productives et économiques, jusqu'à mettre en péril l'atelier, voire l'exploitation. Les problèmes sanitaires évoluent selon un gradient inversé fréquence / gravité, depuis les pathologies multifactorielles (par exemple, mammites, pododermatites), fréquentes mais ne générant que des pertes modérées, jusqu'à la contamination accidentelle par des maladies réputées contagieuses (par exemple, peste porcine), très rares mais susceptibles de conduire à l'élimination totale du cheptel. Les enjeux sont également sociaux et sociétaux du fait des répercussions des problèmes sanitaires sur le travail de l'éleveur d'une part, tant en quantité qu'en qualité (stress), sur la dégradation du bien-être des animaux et sa perception par la société d'autre part (sans oublier les risques pour la santé humaine, des agriculteurs et de la population, de façon plus générale). L'enjeu environnemental, enfin, est présent plus marginalement, au travers d'éventuels rejets d'agents pathogènes et de produits de traitement dans l'environnement. L'amélioration du bien-être animal répond essentiellement à des enjeux sociaux et sociétaux, même si, dans certaines limites, des retombées économiques favorables sont également susceptibles d'intervenir au niveau de l'atelier comme mentionné antérieurement. Au niveau de la filière tout entière, l'enjeu économique peut même devenir majeur dès lors que le mode de production suscite des problèmes d'acceptabilité des produits, conduisant à modifier ce mode en profondeur, y compris par le biais de la réglementation (par exemple, logement des poules pondeuses).

Considérées individuellement, les pratiques élémentaires de maîtrise de la santé des animaux sont particulièrement nombreuses et diverses :

- Bonnes pratiques d'élevage (ex : alimentation, logement, etc.) ;
- Mesures préventives non-spécifiques (ex : lavage désinfection) ;
- Mesures préventives spécifiques (ex. : vaccination des poussins contre la maladie de Marek) ;
- Mesures curatives (ex. : traitement des mammites cliniques à la cloxacilline, etc.).

Seuls les principes d'usage (ou de renoncement à l'usage) des spécialités vétérinaires (médicaments y compris vaccins) ont donc été considérés ici, en complément de pratiques de prévention non spécifiques.

Les mesures préventives retenues sont la réduction des mouvements d'animaux entre élevages pour prévenir la diffusion d'agents pathogènes ; la pratique de la vaccination préventive, quand les vaccins sont disponibles ; la suppression des traitements systématiques par des médicaments vétérinaires, par incorporation d'antibiotiques dans les aliments composés en particulier ; et l'utilisation de probiotiques et autres additifs.[78] Les traitements curatifs sont pris en compte pour la réduction des traitements par des médicaments vétérinaires ; et l'utilisation de traitements alternatifs.

La relation homme-animal occupe une place charnière puisqu'elle permet de contribuer à la fois à la santé (observation précoce des symptômes) et au bien-être des animaux (familiarité). Du point de vue de l'éleveur au sens strict, elle ne met en œuvre que sa disponibilité et son sens de l'observation.

L'amélioration du bien-être animal passe par le respect de l'intégrité physique des animaux et l'amélioration de leurs conditions de vie. Parmi les pratiques d'élevage associées à des mutilations sources de douleur chez les animaux d'élevage, deux d'entre elles, couramment pratiquées et posant des problèmes d'acceptabilité sociétale, ont été considérées sous l'angle du renoncement : l'écornage des bovins et la castration des porcs. Quant à l'amélioration des conditions de vie, elle nécessite le plus souvent des aménagements significatifs tels que l'accroissement des surfaces ou l'enrichissement du milieu pour stimuler l'activité et permettre l'expression des comportements « naturels ». Elle peut néanmoins résulter d'un simple changement de pratique élémentaire, en limitant les mélanges d'animaux issus de bandes différentes pour réduire les conflits.

Plusieurs des pratiques élémentaires considérées ici sont assorties de conditions de réussite (ou à défaut, d'échec) selon la mise en œuvre ou non de mesures palliatives requises, ou selon leur compatibilité ou non avec d'autres pratiques. De ce fait, leurs performances sont susceptibles de fluctuer largement selon le cas et la mise en œuvre de pratiques élémentaires liées et/ou induites.

B - Description par pratique élémentaire

En préambule, on notera que les différentes pratiques élémentaires jouent très peu sur les performances environnementales à l'exception notable et logique de celle relative à l'utilisation de produits vétérinaires.

B1 - Mesures préventives

B1.1 - Réduire les mouvements d'animaux entre élevages

Réduire les mouvements d'animaux entre élevages limite les risques de propagation de maladies contagieuses qui relèvent de trois catégories : (i) les maladies épidémiques (forte contagiosité, gérées par l'Etat), qui génèrent des chocs d'offre et de demande impactant les filières ; (ii) les maladies

[78] De façon générale, les probiotiques sont des micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité adéquate, produisent un bénéfice pour la santé de l'hôte.

endémiques (contagiosité modérée, gérées par les producteurs), qui impactent la compétitivité des élevages ; et (iii) le portage d'agents pathogènes responsables de zoonoses alimentaires (maîtrise par la production primaire), qui conditionnent l'accès aux marchés et augmentent les coûts de production.[79] Les mouvements d'animaux vivants infectés (entre exploitations) et les échanges d'animaux infectés *via* les centres de rassemblement et les marchés sont des vecteurs majeurs de diffusion d'agents transmissibles puisqu'ils les propagent à distance (Beaudeau et *al.*, 2011). Réduire les mouvements d'animaux revient à privilégier l'autonomie du cycle de production au niveau de l'élevage (de chaque élevage). C'est un compromis qui doit être recherché dans la mesure où cette autonomie ne peut pas être obtenue dans tous les cas. Chez les ruminants, en particulier en production bovine, les mouvements d'animaux entre élevages correspondent majoritairement aux transactions entre naisseurs et engraisseurs de veaux de boucherie ou de jeunes bovins, en ateliers dédiés. La diffusion des animaux est donc spatiale, entre élevages de production aux activités complémentaires. Chez les monogastriques, la diffusion est avant tout verticale, le long de la filière, mais également spatiale entre élevages de production (dans le seul cas du porc) (Lurette et *al.*, 2009). En effet, ces filières sont organisées sur le mode pyramidal, avec des élevages spécialisés de sélection et de multiplication approvisionnant les élevages de production. La dépendance de l'exploitation d'élevage vis-à-vis de son amont est incontournable puisque ce dernier fournit systématiquement soit les reproducteurs de renouvellement (porc), soit les produits terminaux (poussins de chair ou poulettes destinées à la ponte). En production porcine, le modèle naisseur-engraisseur permet néanmoins de limiter la contamination entre élevages de production *via* la diffusion de porcelets ; en production avicole en revanche, il n'existe pas d'alternative au recours aux accouveurs.

Des stratégies peuvent être mises en place pour limiter les risques de diffusion d'agents pathogènes quand les mouvements d'animaux entre élevages ne peuvent pas être évités (Repiquet, 2003). Ces stratégies passent par la qualification sanitaire des élevages et la restriction de la diffusion des animaux en fonction du statut sanitaire de l'élevage fournisseur (lequel doit être au moins équivalent à celui des élevages receveurs). Cette certification peut être mise en place sur une base contractuelle, tels les cahiers des charges techniques du système national de qualification de cheptel (rhinotrachéite infectieuse bovine ; Visna-Maëdi) édictés par l'Association pour la Certification de la Santé Animale (ACERSA).

On résumera les impacts de cette pratique élémentaire « réduction des mouvements d'animaux entre élevages » sur les diverses performances de la façon suivante :

- La réduction des mouvements d'animaux entre élevages induit une moindre diversification des productions, les ateliers d'élevage dits « annexes » (par exemple, veaux de boucherie ou porcs à l'engrais) pouvant être remis en cause car tributaires d'un approvisionnement extérieur ;
- Corrélativement, les rendements considérés au niveau de l'exploitation agricole (et non plus d'un seul atelier) sont susceptibles de fluctuer fortement ;
- De ce fait, les charges variables, la rentabilité, les soldes de gestion, l'autonomie productive et la dépendance aux aides peuvent s'en trouver améliorés ou au contraire dégradés ;
- La consommation directe d'énergie est réduite du fait de la limitation des transports entre élevages ;
- Il y a également diminution des utilisations et des rejets de produits vétérinaires dans les situations où, avant la réduction des mouvements entre élevages, des traitements étaient nécessités par la transmission d'agents pathogènes ; l'impact est neutre dans le cas contraire, i.e., quand le statut sanitaire des élevages fournisseurs est élevé ;
- Il y a augmentation du temps de travail dans les situations où la spécialisation des ateliers (favorable à la productivité) est réduite ; l'impact est neutre dans le cas contraire, i.e., en cas de simple réduction du nombre d'élevages fournisseurs ;

[79] Une zoonose est une infection ou infestation naturellement transmissible de l'animal à l'homme, et vice-versa.

- Il y a amélioration du bien-être animal du fait de la limitation des transports et des périodes d'adaptation des animaux ;
- Il y a enfin diminution de la sensibilité aux aléas par réduction des risques de propagation d'agents pathogènes.

B1.2 - Pratiquer la vaccination préventive

Le recours à la vaccination (quand des vaccins efficaces sont disponibles) permet de prémunir les animaux contre les risques sanitaires liés aux agents pathogènes et donc, de réduire les traitements curatifs en cas d'infection. Toutefois, la vaccination ne se justifie que s'il y a réelle exposition aux agents pathogènes. Ses modalités de mise en œuvre dépendront de la prévalence de l'agent pathogène, du mode de transmission entre animaux (contact direct ou indirect par des fluides ou tissus, intervention d'un vecteur, etc.)[80], ainsi que du niveau de protection conféré à la population selon la proportion d'animaux vaccinés (Charron et *al.*, 2009). De ce fait, la stratégie vaccinale peut prendre différentes formes : vaccination systématique si l'agent pathogène est endémique (par exemple, maladie de Marek chez la poule)[81] ; vaccination autour des foyers ou en zone de progression de la maladie (par exemple, fièvre catarrhale) ; vaccination ciblée au niveau des seuls cheptels atteints (par exemple, fièvre Q chez les bovins) (Taurel et *al.*, 2012). La stratégie vaccinale peut également prendre en compte le rapport entre les coûts et les bénéfices, en ajustant les coûts induits par la vaccination à hauteur des pertes économiques générées, relativement à une vaccination généralisée (Viet et *al.*, 2012).

On résumera les effets principaux de la pratique élémentaire de la façon suivante :

- La vaccination préventive améliore le rendement et la qualité des produits dans les situations où elle permet de réduire les pertes et la morbidité (saisies, invendus) ; l'impact est neutre dans le cas contraire, i.e., si la vaccination ne se justifiait pas (le statut de l'élevage vis-à-vis du pathogène ciblé n'étant pas toujours connu ni aisé à déterminer) ;
- Par suite, il y a accroissement ou réduction des charges variables selon que la vaccination, qui génère des surcoûts, se justifie ou pas d'une part, et limite les frais de traitement curatif quand elle est justifiée d'autre part ;
- La rentabilité, les soldes de gestion (VA, EBE, RCAI), l'autonomie productive et la dépendance aux aides sont ainsi susceptibles de fluctuer à la hausse comme à la baisse ;
- Il y a réduction de la consommation indirecte d'énergie (aliments d bétail) dans les situations où la performance productive des animaux est maintenue grâce à la vaccination ; l'impact est neutre dans le cas contraire, i.e., si la vaccination ne se justifiait pas ;
- Il y a réduction des rejets de produits vétérinaires utilisés à titre curatif dans les situations où la vaccination se justifie ; l'impact est neutre dans le cas contraire ;
- Il y a augmentation du temps de travail lié à la vaccination systématique, mais réduction de sa pénibilité (stress) du fait de la « réassurance » conférée par la vaccination ; les mêmes facteurs explicatifs font qu'il y a diminution de la sensibilité face aux aléas ;
- Il y a enfin amélioration du bien-être animal dans les situations où mortalité et morbidité sont réduites par la vaccination ; l'impact est neutre dans le cas contraire.

B1.3 - Supprimer les traitements systématiques par des médicaments vétérinaires

Les antibiotiques figurent parmi les produits de traitement systématique les plus utilisés et leur consommation fait l'objet d'un suivi régulier depuis 1999 de la part de l'ANSES (Agence nationale sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). Les antibiotiques sont des médicaments

[80] Un vecteur est un organisme qui ne provoque pas lui-même une maladie, mais qui disperse l'infection en transportant les agents pathogènes d'un hôte à l'autre.
[81] Une maladie est dite endémique d'une région si elle y sévit de manière permanente.

particuliers car les utiliser conduit à réduire globalement leur efficacité dans le temps du fait de la capacité d'adaptation des bactéries. La réduction de leur utilisation passe par la diminution des usages à mauvais escient et le développement d'une prescription vétérinaire raisonnée (Sanders et *al.*, 2011). Depuis l'arrêt, dans l'Union européenne, de l'utilisation des antibiotiques en tant que facteur de croissance administré sous forme d'additifs à l'alimentation animale, les antibiotiques ne peuvent être administrés qu'avec un statut de médicaments vétérinaires ; à ce titre, ils sont soumis à des règles de prescription par les vétérinaires. Ils sont administrés par voies orale, parentérale ou locale. Les études ponctuelles conduites en élevages par l'ANSES permettent d'explorer la variabilité des usages d'antibiotiques entre exploitations et de rechercher les paramètres qui lui sont associés. Ceux-ci peuvent être liés à la structure de l'élevage, aux pratiques zootechniques et sanitaires ainsi qu'à des facteurs humains.

Chez la dinde (Chauvin et *al.*, 2005), les plus fortes utilisations d'antibiotiques exprimées en dose quotidienne sont associées à la mise en place de traitements antibiotiques à titre prophylactique (i.e., préventif) et pour satisfaire la résolution de problèmes techniques (problème de litière humide). L'administration de flore de compétition et le respect des règles de biosécurité à l'entrée dans les bâtiments sont associés à une plus faible utilisation des antibiotiques. En filière porcine (ANSES, 2010), les éléments recueillis montrent que sur l'échantillon d'élevages étudiés, la voie orale et les pré-mélanges représentent la plus grande part des antibiotiques utilisés et qu'au sein des différentes catégories de porcins, les porcelets en post-sevrage sont les premiers consommateurs. Une importante variabilité des acquisitions entre élevages a pu être identifiée, mais peu d'élevages présentant des acquisitions élevées. Une utilisation raisonnée fondée sur des mesures d'hygiène et de prophylaxie est possible. Ainsi, chez les vaches laitières, le traitement antibiotique systématique au tarissement peut être avantageusement remplacé (au plan sanitaire, mais aussi parfois économique) par un traitement antibiotique sélectif, avec ou sans utilisation d'un obturateur de trayon (Roussel et *al.*, 2008). Les modalités du traitement sélectif sont déterminées par l'application de règles de décision basées sur, d'une part, le niveau de prévalence des infections au tarissement (évalué par le comptage cellulaire moyen du lait du tank), et, d'autre part, le risque de nouvelles infections (évalué par le pourcentage de vaches traitées suite à une mammite clinique). Chez les petits ruminants, une stratégie de ciblage peut également être mise en œuvre pour limiter l'utilisation des anthelminthiques (médicaments antiparasitaires), lesquels constituent une autre classe de produits de synthèse massivement utilisés de manière systématique (Gabat et *al.*, 2010). Cette stratégie consiste à appliquer un traitement sélectif sur une partie seulement du troupeau, en ciblant les animaux les plus infestés. Leur repérage peut se fonder sur des méthodes de laboratoire (coproscopies des matières fécales), l'évaluation graduée de signes cliniques (indices d'anémie ou de diarrhées) ou encore l'analyse de données épidémiologiques (mais l'utilisation de cette troisième possibilité est souvent trop lourde pour des traitements individualisés). Par ailleurs, des suivis parasitologiques réalisés sur un nombre limité d'animaux sentinelles permettent de repérer les périodes à risque.

Le remplacement des traitements systématiques par un traitement sélectif doit donc s'accompagner d'un renforcement de la surveillance des animaux et de mesures d'accompagnement, notamment en matière d'hygiène. A défaut, les performances de production, santé et bien-être animal seraient altérées.

- La suppression des traitements systématiques par des médicaments vétérinaires diminue le rendement et la qualité des produits (saisies, invendus) ainsi que le bien-être des animaux dans les situations où les mesures d'accompagnement n'ont pas été prises ou se sont révélées inopérantes ; l'impact sur ces performances est neutre dans le cas contraire ;
- il en est de même pour la consommation indirecte d'énergie et les émissions de GES, très dépendantes de l'efficacité de transformation des animaux qui se trouve altérée en situation pathologique ;
- Les charges variables sont susceptibles de fluctuer fortement, l'économie générée par la suppression des traitements systématiques étant à mettre en balance avec les surcoûts des traitements palliatifs éventuels ;
- Le chiffre d'affaires ne pouvant être accru mais seulement au mieux maintenu, la rentabilité, les soldes de gestion (VA, EBE et RCAI) et la dépendance aux aides évoluent de la même façon (amélioration ou constance) ;

- Il y a réduction des utilisations et des rejets de produits vétérinaires dans l'eau, l'utilisation de ceux-ci ne pouvant que régresser globalement, en particulier en cas de recours aux aliments dits « blancs » par opposition aux aliments concentrés conventionnels supplémentés en antibiotiques ; les rejets de polluants organiques susceptibles de perturber l'écosystème sont également réduits ;
- Par contre, le temps de travail est accru suite au renforcement de la surveillance des animaux et aux éventuels soins et traitements palliatifs induits ; pour ces mêmes motifs, la sensibilité aux aléas est accrue.

B1.4 - Utiliser des probiotiques et autres additifs (tanins, huiles essentielles, etc.) en préventif

Les additifs dont l'utilisation est la plus documentée sont les probiotiques, préparations contenant une ou plusieurs souches de microorganismes. Chez les bovins laitiers et à viande, l'intensification des conduites alimentaires est à l'origine de l'acidose ruminale latente qui engendre des pertes économiques importantes (Lettat et *al.*, 2012). Sa régulation par des probiotiques (bactéries lactiques et propioniques), seuls ou associés à la levure, n'est effective que lorsque le pH permis par la ration de base était bas. Les performances zootechniques sont modérément améliorées, plus nettement chez les vaches laitières (sans modifier la composition du lait) que chez les bovins en croissance. D'une manière générale, les résultats sont très variables et ils peuvent être influencés par la présence fréquente d'additifs (tampons) autres que les probiotiques eux-mêmes.

De nombreux probiotiques (lactobacilles notamment) sont destinés au porc en croissance, notamment en post-sevrage, période au cours de laquelle l'équilibre de la flore microbienne intestinale du porcelet est particulièrement fragile (Rychen et Samoens Nunbes, 1995). Toutefois, leurs effets sur les performances de croissance et/ou d'indice de consommation des jeunes animaux se sont révélés variables : une absence d'effets des probiotiques a été observée dans une partie des essais zootechniques publiés. Leur influence semble difficilement prévisible car dépendante des déséquilibres microbiens intestinaux des animaux, qui sont à leur tour fonction de facteurs environnementaux.

Chez les volailles, une grande variété de probiotiques est disponible (associations ou souches pures, lactobacilles en particulier) (Magnin et Bouvarel, 2011). Leur administration chez les poussins interagit favorablement avec le tube digestif (mucus, enzymes digestives, production d'acides gras volatils), favorise sa colonisation précoce et permet d'exercer des activités antibactériennes contre diverses bactéries pathogènes (Gabriel *et al.*, 2005). Les performances zootechniques peuvent être améliorées : composition et qualité organoleptique de la viande (teneur en protéines, teneur en lipides dont cholestérol) et de l'œuf (coquille, qualité du blanc et du jaune, dont sa teneur en cholestérol). Cependant, et tout comme dans le cas du porc, les résultats obtenus sont également très variables, les effets induits sur la modification de la flore intestinale dépendant de très nombreux facteurs liés aux probiotiques eux-mêmes et à leurs conditions d'utilisation, ainsi qu'aux conditions d'élevage.

D'autres additifs peuvent également être utilisés à titre préventif. A titre d'exemple, chez les petits ruminants, la consommation de légumineuses riches en tannins, comme le sainfoin, est une des alternatives explorées pour compléter l'activité des anthelminthiques de synthèse (Hoste *et al.*, 2009). Chez le porcelet, la supplémentation de l'aliment de sevrage en colostrum bovin améliore l'ingestion, les performances alimentaires et l'état sanitaire des porcelets au sevrage en induisant des modifications de la structure et du fonctionnement de la muqueuse intestinale (Le Huërou-Luron et *al.*, 2004). Des acides organiques ou aminés sont également utilisables dans la même perspective (Lallès et *al.*, 2009 ; Magnin et Bouvarel, 2011). Chez les volailles, de multiples extraits végétaux (bétaïne, huiles essentielles, etc.) ou des plantes entières ont été testés in vitro vis-à-vis de leur activité bactéricide ou bactériostatique, mais avec des impacts parfois limités sur l'animal.

Même s'il n'est pas facile de résumer les impacts de cette pratique élémentaire qui dépendent et des substances / produits utilisés, et des espèces ciblées, et des conditions d'élevage, on proposera la synthèse suivante :

- L'utilisation à titre préventif de probiotiques et autres additifs améliore le rendement quand les additifs (et/ou leurs conditions d'administration) se révèlent efficaces pour juguler les problèmes digestifs ou métaboliques sous-jacents ; l'impact sur la performance est neutre dans les autres cas ; il en est de même pour le bien-être des animaux ;
- Les charges variables augmentent, l'utilisation d'additifs générant un surcoût spécifique ;
- Par suite, la rentabilité, les soldes de gestion (VA, EBE, RCAI), l'autonomie productive et la dépendance aux aides sont susceptibles de fluctuer, à la baisse ou la hausse selon que l'augmentation des charges variables est supérieure (ou non) à l'augmentation possible de la production ;
- L'impact sur le temps de travail est neutre dans les situations (très fréquentes) où l'additif est simplement incorporé aux aliments composés ; le temps de travail est accru sinon.

B2 - Traitements curatifs

B2.1 - Réduire les traitements curatifs par utilisation de médicaments vétérinaires

Cette pratique élémentaire consiste à cibler les traitements sur les seuls animaux ou lots d'animaux le nécessitant. Elle ne vise donc pas à supprimer l'usage de médicaments vétérinaires mais à en faire une utilisation plus raisonnée. Deux situations peuvent être distinguées :

- Quand le traitement peut être individualisé au niveau de chaque animal (cas des gros bovins, notamment), des règles de décisions peuvent être utilisées. A titre d'illustration, un guide d'intervention pour la maîtrise des mammites dans les troupeaux laitiers a été mis à disposition des producteurs pour leur permettre d'optimiser les traitements selon un plan d'action adapté à la situation épidémiologique de leur troupeau (Roussel et *al.*, 2011). Les recommandations reposent sur la détermination des facteurs de risque spécifiques dans des domaines présélectionnés selon le profil-type épidémiologique (contagieux ; environnemental ; mixte) identifié lors d'une enquête préalable comme étant le plus proche du profil du troupeau. Chez les bovins laitiers toujours, une étude a permis de confirmer le caractère multifactoriel d'une maladie contagieuse à l'origine de flambées récurrentes de boiteries, la dermatite digitée (Relun et *al.*, 2012). La propreté et les soins des pieds s'avèrent avoir un effet préventif et curatif au moins aussi important que la mise en place d'une désinfection régulière des pieds. Des modalités de désinfection collective et de bonnes pratiques d'élevage ont donc été proposées pour réduire la prévalence de cette maladie qui, tout comme les mammites, diminue les performances zootechniques des animaux atteints, affecte leur bien-être et donne lieu à une forte consommation d'antibiotiques.
- Quand le traitement ne peut être individualisé du fait du nombre d'animaux (volailles par exemple) et/ou du mode d'administration (*via* l'eau de boisson par exemple), la métaphylaxie peut constituer une stratégie alternative pour réduire quantitativement les traitements curatifs. Cette stratégie consiste à traiter l'ensemble du lot très précocement et à faible dose, la charge bactérienne étant encore faible chez la majorité des animaux lors de l'apparition des symptômes sur les premiers atteints (Ferran et *al.*, 2011). Cette même stratégie pourrait également être mise en œuvre avec profit dans les espèces où le traitement est individualisable, dès lors que l'apparition des symptômes apparait trop tardivement par rapport à la progression de la contamination entre individus.

On notera que dans tous les cas, l'impact de la réduction des traitements curatifs peut s'avérer négatif si les pathologies ne sont pas maitrisées.

Les principaux impacts de cette pratique élémentaire sont les suivants :

- La réduction des traitements curatifs *via* l'utilisation ciblée de médicaments vétérinaires génère des impacts sur les performances très similaires à ceux de la suppression des traitements systématiques préventifs (cf. supra, pratique élémentaire B1.3). Les différences résident en pratique dans les dimensions sociales des performances :
- Le temps de travail de l'éleveur, de même que le bien-être des animaux, sont susceptibles de fluctuer encore plus largement, à la hausse comme à la baisse, selon la prévalence des pathologies et lésions qui se manifesteront dans le cheptel et selon les modalités et l'efficacité des traitements alternatifs qui seront appliqués en cas de besoin ;
- La sensibilité aux aléas n'est pas modifiée de manière significative, l'objectif n'étant pas de supprimer les traitements curatifs mais de les utiliser de façon plus ciblée, le cas échéant sous des formes plus appropriées.

B2.2 - Utiliser des traitements alternatifs à des fins curatives

Inventée par Samuel Hahnemann (1755-1843), l'homéopathie repose sur « la loi des similitudes » : la maladie est traitée par des substances minérales, végétales ou animales qui déclenchent chez l'hôte (humain ou animal) en bonne santé des symptômes similaires à ceux de la maladie à traiter.[82] Les substances, dont le choix est adapté au patient selon le principe d'individualisation (analyse de l'intégralité des symptômes sans se limiter à ceux liés à la maladie), sont administrées à des doses très faibles (dilutions dites infinitésimales) pour éviter les effets de toxicité. Dans le cas des animaux de rente, une difficulté de mise en œuvre est liée à l'utilisation au niveau d'un troupeau d'une méthode thérapeutique très individualisée (chaque animal qui présente des symptômes même légèrement différents devrait en théorie faire l'objet d'un traitement spécifique, distinct de celui administré à ses congénères). Toutefois, dans la mesure où des animaux seraient traités à tort, l'absence d'action est attendue et les problèmes de résidus nuls en raison des très hautes dilutions utilisées (Hoste et *al.*, 2009). L'homéopathie est utilisée dans différentes situations, traitement des mammites et lutte contre les strongles gastro-intestinaux notamment. Dans ce dernier cas, les principaux traitements répertoriés sont Cina (extrait d'armoise de Chine) et Teucrium (extrait de germandrée maritime). La seconde difficulté, plus importante sans doute, réside dans l'évaluation des effets (Tabel et *al.*, 2009). Les études visant à démontrer l'efficacité des traitements homéopathiques sur des bases objectives sont rares et les résultats difficilement validés. Ces études se heurtent en outre à des difficultés méthodologiques. Ainsi, dans le cas où des lots traités et non traités sont constitués *a priori*, il n'est pas sûr que tous les individus du lot traité présentent les symptômes justifiant leur inclusion dans ce groupe aux yeux d'un thérapeute homéopathe. Une méthodologie reposant sur la constitution de lots a postériori selon des règles strictes préétablies (critères objectifs de santé, méthodologie statistique appropriée) a été proposée et mise en œuvre, sans permettre de valider l'intérêt de Teucrium pour le parasitisme gastro-intestinal des agneaux dans les conditions de l'étude.

Les huiles essentielles sont obtenues à partir de plantes par distillation ou extraction par solvants. Toutes les huiles essentielles sont des complexes composées de molécules dominantes accompagnées de plusieurs dizaines d'autres molécules plus secondaires. Elles sont utilisées dans différentes situations, notamment le traitement des mammites et la lutte contre les parasites gastro-intestinaux (Hoste et *al.*, 2009). Dans ce dernier cas, l'activité vermicide effective des huiles essentielles est limitée car elle se heurte à leur mauvaise tolérance digestive aux doses où elles sont efficaces, ainsi qu'à la difficulté de les véhiculer jusqu'au siège des infestations parasitaires. Il en est tout autrement lorsque l'effet antiparasitaire recherché est mesuré au niveau des performances zootechniques. Lors d'infestations par des coccidies en particulier, une réelle différence de performances en faveur des lots traités est observée, mais sans qu'il soit possible de mettre en évidence une corrélation entre le nombre d'oocystes émis et les gains de croissance. Le bénéfice associé à l'usage des huiles essentielles semble donc à chercher ailleurs que dans une activité antiparasitaire sensu stricto. En raison des interactions qu'elle peut susciter, la complexité des huiles essentielles s'avère utile car

[82] http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/medecine-2/d/homeopathie_2716/.

elle exerce des effets régulateurs avérés sur plusieurs grandes fonctions physiologiques et ne se réduit donc pas aux effets de la molécule dominante de chaque huile essentielle. Les mélanges d'huiles essentielles à des concentrations modérées et bien tolérées peuvent apparaître comme des régulateurs des grandes fonctions et comme des auxiliaires précieux dans la gestion de la santé animale.

Les ressources phytothérapiques sont tirées des savoirs populaires et ont été parfois formalisées dans les pratiques de la médecine vétérinaire ancienne. Nombre d'entre elles (par exemple, le rhizome de fougère mâle ; l'écorce de racine de grenadier ou encore les semences de courge) sont encore à la base de formulations actuelles (Hoste et *al.*, 2009 ; Cabaret et Nicourt, 2009). Certains de ces produits sont utilisés pour lutter contre les parasites gastro-intestinaux, mais leur efficacité évaluée sur la base de mesures parasitaires objectives a souvent donné des résultats décevants.

Les principaux impacts de cette pratique élémentaire sur l'ensemble des performances peuvent être ainsi résumés :

- L'utilisation, à des fins curatives, de traitements alternatifs en remplacement des médicaments vétérinaires conduit à des rendements identiques avec amélioration de la qualité des produits (moins de résidus médicamenteux, le cas échéant) dans les situations où le traitement alternatif se révèle pleinement efficace ; si tel n'est pas le cas, le rendement sera réduit à qualité de produit globalement identique (moins de résidus, mais impact négatif de la morbidité) ;
- Il y a accroissement des charges variables, le coût des traitements alternatifs étant plutôt supérieur à celui des produits de synthèse en grande série ;
- Le chiffre d'affaires ne pouvant être accru mais seulement au mieux maintenu, la rentabilité, les soldes de gestion (EBE, VA, RCAI) et la dépendance aux aides évoluent de la même façon (augmentation ou stabilité) ;
- Il y a stabilité de la consommation indirecte d'énergie indirecte quand les traitements se révèlent pleinement efficaces, accroissement dans le cas contraire du fait alors d'une moindre efficacité de transformation des animaux ;
- Les utilisations et les rejets de médicaments vétérinaires dans l'eau diminuent, suite à leur remplacement par des préparations naturelles peu préoccupantes (PNPP) ; les rejets de polluants organiques susceptibles de perturber l'écosystème sont également réduits ;
- Enfin, le travail de l'éleveur serait plus stressant, en lien avec la difficulté de substitution des médicaments vétérinaires par des PNPP ; pour ce même motif, la sensibilité aux aléas serait elle aussi accrue.

B3 - Relation Homme-Animal

Le comportement de l'éleveur à l'égard de ses animaux peut influencer leurs réactions de peur. Chez les éleveurs ayant un comportement brusque, ces réactions, telles que l'évitement ou les coups de pied lors de la traite, représentent un danger pour l'éleveur, et pour l'animal (Boivin et *al.*, 2003a ; Boivin et *al.*, 2012). Ces réactions de peur peuvent également avoir des répercussions sur les réponses classiques de stress et la productivité, par exemple le rendement laitier de la vache. Elles peuvent aussi avoir des conséquences importantes dans les périodes de pré-abattage ou d'abattage en influençant la qualité de la viande, en particulier chez les porcs et les volailles (Terlouw et *al.*, 2007).

L'amélioration de la relation Homme-animal est donc un élément d'autant plus important à considérer que l'augmentation de la taille des groupes d'animaux et la mécanisation des tâches en élevage diminuent la familiarité entre l'éleveur et ses animaux. De plus, les rares contacts directs toujours existant en élevage (opérations de prophylaxie, de pesée, etc.) sont au mieux des contacts neutres, le plus souvent des contacts aversifs (Mounier et *al.*, 2007). A l'inverse, dans le cas des gros bovins, une trop grande familiarité à l'homme rend ces derniers plus difficiles à manipuler car il n'est plus possible d'utiliser l'effet bénéfique de la distance

de fuite (Boivin et *al.*, 2003b). Un compromis est donc à trouver dans la relation de l'éleveur avec ses animaux en fonction de leur taille et de leur dangerosité. Des outils d'évaluation de la réaction des animaux à l'homme ont été mis au point pour y contribuer (Windschnurer et *al.*, 2009).

L'instauration d'une relation de confiance entre l'éleveur et ses animaux par la mise en place d'interactions positives et prévisibles ne génère pratiquement que des impacts favorables sur les performances, la difficulté principale étant de mettre en place de façon pérenne cette relation de confiance :

- Il y a amélioration du rendement et de la qualité des produits, du fait de la réduction du stress des animaux et de l'anticipation des problèmes sanitaires, source de déclassement des produits (saisies, invendus) ;
- Corrélativement, il y a réduction de la consommation indirecte d'énergie et des émissions de GES du fait d'une efficacité accrue de transformation des aliments ; il y a diminution des utilisations et des rejets de produits vétérinaires, et amélioration du bien-être animal ;
- L'accroissement du chiffre d'affaires à charges variables constantes, voire diminuées, induit une amélioration de la rentabilité, des soldes de gestion (VA, EBE, RCAI), de l'autonomie productive et de la dépendance aux aides ;
- Le temps de travail est accru mais sa pénibilité est réduite car, d'une part, il s'agit avant tout d'une activité d'observation, et, d'autre part, le caractère stressant du travail est atténué.

B4 - Bien-être animal

B4.1 - Supprimer l'écornage

L'écornage des veaux est une pratique principalement destinée à limiter les risques de blessure liés aux coups de corne, risques aussi bien pour l'animal que pour l'homme. Cette pratique élémentaire permet aussi d'optimiser l'accès aux mangeoires et aux systèmes de contention. L'écornage concerne actuellement la quasi-totalité des veaux laitiers femelles destinés à l'élevage. L'écornage de génisses de race à viande est également pratiqué, mais de manière moins systématique et à un âge parfois plus tardif. Parmi les différentes techniques employées, c'est la technique de l'écornage précoce par cautérisation thermique qui semble engendrer le moins de douleurs. En cas d'écornage à l'âge adulte, il est recommandé d'utiliser un antalgique ou mieux encore, une anesthésie. L'écornage sans anesthésie ni analgésie est reconnu comme douloureux, aussi bien chez le veau que chez l'adulte (Le Neindre et *al.*, 2009). Des bovins sans cornes ont été sélectionnés, mais leur production laitière n'est actuellement pas aussi élevée que celle de leurs contemporaines à cornes.

Le non écornage nécessite des aménagements des stabulations (recoins sans issue, cornadis adaptés, etc.) pour éviter les accidents ; il requiert également des bâtiments de plus grande dimension (Menke et *al.*, 1999).

Les principaux impacts de cette pratique élémentaire sont les suivants :

- La suppression de l'écornage élimine la douleur associée à la réalisation de la pratique élémentaire, ainsi que les risques pour la santé des animaux (possibilité momentanée d'infection) ; en l'absence d'équipements adaptés, elle induira par contre plus de blessures lors des conflits ;
- La pratique élémentaire n'a pas d'effet sur la production et la qualité des produits, mais pour autant que des dispositions préventives ont été prises (aménagements appropriés, accroissement de l'espace) pour limiter l'hétérogénéité induite par les combats entre animaux non écornés ; dans le cas contraire, la production peut être réduite (suite à des avortements, en particulier), de même que la qualité des carcasses (saisies partielles) ;

- L'endettement est accru du fait des investissements requis par les mesures palliatives, notamment l'aménagement et l'agrandissement des bâtiments ;
- Le chiffre d'affaires ne pouvant être accru mais seulement au mieux maintenu, et à charges variables constantes, la rentabilité, la VA, l'EBE, l'autonomie productive et la dépendance aux aides ne sont maintenus que si les mesures palliatives ont été prises ; ces indicateurs sont dégradés dans le cas contraire ;
- L'accroissement des frais financiers et des amortissements induits par les investissements à réaliser dégradent l'endettement (augmentation) et le RCAI (diminution) ;
- Selon que les mesures appropriées auront été prises ou non et selon leur degré d'efficacité, la consommation de médicaments vétérinaires, le temps de travail et sa pénibilité sont susceptibles de fluctuer largement, à la hausse comme à la baisse ; l'exposition de l'éleveur aux risques est au mieux identique, plus généralement augmentée, la présence de cornes représentant dans tous les cas un danger potentiel supplémentaire quelles que soient les précautions prises.

B4.2 - Supprimer la castration physique

La castration des porcelets a pour but principal d'améliorer la qualité de la viande des porcs mâles en supprimant les odeurs liées aux hormones sexuelles. Elle permet en outre de faciliter l'élevage en réduisant les comportements agressifs et sexuels des animaux. Cette intervention, réalisée systématiquement en routine par voie chirurgicale sans analgésique ni anesthésie, est source d'une douleur aigüe instantanée, puis de douleurs fortes à modérées dans les heures et les jours qui suivent. Les filières porcines européennes se sont engagées dans une démarche volontaire d'abandon de la castration chirurgicale des porcelets d'ici 2018.

La castration physique des porcelets pourrait être remplacée par l'immuno-castration. Il s'agit d'une vaccination, mais elle peut être considérée par le grand public comme une injection d'hormones. Son utilisation faisant l'objet de réticences, c'est l'abandon pur et simple de la castration, i.e., l'élevage de porcs mâles entiers qui a été considéré ici comme pratique élémentaire ayant les effets principaux suivants :

- La suppression de la castration physique améliore le bien-être des porcelets (mâles) en leur évitant les douleurs associées (Le Neindre et *al.*, 2009) ; les mâles entiers sont cependant plus agressifs (présence de griffures sur les carcasses) et manifestent des comportements de monte, ce qui implique d'adapter la conduite pour préserver les congénères (séparation des sexes, accroissement de l'espace disponible) (Prunier et *al.*, 2013) ;
- Les performances de croissance, d'indice de consommation et de composition corporelle des mâles entiers sont notablement améliorées par rapport à celles des animaux castrés (Quiniou et *al.*, 2010) ;
- La proportion de viande maigre, constitutive du prix du kilogramme de carcasse, est donc accrue ; toutefois, l'odeur dite de verrat, induite lors de la cuisson par une teneur trop élevée en composés odorants (androsténone et, dans une moindre mesure, scatol), suscite des réactions de rejet de la part des consommateurs (Chevillon et *al.*, 2010a) ; des mesures doivent donc impérativement être prises y compris au niveau de la filière pour pallier à ce défaut potentiellement rédhibitoire :
  - ✓ Réduction de la teneur moyenne par sélection génétique (l'héritabilité du caractère et sa variabilité interindividuelle offre des perspectives d'amélioration intéressantes) (Larzul et al., 2010), par l'alimentation (rationnement) et la conduite (pas de femelles à proximité) (Quiniou et al., 2013) ;
  - ✓ Tri des carcasses sur la chaine (par dosage de la teneur en composés odorants) pour valoriser les pièces à teneur trop élevée en composés odorants sous forme de produits transformés (la perception des odeurs par le consommateur est fortement réduite par les procédés de transformation) (Chevillon et al., 2010b ; Chevillon et al., 2011) ;
  - ✓ In fine, les carcasses sont donc susceptibles d'être valorisées à des prix très variables selon la cohérence du dispositif d'accompagnement mis en œuvre tout au long de la filière ;
  - ✓ L'installation et le fonctionnement de ces mesures génèrera des coûts additionnels pour l'ensemble de la filière, plus spécifiquement en aval des élevages ; ces coûts additionnels pourront diminuer la compétitivité de la filière porcine française s'ils sont mis en œuvre de façon trop isolée relativement

aux concurrents étrangers et/ou s'il n'existe pas un marché de consommation prêt à supporter, *via* un prix d'achat plus élevé, ces surcoûts de production ;

- L'accroissement de la production conduit à un chiffre d'affaires supérieur (à valorisation moyenne des carcasses identique) ou équivalent (si les carcasses sont en moyenne moins bien valorisées) sans modification des charges variables ; la rentabilité, les soldes de gestion (VA, EBE, RCAI), l'autonomie productive et la dépendance aux aides sont donc améliorés (dans le premier cas) ou sont stables (dans le second cas) ;
- La consommation indirecte d'énergie, les émissions de nitrate, de phosphore, de GES et d'ammoniac sont réduits grâce à l'efficacité de transformation supérieure des mâles entiers ;
- Le temps de travail de l'éleveur est réduit, de même que sa pénibilité, la castration étant une opération répétitive, fastidieuse et intrinsèquement déplaisante ; par contre, l'exposition aux risques est aggravée si des mesures d'accompagnement ne sont pas prises pour faire face au comportement plus agressif des animaux (Tallet et *al.*, 2011).

B4.3 - Accroître la surface disponible par animal pour l'expression des comportements naturels (activités physique et sociale)

Seul le cas des animaux entretenus en bâtiments est considéré ici.

Le logement des bovins en étable entravée est en déclin au profit des stabulations libres (Mounier et *al.*, 2007). En stabulation libre, chaque ruminant dispose d'une surface minimale pour le respect de son espace individuel et l'expression de son comportement, notamment de ses mouvements. Une restriction de cette surface est préjudiciable car elle peut être à l'origine d'une augmentation des agressions entre animaux, être stressante et augmenter la fréquence des pathologies. Chez le porc en engraissement (Meunier-Salaün et *al.*, 2007), une surface par animal insuffisante se traduira par une réduction des croissances, en partie due à un accès plus difficile à l'aliment et par une augmentation des tensions sociales, l'apparition de combats et des blessures. Chez le poulet de chair (Arnoult et Leterrier, 2007), les fortes densités diminuent la vitesse de croissance, augmentent la mortalité lorsqu'elles sont combinées à d'autres facteurs de stress, comme la chaleur par exemple. Il en est de même de l'incidence des maladies respiratoires lorsque ces fortes densités sont associées à la présence d'agents infectieux. Les fortes densités favorisent les ampoules au bréchet, les dermatites de contact et les problèmes locomoteurs. Elles diminuent l'activité générale et locomotrice des poulets, et augmentent les dérangements subis par les individus au repos.

Ainsi, la mise à disposition d'une surface suffisante par animal se justifie par des considérations sanitaires et zootechniques ; en outre, une plus grande liberté de mouvement et d'activité est toujours perçue favorablement par le public, quelle que soit l'espèce animale.

Les principaux impacts de cette pratique élémentaire sont les suivants :

- L'accroissement de la surface disponible par animal induit une augmentation des rendements dans les situations où une trop forte densité engendrait précédemment une baisse et/ou des pertes (en particulier chez les monogastriques, veaux de lait inclus) ; la productivité passe néanmoins par un optimum, et dans les situations de surface excessive (peu fréquentes), le rendement peut diminuer du fait de l'accroissement de l'activité physique des animaux ; le bien-être animal est amélioré dans tous les cas puisqu'au-delà du gain en termes d'activité physique, l'expression des comportements sociaux est facilitée ;
- La qualité des produits est améliorée suite à la réduction des comportements agressifs (par exemple, caudophagie chez le porc ; picage chez les volailles) ou des lésions (par exemple, pododermatites chez les volailles de chair), d'où une moindre proportion d'invendus (déclassements, saisies) ; l'utilisation de médicaments vétérinaires en est réduite d'autant ;
- L'accroissement des surfaces entraîne des surcoûts notamment énergétiques (chauffage, ventilation), mais cette situation concerne essentiellement les monogastriques chez lesquels le chiffre d'affaires a simultanément tendance à augmenter ;

- Toutes filières confondues, la rentabilité, la VA et l'EBE sont améliorées ou au minimum stables ; il en va de même de l'autonomie productive ;
- Par contre, l'extension des bâtiments nécessitant d'importants investissements, l'endettement augmente et le RCAI est susceptible ou de diminuer ou d'augmenter selon que l'effet positif d'augmentation du chiffre d'affaires domine, ou pas, les deux effets négatifs de l'endettement et des charges variables ; de même, la transmissibilité est aussi susceptible de fluctuer, la mise à disposition du repreneur de bâtiments mieux adaptés étant à mettre en balance avec les emprunts restant à rembourser ;
- L'augmentation de la surface par animal génère une surconsommation d'énergie directe pour la maitrise de l'ambiance des bâtiments (chauffage, ventilation) et l'entretien des litières (paillage, curage) ; les émissions d'ammoniac, liées à la présence des animaux en bâtiments, sont accrues ;
- Inversement, la restauration des performances et/ou la réduction des pertes précédemment imputables à une trop forte densité permet d'améliorer l'efficacité de transformation des animaux donc de réduire la consommation indirecte d'énergie et les rejets de GES, et ceci en dépit d'une surconsommation de litière ; des évolutions de sens opposé ne sont susceptibles d'intervenir que dans les situations (peu fréquentes) de surface excessive conduisant à une trop grande activité physique des animaux ;
- L'augmentation des surfaces de bâtiments conduisent à un surcroît de travail pour l'éleveur ou ses salariés, la manipulation des animaux pouvant devenir plus complexe (tris, soins individuels, ramassage des volailles de chair, etc.) et l'entretien des surfaces plus contraignant (apports de litière, curage).

B4.4 - Aménager le milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels

Les ruminants sont peu concernés par cette problématique ; ce n'est pas le cas des monogastriques.

Chez le porc, le besoin d'investigation est important (Meunier-Salaün et *al.*, 2007). La mise à disposition de paille ou d'objets à manipuler favorise cette activité. Ces matériaux doivent pouvoir être déformés, mâchés et détruits pour être attractifs. La litière de paille, mais également des objets composites adaptés, peut satisfaire ces exigences. Leur utilisation limite la réorientation des comportements d'investigation vers les autres porcs (flairages, mordillements) qui, dans certaines conditions, peuvent aboutir à de la caudophagie[83] (Van de Weerd et Day, 2009).

En production de poulets de chair de type standard (Arnoult et Leterrier, 2007), l'environnement est peu stimulant (équipements réduits aux mangeoires et abreuvoirs, uniformité de la litière, éclairage continu, alimentation ad libitum). Les études, peu nombreuses, visant à apporter plus de diversité dans l'environnement des poulets montrent qu'il serait sans doute possible d'améliorer leur bien-être par cette voie. Les effets de l'ajout de perchoirs sont variables, mais en règle générale les poulets se perchent peu. La présence de panneaux verticaux, qui constituent une protection vis-à-vis des congénères et/ou un lieu où se cacher, conduit à une meilleure répartition des poulets sur la surface d'élevage et diminue la fréquence des dérangements. L'ajout d'objets, de sable ou de paille stimule l'activité des poulets, mais n'a pas d'effet sur les problèmes locomoteurs.

En filière ponte, et ce depuis 2012, seuls les cages aménagées et les systèmes alternatifs sont autorisés. Relativement aux cages conventionnelles (cinq poules par cage, sur un sol grillagé et incliné), les cages aménagées diffèrent par plusieurs caractéristiques dont une surface par poule plus élevée (5 à 60 poules par cage) et la mise à disposition d'un nid, de perchoirs et d'une zone de grattage avec litière friable. Il existe une grande variété de systèmes alternatifs, avec accès ou non à un parcours extérieur, allant des simples élevages au sol à des élevages en volière. L'élevage en système alternatif se pratique dans de grands parquets (de 5 000 et 10 000 poules) disposant de nids, perchoirs, plateformes (1 à 4 étages autorisés) et litière (Michel et *al.*, 2007). D'une manière générale, les cages (en particulier conventionnelles) permettent d'obtenir de meilleures performances zootechniques (intensité de ponte, poids d'œuf, indice de conversion) que les systèmes

[83] Le caudophagie correspond aux morsures de queues.

alternatifs (Michel et Huonnic, 2003 ; Travel et *al.*, 2010). La proportion d'œufs cassés, fêlés ou souillés est souvent plus élevée en cages aménagées et en systèmes alternatifs qu'en cages conventionnelles dans la mesure où ces systèmes n'empêchent pas les poules de pondre hors du nid.

L'enrichissement de l'environnement semble induire des difficultés de manipulation des animaux. Il faut ainsi plus de temps pour sortir les porcs charcutiers de leur loge, puis les faire monter dans le camion vers l'abattoir s'ils ont été élevés en milieu enrichi (espace et paille) au lieu d'un milieu standard (1/3 sol plein et 2/3 caillebotis) (Geverink et *al.*, 1999). En filière ponte, les systèmes alternatifs demandent généralement plus de travail de la part de l'éleveur (ramassage des œufs au sol notamment) dans des conditions souvent moins satisfaisantes qu'avec les cages : proximité avec les animaux, taux élevé de poussières dans l'air.

Les principaux impacts de cette pratique élémentaire sont les suivants :

- L'aménagement du milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels améliore le bien-être des animaux, sans impact sur la production sauf dans de rares cas particuliers (par exemple, des poules pondeuses en volière ou au sol) ; il en est de même pour la qualité des produits ;
- Les charges variables n'étant pas affectées, la rentabilité, les soldes de gestion de court terme (VA et EBE), l'autonomie productive et la dépendance aux aides ne sont pas modifiés ;
- Par contre, du fait des investissements parfois importants requis pour enrichir le milieu (par exemple, engraissement des porcs sur paille ; cages aménagées pour les pondeuses), le RCAI est dégradé du fait de l'accroissement de l'endettement ; la transmissibilité est susceptible de fluctuer, la mise à disposition de bâtiments mieux aménagés étant à mettre en balance avec les emprunts restant à rembourser ;
- Cette pratique élémentaire est sans impact sur la consommation de ressources naturelles et l'environnement ; par contre, elle a un impact négatif sur le temps de travail, la manipulation des animaux (tris, soins individuels, etc.) étant généralement rendue plus compliquée par la présence des objets (par exemple, objets mis à disposition de porcs en cases sur caillebotis), des aménagements (par exemple, volières pour pondeuses) ou des substrats (par exemple, litière accumulée pour les porcs) ; le caractère stressant du travail est néanmoins réduit du fait de l'amélioration du comportement des animaux.

B4.5 - Limiter les mélanges d'animaux issus de bandes différentes

Les remaniements des troupeaux ou l'introduction d'individus dans un groupe déjà organisé en fonction d'impératifs économiques (ajustement de la ration alimentaire au niveau de production par exemple) sont courants en élevage de ruminants (Mounier et *al.*, 2007). Ainsi, les vaches laitières changent de groupe en fonction de leur stade physiologique (vaches en lactation versus taries) et les taurillons sont ré-allotés en début d'engraissement afin de former des lots de poids homogènes. Or, les bovins sont des animaux sociaux vivant en groupes stables basés sur des relations de dominance qui permettent l'établissement d'une hiérarchie et des relations d'affinité qui assurent la cohésion du groupe. Des remaniements du groupe social peuvent ainsi être à l'origine d'une augmentation des interactions agonistiques due à une réorganisation des relations hiérarchiques, d'une moindre tolérance des animaux à l'origine d'une exacerbation des compétitions, et d'une augmentation des réactions de peur des animaux face à certaines situations, notamment lors de leur transfert vers l'abattoir. Ces remaniements peuvent conduire à un état de stress chronique chez les animaux. Les réallotements sont également fréquents en production de veaux de boucherie en cases collectives avec une alimentation à l'auge afin d'homogénéiser la vitesse de buvée des différents veaux. Cela entraîne des modifications répétées des liens sociaux pouvant induire un stress chronique. Les remaniements sociaux sont donc préjudiciables au bien-être des ruminants, et ce même en l'absence de compétitions alimentaires, et sont donc si possible à éviter. Des aménagements sont possibles pour conserver les lots d'origine, mais cette technique est quantitativement très marginale.

Avec la généralisation de la conduite en bandes et l'apparition de lignées de truies hyperprolifiques, l'adoption dans la période néonatale est devenue une pratique très courante en élevage porcin (Orgeur et *al.*, 2002). Son objectif principal est d'équilibrer et d'uniformiser les tailles des portées, mais aussi de sauver des porcelets à la suite d'interruption accidentelle ou pathologique de la lactation. Il convient cependant de limiter ou de bien

encadrer cette pratique élémentaire susceptible de favoriser la transmission de la maladie d'amaigrissement du porcelet (MAP) (Madec et *al.*, 1999). Pratiquée précocement, alors que l'ordre de tétée n'est pas encore établi, l'adoption ne pose pas de problème majeur d'adaptation, ni pour les truies, ni pour les porcelets. Par contre, les adoptions tardives et répétées génèrent des perturbations profondes dans le comportement des truies et des porcelets, et réduisent leurs performances de croissance. Le sevrage, pratiqué habituellement entre 3 et 4 semaines d'âge, constitue une situation de stress majeur puisqu'au changement de milieu et d'alimentation s'ajoutent la privation des contacts avec la mère et souvent une modification de groupe social (mélange de portées), avec rupture des liens existants et nécessité d'en créer de nouveaux.

La problématique des mélanges d'animaux ne concerne pas les volailles de chair ou de ponte, les oiseaux mis en élevage étant généralement tous issus d'un même lot d'éclosion.

Les effets principaux de cette pratique élémentaire peuvent être résumés de la façon suivante :

- La limitation des mélanges d'animaux exerce un effet favorable sur la production quand elle limite des problèmes sanitaires ultérieurs liés à la transmission d'agents pathogènes (par exemple, maladie d'amaigrissement du porcelet *via* la généralisation des adoptions) et/ou qu'elle prévient les accidents résultant de la mise en place de la dominance entre individus dès lors que les mesures d'accompagnement nécessaires n'ont pas été prises (par exemple, bovins non écornés sans usage de tranquillisants) ; dans de telles situations, la qualité des produits est améliorée par réduction de la morbidité, réduction qui permet de diminuer les saisies et/ou le déclassement de certaines carcasses ;
- Néanmoins, la pratique élémentaire conduit à une moindre homogénéité des lots susceptible d'en accroitre encore l'hétérogénéité au fil du temps du fait des phénomènes de compétition, de même qu'à une occupation moins rationnelle des bâtiments ; la qualité des produits n'est cependant pas affectée par ces effets collatéraux ;
- L'amélioration du bien-être des animaux est substantielle et pérenne dès lors que la limitation des mélanges d'animaux permet d'éviter des problèmes sanitaires ultérieurs et/ou de prévenir des accidents ; cette amélioration est plus marginale et transitoire si la pratique élémentaire ne fait que limiter les combats liés à la mise en place des relations hiérarchiques entre individus, lesquelles s'établissent sur des pas de temps courts ; l'utilisation de médicaments vétérinaires est, soit réduite, soit stable, respectivement ;
- L'impact sur les performances économiques est donc susceptible de fluctuer, à la hausse comme à la baisse, selon le cas de figure ;
- La consommation directe d'énergie est stable ; la consommation indirecte d'énergie et les émissions de GES sont susceptibles de fluctuer, selon que la limitation des mélanges d'animaux exerce, ou pas, un effet favorable sur l'efficacité de transformation du cheptel ;
- Dans tous les cas, la limitation des mélanges d'animaux augmente la quantité de travail du fait, soit d'une multiplication du nombre de lots à gérer (rassemblement d'animaux en groupes plus homogènes mais plus nombreux), soit du maintien de lots hétérogènes dès le départ (cas de l'adoption des porcelets).

C - Eléments-clefs à retenir

Du fait de leur spécificité d'action sur la santé et le bien-être des animaux, les pratiques ici considérées n'ont pas ou peu d'impacts sur la qualité du sol, la qualité de l'eau à l'exception notable des utilisations et rejets de médicaments vétérinaires (diminution), la qualité de l'air et la biodiversité. Leur impact sur la consommation de ressources naturelles fossiles est également très limité, réduit pour l'essentiel à la consommation indirecte d'énergie qui peut augmenter, rester stable ou diminuer selon la pratique élémentaire considérée. De fait, les impacts se limitent essentiellement aux performances productives, économiques et sociales.

En outre, dès lors que telle ou telle performance est affectée par la mise en œuvre d'une pratique élémentaire, le sens de variation (ou le fait d'induire une variation plutôt que d'en rester à la neutralité) est

très fréquemment conditionné par les conditions de la mise en œuvre de la pratique élémentaire et/ou sa compatibilité ou non avec d'autres pratiques élémentaires. A titre illustratif, rappelons que la suppression de traitements systématiques par des médicaments vétérinaires n'a pour effet possible de diminuer le rendement et la qualité des produits que dans les situations où les mesures d'accompagnement n'ont pas été prises et/ou se sont révélées inopérantes ; le plus souvent, les éleveurs ont recours à cette pratique élémentaire en adaptant d'autres pratiques élémentaires : précautions accrues en matière de lavage des bâtiments, limitation des transferts d'animaux, etc. Cette caractéristique forte de la MP Santé et bien-être animal conduit à suggérer la mise en œuvre d'une majorité des pratiques élémentaires qui la composent en les assortissant de recommandations additionnelles pour assurer l'efficacité de la mesure au regard de la cible première de la pratique élémentaire, soit la santé et le bien-être des animaux.

C1 - Performances productives

Force est de constater la forte hétérogénéité des performances selon la pratique élémentaire considérée : ainsi, alors que la pratique élémentaire relative à l'amélioration de la relation Homme-animal améliore à la fois la production et la qualité des produits, la suppression de la castration physique des animaux accroît la production mais a un effet ambigu sur la qualité, et la suppression des traitements systématiques par des médicaments vétérinaires a un effet négatif, au mieux neutre, à la fois sur la production et le rendement. Cette hétérogénéité ne doit pas surprendre compte tenu de diversité des pratiques élémentaires considérées. Certaines des pratiques élémentaires visent en effet à supprimer ou réduire la fréquence d'administration de spécialités vétérinaires conventionnelles (produits de synthèse) non dénuées d'inconvénients mais constituant des « filets de sécurité » pour les éleveurs, et/ou de leur substituer des traitements alternatifs d'efficacité plus incertaine mais considérés comme de plus grande innocuité. D'autre part, les pratiques élémentaires permettant d'améliorer le bien-être animal résultent essentiellement de considérations éthiques et de demandes sociétales ; elles n'ont pas pour objectif d'améliorer la production, même si dans les faits un degré minimum de compatibilité est requis pour assurer la viabilité de l'élevage.

En dépit de cette hétérogénéité, on retiendra néanmoins les impacts sur la production quantitative et/ou qualitative plutôt positifs des pratiques élémentaires suivantes : pratiquer la vaccination préventive, utiliser des probiotiques et autres additifs, améliorer la relation Homme-animal, supprimer la castration physique et accroître la surface disponible par animal.

C2 - Performances économiques

Ici aussi, pour la même raison que ci-dessus, l'hétérogénéité est la règle. A l'exception de la pratique élémentaire visant à améliorer la relation Homme-animal, et qui a un impact positif ou neutre sur toutes les performances économiques, les pratiques élémentaires identifiées ci-dessus comme améliorant les performances productives présentent des performances économiques variables : effets indéterminés pour la vaccination préventive et l'utilisation de probiotiques et autres additifs ; effets positifs ou neutres pour la suppression de la castration physique ; effets positifs ou neutre pour l'augmentation de la surface disponible par animal à l'exception, notable, de l'endettement qui augmente du fait de la nécessité d'augmenter les surfaces. Plusieurs pratiques élémentaires relatives au bien-être animal ont d'ailleurs pour conséquence négative majeure d'accroître l'endettement du fait des investissements requis.

C3 - Performances sociales et sociétales

Les performances relatives au temps de travail et à l'amélioration du bien-être animal sont systématiquement impactées suivant des gradients quasi opposés. A l'exception de la suppression de l'écornage aux effets ambigus sur le bien-être animal, les autres pratiques élémentaires relevant de cette

pratique améliorent le bien-être des animaux ; c'est le cas également de plusieurs pratiques élémentaires relevant de la santé (réduction des mouvements d'animaux entre élevages, pratique de la vaccination préventive, utilisation de probiotiques et autres additifs, amélioration de la relation Homme-animal) ; seules la suppression de l'écornage, la réduction des traitements curatifs et l'élimination des traitements curatifs par des médicaments vétérinaires sont susceptibles d'induire des effets sur le bien-être animal qui peuvent être négatifs si les conditions de leur mise en œuvre ne sont pas adaptées. Ces mêmes pratiques élémentaires qui améliorent le bien-être animal ont aussi pour conséquence d'accroître la charge de travail de l'éleveur et/ou de ses salariés (à l'exception de la suppression de la castration physique des bêtes qui améliore le bien-être animal et supprime un travail fastidieux et déplaisant). La sensibilité aux risques n'est impactée qu'occasionnellement, mais de manière potentiellement défavorable en cas d'abandon de pratiques constituant des mutilations (mais réduisant la dangerosité des animaux).

C4 - Que retenir en conclusion ?

En premier lieu, le fait que parmi l'ensemble des pratiques élémentaires considérées, seule l'amélioration de la relation Homme-animal apparaît comme une stratégie « gagnant-gagnant » pour les cinq classes de performances à l'exception possible du temps de travail de l'éleveur ; en outre aucune conditionnalité n'est attachée à sa mise en œuvre. En cela, cette pratique élémentaire est en contraste fort avec les autres pratiques élémentaires.
Pour ce qui est des pratiques élémentaires relatives au bien-être des animaux, on retiendra (i) que supprimer l'écornage des bêtes n'améliore pas nécessairement ledit bien-être et (ii) que les autres pratiques élémentaires considérées ont bien pour effet de l'améliorer au prix d'une charge de travail augmentée (sauf pour la suppression de la castration physique), possiblement d'une charge d'endettement à la hausse (pratiques élémentaires relatives à la suppression de l'écornage, à l'accroissement de la surface disponible par animal et à l'aménagement du milieu de vie pour permettre l'expression des comportements individuels), et avec des effets variables sur les performances économiques de court terme (rentabilité et soldes de gestion). On ne pourra donc pas recommander, ni la suppression de l'écornage des bovins, ni la suppression de la castration pure et simple des porcins (le remplacement de la castration physique par l'immuno-castration apparaissant comme une évolution souhaitable). Accroître la surface disponible par animal et aménager le milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels se heurte à deux écueils principaux, soit la charge de travail et l'endettement tous deux accrus. Si tel est le souhait de la société (souhait pour des niveaux de bien-être animal augmentés), des aides à l'investissement peuvent être justifiées de façon à limiter les distorsions de concurrence si les exigences sont décidées de façon unilatérale (nationale).

Enfin, pour ce qui est de la santé des animaux, on retiendra les risques économiques, voire productifs, liés à une diminution des traitements curatifs et/ou à l'emploi de mesures préventives tels que les pratiques élémentaires ont été ici définies. Ceci ne veut pas dire qu'il s'agit là de pratiques élémentaires à ne pas recommander, mais cette recommandation doit se faire sur la base d'une analyse au cas par cas, notamment parce que leur succès est conditionné à la mise en œuvre simultanée d'autres pratiques élémentaires. La suppression des traitements systématiques par des médicaments vétérinaires, *via* en particulier l'incorporation d'antibiotiques dans les aliments composés et concentrés, est une évolution sans doute souhaitable compte tenu des effets induits négatifs de ces médicaments vétérinaires, notamment en matière d'apparition de résistances aux antibiotiques : pour en minimiser les effets potentiellement contraires sur les performances productives et économiques, et sur la sensibilité aux aléas (augmentation), il apparaît un besoin de recherches, d'expérimentations, de conseil indépendant de la vente des produits vétérinaires et de formation, initiale et continue, des éleveurs.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter la production	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Gestion de la santé et du bien-être animal	Mesures préventives	Réduire les mouvements d'animaux entre élevages	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-	=	=	+	=/+	=	=
		Pratiquer la vaccination préventive	=/+	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=/+	=	=
		Supprimer les traitements systématiques par des médicaments vétérinaires	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	=	=	=	=	=/-	=	=
		Utiliser des probiotiques et autres additifs (tanins, huiles essentielles, ...) en préventif	=/+	=	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=	=	=
	Traitements curatifs	Réduire les traitements curatifs par des médicaments vétérinaires	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	=/-	=/-	+/-	=/-	=	=	=	=	=/-	=	=
		Utiliser des traitements alternatifsà des fins curatives	=/-	=/+	=/-	-	=/-	=/-	=/-	=/-	=/-	=	=	=	=	=/+	=	=
	Relation Homme-Animal	Améliorer la relation Homme-animal	+	+	+	=	+	+	+	+	+	=	=	=	=	+	=	=
	Bien être animal	Supprimer l'écornage	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=/-	-	=/-	=/-	=	-	=	=	=	=	=
		Supprimer la castration physique	+	+/-	=/+	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	+	=	=
		Accroître la surface disponible par animal pour l'expression des comportements naturels (activités physique et sociale)	=/+	+	=/+	=/-	=/+	=/+	+/-	=/+	+/-	=	-	=	-	=/+	=	=
		Aménager le milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels	=/-	=	=/-	=	=/-	=/-	-	=/-	=/-	=	-	-	=	=	=	=
		Limiter les mélanges d'animaux issus de bandes différentes	+/-	=/+	+/-	=/+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	+/-	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de médicaments vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Gestion de la santé et du bien-être animal	Mesures préventives	Réduire les mouvements d'animaux entre élevages	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	+	+
		Pratiquer la vaccination préventive	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=/+	+
		Supprimer les traitements systématiques par des médicaments vétérinaires	=	=	=	=	=	=	=	+	=/-	=	=	+	=	=	=	+	-	=	=/-	-
		Utiliser des probiotiques et autres additifs (tanins, huiles essentielles, ...) en préventif	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=/+	=
	Traitements curatifs	Réduire les traitements curatifs par des médicaments vétérinaires	=	=	=	=	=	=	=	+	=/-	=	=	+	=	=	=	+	+/-	=	+/-	=
		Utiliser des traitements alternatifsà des fins curatives	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	+	=	=	=	+	-	=	=	-
	Relation Homme-Animal	Améliorer la relation Homme-animal	=	=	=	=	=	=	=	+	+	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	+	=
	Bien être animal	Supprimer l'écornage	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=	=	=	=	=	=	+/-	=/-	+/-	=
		Supprimer la castration physique	=	=	=	=	+	=	+	=	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=/-	+	=
		Accroître la surface disponible par animal pour l'expression des comportements naturels (activités physique et sociale)	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=/+	-	=	=	=	=	=	=	-	=	+	=
		Aménager le milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	+	=
		Limiter les mélanges d'animaux issus de bandes différentes	=	=	=	=	=	=	=	=/+	+/-	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=/+	=

E - Références bibliographiques

ANSES. 2010. Étude des acquisitions de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques dans un échantillon d'élevages porcins naisseurs-engraisseurs année 2008 et comparaison 2008/2005. Édition scientifique, Rapport, ANSES (France), 32 p.

ARNOULD C., LETERRIER C. 2007. Bien-être animal en élevage de poulets de chair. Inra *Prod. Anim*., 20, 41-46

BEAUDEAU F., BAREILLE N., BENDALI F., EZANNO P., KREBS S., RAT-ASPERT O., VERGU E., FOURICHON C. 2011. Structuration spatiale des activités d'élevage de bovins et risque sanitaire. Santé animale et compétitivité des filières : atouts et vulnérabilités du Grand Ouest. Colloque Projet PSDR Grand Ouest SANCRE, 24/11/2011, Nantes (France)

BOIVIN X., BENSOUSSAN S., L'HOTELLIER N., BIGNON L., BRIVES H., BRULE A., GODET J., GRANNEC M.L., HAUSBERGER M., KLING-EVEILLARD F., TALLET C., COURBOULAY V. 2012. Hommes et animaux d'élevage au travail : vers une approche pluridisciplinaire des pratiques relationnelles. *Inra Prod Anim*., 25(2), 159-168

BOIVIN X., LE NEINDRE P., BOISSY A., LENSINK J., TRILLAT G., VEISSIER I. 2003a. Eleveur et grands herbivores : une relation à entretenir. *Inra Prod. Anim.*, 16 (2), 101-115

BOIVIN X., LENSINK B.J., TALLET C., VEISSIER I. 2003b. Stockmanship and farm animal welfare. *Anim. Welf.*, 12, 479-492

BUTAULT J.P. (éditeur). 2004. Les soutiens à l'agriculture – Théorie, histoire, mesure. Inra (Ed). 315 p.

CABARET J., NICOURT C. 2009. Les problèmes sanitaires en élevage biologique : réalités, conceptions et pratiques. *Inra Prod.Anim.*, 22 (3), 235-244

CHARRON M., LANGLAIS M., SEEGERS H., EZANNO P. 2009. Bluetongue spread and vaccination strategies in cattle herds. Epidemics : Second International Conference on Infectious Disease Dynamics, 2-4/12/2009, Athènes (Grèce)

CHAUVIN C., BOUVAREL I., BELOEIL P.A., ORAND J.P., GUILLEMOT D., SANDERS P. 2005. A pharmacoepidemiological analysis of factors associated with antimicrobial consumption level in turkey broiler flocks. *Veterinary Research*, 36, 13-25

CHEVILLON P., GUINGAND N., COURBOULAY V., QUINIOU N., BONNEAU M. 2010a. Niveaux d'androsténone et de scatol dans le gras de porcs mâles entiers issus d'élevages de production et acceptabilité de leurs viandes par les consommateurs. *J. Rech. Porc. en France*, 42, 189-195

CHEVILLON P., BONNEAU M., LE STRAT P., GUINGAND N., COURBOULAY V., QUINIOU N., GAULT E., LHOMMEAU T. 2010b. Acceptabilité des consommateurs des viandes de porc mâle entier transformées en saucisse, lardon, saucisson sec et jambon cuit. *J. Rech. Porc. en France*, 42, 227-228

CHEVILLON P., LE STRAT P., VENDEUVRE J.L., GAULT E., LHOMMEAU T., BONNEAU M., MOUROT J. 2011. Acceptabilité par le consommateur de jambon sec issu de porcs mâles entiers, de femelles ou de mâles castrés. *J. Rech. Porc. en France*, 43, 61-62

FERRAN A.A., TOUTAIN P.L., BOUSQUET-MÉLOU A. 2011. Impact of early versus later fluoroquinolone treatment on the clinical; microbiological and resistance outcomes in a mouse-lung model of Pasteurella multocida infection. *Vet Microbiol*, 148 (2-4), 292-297

GABA S., CABARET J., SAUVE C., CORTET J., SILVESTRE A. 2010. Experimental and modeling approaches to evaluate different aspects of the efficacy of Targeted Selective Treatment of anthelmintics against sheep parasite nematodes. *Vet Parasitol*, 171 (3-4), 254-262

GABRIEL I., MALLET S., SIBILLE P. 2005. La microflore digestive des volailles : facteurs de variation et conséquences pour l'animal. *Inra Prod. Anim.*, 18, 309-322

GEVERINK N.A., DE JONG I.C., LAMBOOIJ E., BLOKHUIS H.J., WIEGANT V.M. 1999. Influence of housing conditions on responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for meat quality. *Can. J. Anim. Sc.*, 79, 285-291

HOSTE H., CABARET J., GROSMOND G., GUITARD J.P. 2009. Alternatives aux traitements anthelminthiques en élevage biologique des ruminants. *Inra Prod.Anim.*, 22 (3), 245-254

LALLÈS J.P., BOSI P., JANCZYK P., KOOPMANS S.J., TORRALLARDONA D. 2009. Impact of bioactive substances on the gastrointestinal tract and performance of weaned piglets: a review. *Animal*, 3 (12), 1625-1643

LARZUL C., IANNUCCELLI N., BILLON Y., TIBAU J., BIDANEL J.P. 2010. Déterminisme génétique de la teneur en androsténone et en scatol dans une population de porc Large White. *J. Rech. Porc. en France*, 42, 173-177

LE HUËROU-LURON I, HUGUET A., CALLAREC J., LEROUX T., LE DIVIDICH J. 2004. La supplémentation de l'aliment de sevrage en colostrum bovin améliore l'ingestion et les performances zootechniques chez les porcelets au sevrage. *J. Rech. Porc. en France*, 36, 33-38

LE NEINDRE P., GUATTEO R., GUEMENE D., GUICHET J.L., LATOUCHE K., LETERRIER C., LEVIONNOIS O., MORMEDE P., PRUNIER A., SERRIE A., SERVIERE J. (éditeurs). 2009. Douleurs animales : les identifier, les comprendre, les limiter chez les animaux d'élevage. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, Inra (France), 98 p.

LETTAT A., MARTIN C., BERGER C., NOZIÈRE P. 2012. Analyse quantitative de l'effet des bactéries probiotiques sur les fermentations dans le rumen et les performances des bovins en production. *Inra Prod. Anim.*, 25 (4), 351-360

LURETTE A., BELLOC C., TOUZEAU S., KEELING M. 2009. Pathogen control within the pyramidal structured network of pigs'movement in France. Epidemics : Second International Conference on Infectious Disease Dynamics, 2-4/12/2009, Athènes (Grèce)

MADEC F., EVENO E., MORVAN P., HAMON L., ALBINA E., TRUONG C., HUET E., CARIOLET R., ARNAUD C., GESTIN A. 1999. La Maladie de l'Amaigrissement du Porcelet (MAP) en France, Aspects descriptifs, impact en élevage, *J. Rech. Porc. en France,* 31, 347-354

MAGNIN M., BOUVAREL I. 2011. Gérer l'alimentation pour contribuer au bien-être des poulets de chair. **In** : Bien-être du poulet de chair. Dossier, *Inra Prod. Anim.*, 24, 181-190

MENKE C., WAIBLINGER S., FÖLSCH D.W., WIEPKEMA P.R. 1999. Social behaviour and injuries of horned cows in loose housing systems. *Anim.Welf.*, 8, 243-258

MEUNIER-SALAÜN M.C., BIZERAY D., COLSON V., COURBOULAY V., LENSINK J., PRUNIER A., REMIENCE V., VANDENHEEDE M. 2007. Bien-être et élevage des porcs. *Inra Prod. Anim.*, 20, 73-80

MICHEL V., HUONNIC D. 2003. A comparison of welfare, health and production performance of laying hens reared in cages or aviaries. *Br. Poult. Sci.*, 43,775-776

MICHEL V., ARNOULD C., MIRABITO L., GUÉMENÉ D. 2007. Systèmes de production et bien-être en élevage de poules pondeuses. *Inra Prod. Anim.*, 20, 47-52

MOUNIER L., MARIE M., LENSINK B.J. 2007. Facteurs déterminants du bien-être des ruminants en élevage. *Inra Prod. Anim*., 20 (1), 65-72

ORGEUR P., LE DIVIDICH J., COLSON V., MEUNIER-SALAÜN M.C. 2002. La relation mère-jeune chez les porcins : de la naissance au sevrage. *Inra Prod. Anim.*, 15, 185-198

PRUNIER A., MULLER N., COURBOULAY V., UDIN L., LARZUL C. 2013. Lésions corporelles chez les mâles entiers au cours de la croissance et sur la carcasse. *J. Rech. Porc. en France*, 45, 63-67

QUINIOU N., COURBOULAY V., GOUES T., LE ROUX A., CHEVILLON P. 2013. Incidence des conditions d'élevage sur les performances de croissance, les caractéristiques de carcasse et le risque d'odeur des porcs mâles entiers. *J. Rech. Porc. en France*, 45, 57-62

QUINIOU N., COURBOULAY V., SALAÜN Y., CHEVILLON P. 2010. Conséquences de la non castration des porcs mâles sur les performances de croissance et le comportement : comparaison avec les mâles castrés et les femelles. *J. Rech. Porc. en France*, 42, 113-118

RELUN A., BAREILLE N., LEHEBEL A., GUATTEO R. 2012. Identification de modalités de désinfection collective et de pratiques d'élevage pour une maitrise efficace de la dermatite digitée en troupeaux bovins laitiers. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 123-126

REPIQUET D. 2003. La certification des maladies animales par l'ACERSA. *Renc. Rech. Ruminants*, 10, 299

ROUSSEL P., BAREILLE N., SERIEYS F., LE GUENIC M., BAUDET H., HEUCHEL V., SEEGERS H. 2008. Traitement au tarissement en troupeau laitier : propositions pour l'évolution des stratégies. *Renc Rech Rumin*, 15, 71

ROUSSEL P., SEEGERS H., SERIEYS F. 2011. Guide d'intervention pour la maîtrise des mammites dans les troupeaux laitiers. UMT Maîtrise de la Santé des troupeaux bovins, 134 p.

RYCHEN G., SIMOES NUNES C. 1995. Effets des flores lactiques des produits laitiers fermentés : une base scientifique pour l'étude des probiotiques microbiens dans l'espèce porcine. *Inra Prod. Anim.*, 8 (2), 97-104

SANDERS P., BOUSQUET-MELOU A., CHAUVIN C., TOUTAIN P.L. 2011. Utilisation des antibiotiques en élevage et enjeux de santé publique. *Inra Prod. Anim.*, 24, 199-204

TABEL J., SAUVE C., CORTET J., TOURNADRE H., THOMAS Y., CABARET J. 2009. Fonder l'évaluation de la thérapeutique sur l'individu ou sur le groupe ? Un exemple : homéopathie et strongles digestifs des ovins. *Innovations Agronomiques,* 4, 61-65

TALLET C., BRILLOÜET A., PAULMIER V., MEUNIER-SALAÜN M.C., PRUNIER A. 2011. Conséquences de l'élevage de porcs mâles entiers sur la relation homme-animal en environnement conventionnel et enrichi. *J. Rech. Porc. en France*, 43, 155-159

TRAVEL A., NYS Y., LOPES E. 2010. Facteurs physiologiques et environnementaux influençant la production et la qualité de l'œuf. *Inra Prod. Anim.*, 23 (2), 155-166

TAUREL A.F., GUATTEO R., JOLY A., BEAUDEAU F. 2012. Effectiveness of vaccination and antibiotics to control *Coxiella burnetii* shedding around calving in dairy cows. *Vet Microbiol*, 159 (3-4), 432-437

TERLOUW E.M.C., ARNOULD C., AUPERIN B., BERRI C., BIHAN-DUVAL E.L., LEFEVRE F., LENSINK J., MOUNIER L. 2007. Impact des conditions de pré-abattage sur le stress et le bien-être des animaux d'élevage. *Inra Prod. Anim.*, 20, 93-100

VAN DE WEERD H.A., DAY J.E.L. 2009. A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. *App. Anim. Behav. Sc.*, 116, 1-20

VIET A.F., JEANPIERRE L., BOUZID M. 2010. Adaptive strategy for controlling a pathogen spread within a group of herds. Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine, 24-26/03/2010, Nantes (France)

WINDSCHNURER I., BOIVIN X., WAIBLINGER S. 2009. Reliability of an avoidance distance test for the assessment of animals responsiveness to humans and a preliminary investigation of its association with farmers' attitudes on bull fattening farms. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 117, 117-127

F - Annexes

Annexe 12.1

Code de la Santé Publique : définitions du médicament et de la spécialité pharmaceutique vétérinaires

Article L5141-1 :
On entend par médicament vétérinaire, tout médicament destiné à l'animal tel que défini à l'article L. 5111-1.
On entend par spécialité pharmaceutique vétérinaire, toute spécialité pharmaceutique telle que définie à l'article L. 5111-2 et destinée à l'animal.

Article L5111-1
On entend par médicament toute substance ou composition présentée comme possédant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales, ainsi que toute substance ou composition pouvant être utilisée chez l'homme ou chez l'animal ou pouvant leur être administrée, en vue d'établir un diagnostic médical ou de restaurer, corriger ou modifier leurs fonctions physiologiques en exerçant une action pharmacologique, immunologique ou métabolique.
Sont notamment considérés comme des médicaments les produits diététiques qui renferment dans leur composition des substances chimiques ou biologiques ne constituant pas elles-mêmes des aliments, mais dont la présence confère à ces produits, soit des propriétés spéciales recherchées en thérapeutique diététique, soit des propriétés de repas d'épreuve.
Les produits utilisés pour la désinfection des locaux et pour la prothèse dentaire ne sont pas considérés comme des médicaments.
Lorsque, eu égard à l'ensemble de ses caractéristiques, un produit est susceptible de répondre à la fois à la définition du médicament prévue au premier alinéa et à celle d'autres catégories de produits régies par le droit communautaire ou national, il est, en cas de doute, considéré comme un médicament.

Article L5111-2
On entend par spécialité pharmaceutique, tout médicament préparé à l'avance, présenté sous un conditionnement particulier et caractérisé par une dénomination spéciale.

Annexe 12.2

Analyse du bien-être animal en termes d'économie publique (Source : Butault, 2004)

Les considérations relatives au bien-être des animaux sont une préoccupation croissante de citoyens dans l'ensemble des pays développés, avec cependant de fortes disparités selon les pays (acuité du problème plus forte dans les pays anglo-saxons de l'Union européenne à 15 par rapport aux Etats membres du Sud de l'Europe, au Canada ou aux Etats-Unis). Cela concerne d'abord le stade de la production où les conséquences porteront sur le choix des techniques et donc sur les coûts de production (confinement des animaux, soins apportés à ces derniers, pratiques d'alimentation, etc.), mais aussi les stades immédiatement en aval (transport, accueil et abattage des animaux).

Il n'est pas facile de définir précisément ce qu'est le bien-être des animaux, et surtout le niveau de bien-être animal souhaité par la société, dans la mesure où celui-ci est associé à des critères scientifiques relatifs au comportement des animaux (critères en général mesurables, au moins partiellement) et à des considérations culturelles, morales, éthiques, etc. très variables selon les pays, notamment en fonction de leur degré de développement, et nettement plus délicates, si ce n'est impossible à quantifier. L'approche volontariste, à savoir le soin laissé au marché de déterminer l'offre et la demande de produits obtenus dans le respect de critères spécifiques de bien-être animal, se heurte ici à deux difficultés (OCDE 2000). La première est celle de l'exclusion des personnes qui accordent une valeur au bien-être des animaux élevés selon ces critères, mais qui ne sont pas des consommateurs. La seconde est relative à l'absence (en général) de conséquences directes des critères de bien-être des animaux sur les caractéristiques des produits finaux, même si l'étiquetage (informations sur les conditions d'élevage des animaux) peut pour une part du moins y pallier. Tous les pays industrialisés ont donc tendance à opter pour l'approche réglementaire (fixation de normes et de standards).

En théorie, les normes imposées par les pouvoirs publics sont supposées refléter le niveau de bien-être animal souhaité par la société, ce qui naturellement soulève le problème de la détermination de ce niveau (durabilité de la demande, influence disproportionnée de groupes de pression ou d'intérêt, comportements opportunistes des politiques, etc.). Sur le plan économique, il s'agit d'évaluer les conséquences des réglementations sur les coûts de production (coûts ponctuels correspondant aux transformations nécessaires pour la mise en conformité et charges additionnelles récurrentes). A court terme, l'accroissement des coûts, répercuté sur les prix en aval, aura un impact sur les consommations finales des produits de la viande porcine en fonction de leurs réactions aux variations des prix (en fonction des élasticités prix). A plus long terme, il y aura adaptation des exploitations, plus généralement de la filière, de façon à atténuer le poids de la contrainte. Ces adaptations pourront prendre diverses formes qu'il est difficile de prévoir avec précision compte tenu des incertitudes sur les niveaux des normes (compte tenu aussi, naturellement, du fait que le bien-être animal ne sera pas le seul facteur d'évolution) : adoption de technologies permettant de minimiser les coûts de mise en conformité, sélection d'animaux présentant une efficacité supérieure dans la conversion de leur alimentation en énergie pour compenser une partie des coûts additionnels, agrandissement de la dimension des exploitations si le coût moyen de mise en conformité avec la réglementation décroit avec la taille, etc.

En pratique, l'inquiétude des producteurs d'une zone donnée est aujourd'hui surtout liée au fait que des normes de bien-être animal unilatérales et localisées peuvent conduire à des distorsions de concurrence négatives relativement aux producteurs des zones où la réglementation est moins sévère (un pays européen relativement aux autres Etats membres, l'Union européenne à 15 relativement à ses concurrents nord-américains, etc.). Il est possible d'imaginer que ces distorsions de concurrence soient, au moins pour partie, effacées si les coûts additionnels induits sont compensés par des aides publiques. Si tel est le cas, il faut d'abord prendre garde à ce que ce soutien public au bien-être animal ne freine pas la recherche, le développement et l'adoption de techniques de production permettant de respecter les normes à moindre coût relativement aux techniques actuelles. Il faut aussi s'assurer de l'acceptation

internationale de ces aides publiques, notamment dans le cadre des négociations multilatérales à l'OMC sur les échanges et les politiques agricoles. Sur un plan plus stratégique, compte tenu du fait que les préoccupations en matière de bien-être animal sont certainement plus vives en Europe de l'Ouest que dans le reste du monde, l'Union européenne à 15 doit insister pour que le sujet soit traité dans le cadre du cycle de Doha. La négociation multilatérale doit inclure la question des aides de compensation (niveaux et modalités d'octroi) de façon à ce que ces dernières ne puissent pas être contestées par la suite. L'AACU ne permet pas (ou alors au prix plus que probable de contestations et de plaintes) de restreindre le commerce international sur la base de critères relevant de méthodes de production respectueuses du bien-être des animaux (OCDE 2000).

CHAPITRE 13
GESTION DE L'ALIMENTATION ANIMALE

A - Présentation de la méta-pratique **274**
B - Description par pratique élémentaire **277**
C - Éléments-clefs à retenir **300**
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique **306**
E - Références bibliographiques **307**

CHAPITRE 13
Gestion de l'alimentation animale

A - Présentation de la méta-pratique

Pour vivre et produire du lait, de la viande des œufs ou des fœtus, l'animal a besoin d'énergie, de protéines (plus exactement d'acides aminés), de minéraux, de vitamines et d'eau. Les enjeux autour de l'alimentation des animaux sont multiples. L'alimentation des troupeaux représente le premier poste de dépense en élevage où elle représente plus de 50 % des charges variables d'après les données régulièrement collectées dans les réseaux d'élevage et atteint même 70% en atelier de monogastrique en 2012 du fait du renchérissement des matières premières (IFIP, Roguet et *al*., 2013). Ce cout s'accroît d'ailleurs suite à l'envolée du prix des matières premières végétales (+ 25% sur le prix de revient d'un kg de carcasse de porc entre 2008 et 2011, Roguet et *al*., 2013).A potentiel génétique donné, l'alimentation détermine aussi les performances de production des animaux, ainsi que la qualité des produits animaux et contribue donc directement au chiffre d'affaire de l'exploitation. Elle contribue enfin aux émissions des animaux notamment des rejets azotés (Peyraud et *al.,* 2012), du phosphore (Meschy et *al*., 2008) chez toutes les espèces, et du méthane dans le cas des ruminants (Sauvant et *al*., 2011). Elle contribue donc directement aux impacts de l'activité d'élevage sur l'environnement. Elle y contribue aussi indirectement par les impacts liés à la production même des aliments qui est maintenant évaluée par des approches d'analyse de cycle de vie.

Compte tenu l'importance du poste alimentation pour l'ensemble des performances des élevages, de très nombreux travaux ont été conduits dans ce domaine depuis une quarantaine d'années avec un angle d'attaque qui a d'ailleurs varié selon les périodes. Les travaux ont d'abord été orientés vers l'expression du potentiel génétique de production de l'animal (maximisation de la production de lait ou de viande ou d'œuf par animal) sans intégration de facteurs limitant (prix de l'aliment, rejet des animaux), l'idée étant que dans la situation physiologique dite d'entretien, l'animal ne produit rien (ni lait ni travail), ni croît, mais qu'il a encore des besoins minimum pour vivre, et que l'accroissement du niveau de production et des besoins associés conduisait à « diluer » le besoin d'entretien et au final à être plus efficace. Les travaux ont ensuite cherché à raisonner plus finement les apports compte tenu des réponses de la production de lait et de viande aux variations des apports alimentaires, ce qui a conduit à l'apparition de la notion de loi de réponse permettant d'établir un optimum économique (gain de produit escompté/dépense supplémentaire pour l'alimentation). Plus récemment, la notion d'efficience a été élargie à la recherche d'une réduction des rejets l'environnement, en particulier les rejets d'azote, de phosphore et de méthane sans (trop) affecter la production des animaux. L'ensemble de ces travaux ont permis d'établir les grands principes de l'alimentation des troupeaux en énergie, en azote et en minéraux, qui se sont concrétisés par l'élaboration des tables de valeur des aliments multi espèces (Sauvant et *al*., 2002) et des fourrages (Baumont et *al*., 2007) qui sont régulièrement remises à jour, ainsi que la mise en place des systèmes d'alimentation Inra. Ces principes et systèmes ont ensuite été repris dans des logiciels de rationnement dans le cas des ruminants (Inration, Agabriel et *al*., 2008) et des porcs (Inraporc, Van Milgen et *al*., 2008 ; Dourmad et *al*., 2008) qui permettent d'évaluer les apports nutritionnels par les rations et au-delà, d'analyser les performances et évaluer les stratégies alimentaires en élevage. Ces logiciels sont régulièrement mis à jour compte tenu des nouvelles connaissances et sont aujourd'hui largement diffusés et utilisés (ou au moins leurs moteurs de calcul) par les professionnels de l'alimentation animale et l'ensemble du secteur du développement et du

conseil, qui bénéficient ainsi des connaissances les plus récentes pour ajuster au mieux les apports alimentaires.

Une partie des aliments ingérés n'est pas digérée et est excrétée dans les fèces. Ceux-ci correspondent aux fractions réellement indigestibles de l'ingéré et à des sécrétions endogènes (desquamations, mucus…) du tube digestif. La digestibilité des fourrages étant le plus souvent inférieure à celles des graines de céréales ou d'oléoprotéagineux ou leurs co-produits, les ruminants excrètent plus de fèces pour une même quantité ingérée que les monogastriques. La seconde source de pertes, cette fois ci par l'urine, provient de l'utilisation des nutriments absorbés lors de la digestion dans les processus métaboliques des fonctions productives mais aussi des autres fonctions (par exemple la reproduction ou les défenses immunitaires) qui se fait avec un rendement inférieur à 1. Ainsi une partie des acides aminés digérés est oxydée lors des synthèses protéiques dans les tissus et l'azote est excrété dans l'urine principalement sous forme d'urée. A titre d'exemple chez un porc à l'engraissement alimenté aux besoins, 32% de l'azote ingéré sera fixé dans les protéines corporelles, 17% sera perdu dans les fèces et 51% de l'azote ingéré sera excrété dans l'urine (Dourmad et *al*., 1999). En outre, si l'azote fécal est sous des formes protéiques complexes, relativement stables et qui ne se minéralisent qu'à un rythme lent, l'azote urine est sous forme chimique simple et est très rapidement volatil (Portejoie et *al*., 2004 pour les porcs ; Peyraud et *al*., 1995 et Tamminga, 1992 pour les ruminants). Les pertes urinaires d'azote augmentent très rapidement lorsque les apports par les aliments deviennent excédentaires par rapport aux besoins des animaux sans que cet apport supplémentaire ne contribue alors à accroitre la production des animaux. Il y a donc tout intérêt à ajuster au mieux les apports pour gagner en efficience, d'autant plus que la quantité d'azote urinaire excrété est le premier facteur affectant les émissions d'ammoniac en bâtiment pour toutes les espèces (Aguerre et *al*., 2010 pour les ruminants, Portejoie et *al*., 2004 pour les porcs, Méda et *al*., 2011 pour les volailles) et que cet accroissement rend aussi l'azote des déjections moins maitrisables pour la fertilisation.

Contrairement aux animaux monogastriques, les ruminants peuvent utiliser des quantités importantes de constituants pariétaux des végétaux (cellulose, hémicelluloses, pectines) comme source d'énergie, du fait de la présence d'un fermenteur (le rumen ou panse) placé en amont du véritable estomac (la caillette). Les aliments y sont retenus, brassés et ils subissent simultanément un broyage par la mastication au cours de la rumination et une dégradation chimique sous l'action des populations microbiennes (bactéries et protozoaires) qui en tirent l'énergie nécessaires à leur prolifération et produisent des acides gras volatils qui sont ensuite absorbés et métabolisés par l'animal comme une source d'énergie. Ceci confère aux ruminants l'aptitude unique de transformer les fourrages en produits à haute valeur nutritionnelle (lait, viande) mais au prix de la production de méthane qui est éructé vers l'atmosphère. Cette production de méthane permet en fait d'évacuer l'hydrogène produit dans le rumen lors de la digestion des parois végétales. La quantité de méthane produite représente en moyenne 8% de l'énergie brute ingérée par la ration (Vermorel, 1988) mais peut varier légèrement selon les rations (Sauvant et *al*., 2011). Il convient de limiter la production de méthane du fait de la contribution de ce gaz au réchauffement climatique mais aussi parce que c'est une perte énergétique pour l'animal. La présence du rumen modifie profondément la digestion des protéines. Si chez les monogastriques tous les acides aminés nécessaires à l'animal doivent être présents dans l'alimentation, le ruminant peut tirer profit au niveau digestif de formes azotées plus simples (par exemple de l'urée) parce qu'elles peuvent être transformées en acides aminés par les microorganismes du rumen ; en sens inverse, une fraction des protéines des aliments sont dégradées dans le rumen jusqu'au stade de l'ammoniac qui est en partie réutilisé par les microbes du rumen pour leurs propres synthèses et est en partie absorbé, puis transformé en urée dans le foie avant d'être excrétée dans l'urine. Ces protéines dégradées ne fournissent alors pas d'acides aminés pour l'animal mais fournissent les substrats azotés indispensables aux microbes. Les acides aminés disponibles et absorbés au niveau de l'intestin proviennent donc pour partie de la fraction des aliments non dégradée dans le rumen et pour partie des protéines microbiennes qui y synthétisées. Le système des Protéines Digestibles dans l'Instestin (PDI, Vérité et Peyraud, 1988) permet d'intégrer tous ces processus pour la maîtrise de la nutrition azotée de l'animal et de celle des microbes du rumen : calcul des apports d'acides aminés dans l'intestin, des apports d'azote dégradable dans le rumen, réponse de la production des animaux. Tout

excès d'apport, que ce soit au niveau intestinal (donc comme chez le monogastrique) mais aussi au niveau du rumen, par rapport au besoin des microbes, se traduira par une excrétion accrue d'azote dans l'urine avec les conséquences évoquées précédemment.

Compte tenu de ces spécificités digestives, certaines des pratiques élémentaires décrites dans la MP « gestion de l'alimentation animale » n'ont de sens que pour un type d'animal. L'une des différences majeures est de pouvoir agir sur le fourrage, sa nature et sa proportion dans le cas des ruminants ; les éleveurs pouvant opter pour des rations maximisant l'utilisation des fourrages ou, au contraire, limiter la part du fourrage au minimum par exemple pour chercher à maximiser la production des animaux, ou parce que le chargement animal est trop élevé face à la production de fourrage. Les marges de manœuvre peuvent être plus importantes pour une même pratique dans le cas des ruminants, ceux-ci étant par exemple plus aptes à valoriser des quantités importantes de coproduits bon marchés issues de l'industrie, moins riches en amidon ou en protéines mais plus riches en cellulose, que les aliments plus classiques. Mais surtout, les pratiques ou pratiques élémentaires d'alimentation n'affectent généralement pas, ou à la marge, le système d'élevage chez les monogastriques, alors que certains choix liés à l'alimentation des troupeaux fait partie intégrante du système d'élevage chez les ruminants. Ainsi l'accroissement de la pratique du pâturage (ou à contrario sa diminution) aura des effets sur la gestion des effluents et cette pratique est souvent liée à un choix de type génétique d'animal. Il est donc alors difficile (ou cela à peu de sens) d'évaluer la pratique ou pratique élémentaire indépendamment du contexte.

La MP « gestion de l'alimentation animale » doit être considérée en lien avec de nombreuses autres pratiques élémentaires du fait de son rôle tout à fait central dans l'activité d'élevage. Elle est en interaction avec la MP « gestion des effluents » et la MP « gestion des bâtiments », notamment pour les émissions vers l'atmosphère qui résultent d'interactions entre la composition des effluents émis par les animaux (notamment la quantité d'azote urinaire) qui dépendent eux-mêmes de leur alimentation, des conditions dans le bâtiment (type de sol, température, ventilation) et des modalités de gestion des effluents au stockage et à l'épandage. Elle est aussi à considérer en lien avec la MP « conduite d'élevage » avec laquelle les interactions sont particulièrement forte dans le cas des ruminants et avec la MP « gestion de la génétique animale » les besoins des animaux étant fonction de leur potentiel génétique pour les fonctions productives (croissances, lactation, ponte). Elle doit enfin être aussi considérée en interaction avec la certaines pratiques élémentaires de la MP « Agro-équipements ».

En pratique, la MP a été divisée en 5 pratiques qui ont des finalités premières différentes :

- *Rejets par l'alimentation*. Cette pratique vise à réduire les rejets d'azote et de phosphore, rejets qui sont impliqués dans les phénomènes d'eutrophisation et d'acidification des milieux. La limitation des rejets d'azote peut s'envisager en deux étapes. La première est d'éviter tout apport excédentaire en ajustant précisément les rations aux besoins des animaux. La seconde va plus loin en réduisant encore plus les teneurs en protéines des rations mais en enrichissant les rations avec l'addition d'acides aminés de synthèses les plus limitant pour la production. Concernant le phosphore, l'objectif est d'améliorer sa digestibilité par addition d'enzymes dans la ration, ce qui permet de réduire les apports totaux et donc les rejets. Concernant les émissions de méthane, de nombreuses études visent actuellement à trouver des additifs alimentaires permettant de réduire sa production dans le rumen.
- *Autonomie alimentaire.* La recherche d'autonomie alimentaire au sein de l'exploitation permet de réduire les couts de l'alimentation en limitant la dépendance aux achats extérieurs. Dans le cas des ruminants, la principale voie d'action consiste à utiliser plus d'herbe, notamment par le pâturage. En effet, l'herbe pâturée est un aliment très bon marché comparativement à l'ensilage de maïs (3 à 5 fois moins cher par kg de matière sèche qu'un ensilage de maïs) et aux concentrés, et qui est aussi une source de protéine permettant de très fortement limiter les besoins en tourteau de soja. Il est aussi envisageable de réduire légèrement le chargement (nombre d'animaux par ha de surface fourragère) ce qui procure des marges de sécurité pour son alimentation et réduit l'aléa climatique. Chez les monogastriques, la pratique élémentaire consiste à produire les aliments directement à la

ferme. Dans le contexte actuel de prix très élevés des matières premières, il apparaît clairement que cette stratégie permet effectivement aux éleveurs de mieux résister. La marge sur coût alimentaire en élevage de porcs naisseurs-engraisseurs était en 2011 de 771 €/truie et par an en cas d'achat d'aliments à l'extérieur et de 1006 €/truie en cas de fabrication d'aliment à la ferme (IFIP-GTE, 2011).

- *Ressources non concurrente des autres ressources*. Toujours pour réduire les couts liés à l'alimentation des troupeaux on peut introduire des matières premières issues de l'industrie agroalimentaire ou d'autres filières (comme les co-produits des agro carburants) et/ou tout type de coproduits disponibles sur le marché en fonction de leur disponibilité et prix même si leur valeur nutritionnelle est inférieure à celle des aliments plus classiques. Dans le cas des ruminants, il est techniquement possible de valoriser en fourrages certaines cultures intermédiaires ou des CIPAN.
- *Conduite de l'alimentation*. Cette pratique vise à simplifier le travail en réduisant le nombre de distribution ou en automatisant la distribution des rations. Elle a aussi pour objectif de réduire les rejets et d'améliorer les performances des animaux en adaptant la distribution en fonction des animaux. En effet, les systèmes d'alimentation permettent aujourd'hui de raisonner l'alimentation pour l'animal moyen d'un troupeau et on n'est pas certain que chaque animal soit alimenté au mieux en fonction de ses besoins individuels. En ajustant la distribution à des lots d'animaux très homogènes, ou même à chaque individu, on doit éviter tout gaspillage. Les nouvelles technologies, telle que l'alimentation de précision commencent de le permettre.
- *Qualité nutritionnelle des produits*. Très peu de pratiques élémentaires sont spécifiquement dédiées à l'amélioration de la qualité nutritionnelle des produits animaux. La plus répandue est l'utilisation de graines de lin extrudées, pour accroître les teneurs en oméga-3 des viandes (en fait du gras des carcasses), du lait ou des œufs. D'autres pratiques ont également cet effet (utilisation de l'herbe ou de luzerne) et sont à ce titre prise en compte dans la démarche « bleu-blanc-cœur »[84] mais elles ne sont pas spécifiques à l'objectif de qualité.

Toutes les pratiques relatives à l'alimentation n'auront ni d'effet sur les rejets de polluants organiques, ni d'ailleurs d'effet sensibles sur les émissions d'odeur.

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Rejets par l'alimentation

B1.1 - Limiter les teneurs en protéines des aliments

La première voie, et la plus simple, pour réduire les rejets consiste à ajuster les apports d'azote (en fait de protéines) de la ration aux besoins des animaux pour réduire tout apport excédentaire qui accroitra fortement l'excrétion d'azote par l'urine et n'aura que des effets marginaux sur la production. Les modalités d'actions différent entre les monogastriques et les ruminants. Chez les ruminants, il est possible de limiter la teneur en protéines des rations en modifiant le fourrage ou en modifiant la complémentation. Les fourrages pauvres en azote, tel le maïs ensilage, permettent effectivement d'élaborer des rations bien équilibrées (14-15% protéines) par addition d'un supplément protéiques bien ajusté, alors qu'à l'inverse, les rations à base d'herbe verte, notamment au pâturage, se caractérisent par des teneurs en protéines parfois très élevées (18 % ou plus lorsqu'il y a des légumineuses) et induisent des rejets azotés plus importants (Peyraud et al., 1995). Certains auteurs ont d'ailleurs proposé de réduire

[84] www.bleu-blanc-coeur.com/

la part de l'herbe pâturée dans les rations des ruminants ce qui d'un point de vue strictement nutritionnel est assez efficace mais ce raisonnement oublie que la prairie est capable de valoriser beaucoup d'azote contrairement à la culture du maïs. Nous ne considérerons pas l'effet du fourrage dans cette pratique élémentaire, il sera pris en compte dans la pratique élémentaire « augmenter la part de la prairie dans la sole fourragère » car les effets sont beaucoup plus systémiques.

Cette pratique élémentaire n'affecte pas les performances des animaux, ni la qualité des produits. Chez les porcs (et les volailles) il s'agit de mieux suivre l'évolution des besoins en fonction du stade de croissance, du potentiel des animaux et de l'objectif de production. Chez le porc en croissance, l'excrétion azotée peut être réduite de 10% lorsque l'on utilise en phase de finition un régime à teneur réduite en protéines (alimentation bi phases) plus en accord avec les besoins des animaux qu'un régime unique riche en protéine durant tout l'engraissement (Latimier et Dourmad, 1993). La réduction la plus importante des rejets est obtenue avec une alimentation « multi phases ». Chez la truie, l'excrétion est ainsi réduite de 20 à 25% lorsque des aliments spécifiques sont distribués pendant la gestation (moins riches en protéines) et la lactation. Chez les ruminant alimentés à l'étable avec des fourrages conservés, un apport de protéines digestibles dans l'intestin excédentaire de 10%, ce qui est très fréquent en élevage car les éleveurs prennent des marges de sécurité (surtout lorsque le prix du soja est peu élevé), correspond à un accroissement des rejets d'azote de 13 à 20 kg de N par vache sur une année selon que cet apport est réalisé avec des tourteaux tannés ou non tannés (Peyraud et al, 1995) alors que la production de lait n'est que très marginalement affectée. Il faut aussi veiller aux apports d'azote dégradable au niveau du rumen. Ils doivent correspondre aux recommandations et il est même possible d'accepter un déficit de 5% (Vérité et Peyraud, 1988) sans aucune conséquence sur les performances. Il s'agit là d'une marge de manœuvre très intéressante pour limiter les rejets.

Les charges variables diminuent en proportion des économies d'aliments azotés effectués et comme la production animale n'est pas affectée, la rentabilité, la VA et l'EBE s'accroissent ainsi que le RCAI puisque cette pratique élémentaire ne nécessite aucun investissement. L'autonomie productive s'accroit aussi alors que la dépendance aux aides se réduit et que la transmissibilité n'est pas affectée.

La consommation d'énergie directe n'est pas affectée mais la consommation d'énergie indirecte est réduite au prorata de l'économie d'aliments protéique effectuée. La réduction de l'ingestion de protéines s'accompagne aussi d'une réduction de la consommation d'eau, qui a été bien quantifiée chez les porcs et les volailles (Portejoie et al., 2004, Méda et al 2001), ce qui entraine aussi une réduction du volume des effluents et qui permet d'avoir des litières plus sèches (Meda et al., 2011).

La réduction de l'excrétion d'azote urinaire qui limite les teneurs en N volatils des déjections est le plus difficile à maîtriser. Elle permet de réduire les émissions de NH3 et de N2O. Elle réduit potentiellement aussi le risque de fuite du nitrate (seul élément de la qualité de l'eau qui est affecté). Cette pratique élémentaire n'a en revanche aucun effet sur la qualité des sols, la biodiversité et les dimensions sociales des performances. Seule exception, la réduction des émissions de NH3 en bâtiment qui réduit l'exposition au risque de l'éleveur. En réduisant les marges de sécurité dans l'alimentation des animaux, on rend l'élevage plus sensible à des variations de la qualité des matières premières ou des fourrages utilisés, mais dans le même temps on réduit la sensibilité aux variations du prix des matières premières riches en protéines (donc =/-).

B1.2 - Utiliser des acides aminés de synthèse

La seconde voie pour réduire les rejets des animaux consiste à mieux équilibrer les apports en acides aminés pour se rapprocher du profil idéal des besoins et maximiser ainsi le rendement d'utilisation par l'animal. Ceci peut être réalisé par une combinaison judicieuse de matières premières et/ou la substitution de protéines par des acides aminés sous forme pure. Cette voie est largement utilisée en pratique chez les monogastriques. Chez le porc à l'engrais, une réduction de 35% de l'excrétion d'azote a été mesurée à la suite d'une amélioration de l'équilibre en acides aminés (valeur biologique) du régime,

sans que ni l'appétit, ni l'efficacité alimentaire ou la composition corporelle des animaux ne soient affectés. La réduction la plus importante des rejets est obtenue avec une alimentation « multi-phases » combinée avec des régimes parfaitement équilibrés en acides aminés (d'une composition proche de celle de la protéine idéale, Henry, 1993) et à teneur réduite en acides aminés non indispensables. Comparée à une alimentation constante à 17% de protéines pendant tout l'engraissement, les rejets sont alors réduits de près de 50% (1,8 vs 3,6 kg N/porc fini) à même croissance et même qualité des carcasses (Bourdon et al, 1995). Toutefois une stratégie de réduction aussi poussée est difficilement envisageable en pratique compte tenu de l'accroissement du coût de production qui lui est associé. Chez les ruminants, la même recherche d'optimisation peut être faite en utilisant des matières premières appropriées ou en ajoutant des acides aminés aux rations (système des AADI, Rulquin, 2001). Cependant, pour être efficace il ne faut pas que les acides aminés soient dégradés dans le rumen, ce qui nécessite le recours à des technologies de protection. Peu sont aujourd'hui réellement efficaces et seule la méthionine protégée est aujourd'hui utilisée dans les rations de vaches laitières à base d'ensilage de maïs.

Cette pratique élémentaire permet donc de maintenir le niveau de production chez les monogastriques et n'affecte pas la qualité des produits tout en réduisant les apports totaux de protéines. Chez les ruminants, la supplémentation des rations en méthionine accroit la teneur en protéine des laits.

La supplémentation en acides aminés tend à accroitre légèrement les charges variables mais l'effet dépendra beaucoup du cours des matières premières protéiques et les acides aminés de synthèse sont aujourd'hui à des prix compétitifs. La production n'étant pas affectée on peut considérer que la rentabilité, la VA, l'EBE, le RCAI et l'autonomie productive sont au final marginalement dégradés ou pas sensiblement affectés. La rentabilité et les autres performances économiques sont en revanche toujours améliorées dans le cas d'une supplémentation en méthionine chez la vache laitière car l'accroissement du prix de vente du lait fait plus que compenser l'achat de la source de méthionine protégée, l'autonomie productive n'est pas affectée et la dépendance aux aides est réduire.

Toutes les autres performances varient dans le même sens que pour la pratique élémentaire « limiter la teneur en protéines des aliments » : diminution de la consommation d'énergie indirecte, de la consommation d'eau, limitation des émissions de NH3 et de GES, diminution du risque de fuite du nitrate, diminution de l'exposition au risque de l'éleveur ; la sensibilité aux aléas peut s'accroitre.

B1.3 - Utiliser des phosphates alimentaires hautement digestibles et des phytases[85]

Contrairement aux substances organiques, les matières minérales de la ration ne sont pas réellement digérées dans le tube digestif mais mises en solution, en général sous forme ionisée et peuvent alors être absorbées par la paroi intestinale. Certaines combinaisons chimiques existant dans l'aliment ou formées dans l'intestin sont insolubles et ne peuvent être absorbées. C'est notamment le cas du phosphore lié à l'acide phytique présent dans les graines de céréales et de légumineuses (60 à 70% du P total de ces graines, Nelson et al., 1968) qui est très peu digestible par le porc et les volailles. L'apport de phytase exogène (le plus souvent d'origine microbienne) ou l'utilisation d'aliments ayant une activité phytasique propre permet d'améliorer très sensiblement l'utilisation digestive du phosphore chez les monogastriques (Meschy et al., 2008). Le problème a moins d'importance chez les ruminants car les microbes du rumen produisent des phytases. Cette pratique élémentaire concerne donc essentiellement les porcs et les volailles. Rappelons toutefois que les apports de phosphore chez les ruminants peuvent être ajustés plus précisément que par le passé grâce à la prise en compte de coefficient d'absorption réelle du phosphore dans les différentes matières premières et les phosphates (système du Phosphore absorbable, Meschy et Ramirez, 2005). Les teneurs en P absorbable figurent

[85] Enzyme qui dégrade l'acide phytique des graines en inositol et en phosphore minéral, ce dernier étant alors rendu disponible pour l'animal.

maintenant dans les tables de valeur des aliments. Cette prise en compte permet de réduire les apports de 10 à 15% sans affecter la production.
L'addition de phytase dans les rations (ou la prise en compte du système du P absorbable chez les ruminants) ne modifie pas la production des animaux dans la mesure où les apports de phosphore digéré sont maintenus constants malgré la diminution des quantités ingérées. La qualité des produits n'est pas affectée non plus. Aujourd'hui, les phytases commerciales sont à un prix compétitif et dans la mesure où le prix des phosphates s'accroit on peut considérer que cette pratique n'affecte pas sensiblement les charges variables, voire pourraient se réduire demain. Ces charges sont réduites chez les ruminants car le rationnement sur la base du P absorbable conduit toujours à réduire les quantités apportées. Dans ces conditions tous les ratios économiques sont maintenus voire pourraient s'améliorer au fur et à mesure que le prix des phosphates va s'accroître.

Cette pratique élémentaire a pour premier effet de réduire la consommation et les émissions de phosphore, la consommation d'énergie indirecte est également réduite par contre la consommation d'énergie directe et d'eau ne sont pas affectées. Elle n'a pas contre aucun effet sur la qualité des sols, de l'air et sur la biodiversité. Elle n'affecte pas les performances sociales. La sensibilité aux aléas peut être considérée comme améliorée car en réduisant les besoins en Phosphore on réduit aussi la sensibilité aux variations du prix des phosphates.

B1.4 - Utiliser des additifs pour réduire les rejets de CH_4

Différentes pistes ont été testées pour réduire la production de méthane entérique. L'addition de lipides à la ration permet de réduire les émissions de méthane (Doreau et al, 2011) et l'effet est plus net avec les acides gras poly insaturés comme ceux de l'huile de lin. C'est en fait la seule solution actuellement utilisable en pratique et c'est elle qui est considérée dans la suite de cette pratique élémentaire. La réduction de nitrate –apporté dans la ration– en ammoniac est une voie métabolique compétitive, vis à vis de la méthanogénèse, pour piéger l'hydrogène produit dans le rumen. Un essai sur vache a récemment confirmé l'effet d'une addition de nitrate sur la réduction de la production de méthane (Van Zijderveld et al., 2010) et un brevet a été déposé. Toutefois le nitrate « alimentaire » n'est pas encore commercialisé en France et peut se heurter à l'acceptabilité par le consommateur. Les autres voies ne sont pas opérationnelles. De très nombreux extraits de plantes (saponines, tanins, huiles essentielles) aux modes d'action divers ont été testés mais les effets sont encore controversés et si certaines plantes riches en tannins et les tannins extraits des plantes peuvent être efficaces pour réduire le méthane, ils peuvent aussi diminuer la digestibilité de la ration et ils ne sont pas utilisés en pratique, à ce jour. Certaines biotechnologies, visant à réorienter la production d'hydrogène vers d'autres produits que le méthane sont séduisantes, mais leur mise au point reste à faire (Doreau et al., 2011).

L'addition d'additifs efficaces pour réduire la méthanogénèse n'affecte pas ou peuvent potentiellement améliorer la production des animaux en limitant la perte d'énergie. Elle n'affecte pas la qualité des produits ou l'améliore si des graines de lin sont utilisées (dans la mesure où ces graines accroissent les teneurs en oméga-3 du lait).

L'utilisation de tels additifs accroit les charges variables et de ce fait dégrade les différents ratios économiques car le gain éventuel de production ne permet pas de compenser le surcout. Une exception peut-être l'utilisation des graines de lin du fait de l'amélioration engendrée sur la qualité du lait si celui-ci peut être valorisé dans la filière « bleu blanc cœur ». Dans ce cas les ratios sont maintenus voire légèrement améliorés.

Le principal effet de ces additifs est de diminuer les émissions de GES. Selon les additifs utilisés il pourrait aussi y avoir une réduction de la dégradation des protéines dans le rumen ce qui pourrait conduire à réduire l'excrétion d'azote dans l'urine et donc au final les émissions d'ammoniac (mais

aucun travail n'a encore considéré cet aspect qui reste de ce fait spéculatif). Aucune autre performance environnementale n'est affectée.

B2 - Autonomie alimentaire

B2.1 - Augmenter l'utilisation des espaces sylvo-pastauraux

Cette pratique élémentaire consiste à faire pâturer les troupeaux sur de grandes étendues en les déplaçant suivant les saisons (printemps et été) pour laisser à la végétation le temps de repousser et pour aller chercher hors du corps de l'exploitation la ressource végétale nécessaire à la nourriture des animaux. En agriculture de montagne, les troupeaux séjournent dans des zones intermédiaires au printemps puis montent en altitude pour valoriser les estives (plus de 1500 m d'altitude) pendant l'été. Ce pastoralisme correspond en fait à de nombreux modes de valorisation des surfaces et à une mosaïque de coutumes, de droits d'usages et de méthodes d'élevages, variant entre massifs mais aussi entre vallées. Le pastoralisme varie aussi selon les équipements disponibles en altitude (présence ou non d'un logement, de parc de contention…). Ce pastoralisme concerne les troupeaux de brebis et de bovins essentiellement. Un autre type de pastoralisme correspond aux systèmes agro-sylvo-pastoraux qui occupent une place importante dans le sud-est de la France et plus globalement les espaces boisés Méditerranéens (Joffre et al., 1992) et qui correspond à l'utilisation d'espaces boisés pour le pâturage de brebis ou de chèvres à un moment ou à un autre de l'année, les produits ligneux faisant par ailleurs l'objet d'autres modalités d'exploitation (qui ne nous concernent pas ici).

Il est difficile de savoir si l'augmentation de l'utilisation des espaces syslvo pastoraux modifie les productions animales, on peut penser que l'effet est modéré car s'il y a un accroissement des couts énergétiques pour le déplacement des animaux, on peut admettre que ceux-ci ont accès à une ressource de meilleure qualité et plus abondante. Dans tous les cas il s'agit de systèmes très extensif et peu productifs tant au niveau de l'animal que des surfaces. En revanche, le pastoralisme permet de produire du lait ou de la viande (mais aussi des cuirs et peaux) de haute valeur commerciale. La valeur nutritive est également améliorée, des travaux mettant en avant un accroissement des acides gras polyinsaturés lors du pâturage en alpage (Chilliard et al., 2001).

La pratique élémentaire réduit naturellement les charges variables, la valeur ajoutée s'accroit puisque à la diminution des charges s'ajoute une meilleure valorisation des produits. Dans certain cas la valorisation des surfaces peut être rémunérée en tant que telle, c'est notamment le cas dans le cadre d'opérations de protection des forêts méditerranéennes contre l'incendie, l'entretien de certains espaces réalisé par le pâturage fait l'objet d'une rémunération. L'ensemble des autres performances économiques s'améliore également. L'endettement n'est pas affecté et la segmentation des produits obtenus correspond à une diversification des productions. En revanche la dépendance aux aides peut s'accroitre car la valorisation des surfaces est dépendante des aides.
La consommation d'énergie, tant directe qu'indirecte diminue puisque les animaux pâturent par contre la consommation d'eau et de phosphore ne sont pas affectées. Le passage des troupeaux sur les surfaces permet de bénéficier d'une fertilisation partielle des terres par les déjections animales et contribue donc au maintien de la teneur en MO des sols. Les risques d'érosion sont également réduits par l'entretien des surfaces. Cette pratique accroit les surfaces semi naturelles en évitant l'embroussaillement et l'aforestation des zones concernées. Elle n'a par contre aucun effet sur la qualité de l'air.
L'utilisation des produits vétérinaires peut diminuer ou au contraire augmenter en fonction de la charge parasitaire. Il en va de même pour le bien-être animal. Celui-ci peut en effet être fortement dégradé lors d'attaque de loups.

La limite principale de cette pratique élémentaire concerne la charge de travail qui peut être très lourde, notamment en production laitière, et la difficulté des conditions de travail (isolement). La réintroduction des loups depuis les années 90 rend le métier également plus difficile.

La pratique du pastoralisme réduit la sensibilité des systèmes aux aléas climatiques car l'éleveur dispose de surfaces importantes pour nourrir les troupeaux en revanche l'aléa de perte de cheptel lié à la présence des loups (au moins dans les Alpes) est un vrai problème.
Notons pour finir que le pastoralisme permet la mise en valeur de vastes surfaces de territoires dans ces régions qui n'ont guère d'autres possibilités de valorisation économique.

B2.2 - Augmenter la part des prairies dans la sole

La quasi-totalité des élevages de ruminants utilise la prairie même si sa part dans l'alimentation annuelle est variable selon le niveau d'intensification du système et la région d'élevage. Cette pratique élémentaire s'intéresse à la pairie entrant dans des rotations, implantée pour une période relativement courte (moins de 5 ans), et concerne donc plutôt dans les zones d'élevage de plaine et de piedmont. Dans ces régions, l'accroissement de la part de prairie dans la sole se réfléchit en général au regard de la surface en culture annuelle et plus précisément de celle en maïs ensilage.

L'accroissement de la part de la prairie dans la sole conduit en général à une réduction de la production animale car les quantités ingérées d'herbe sont inférieures à celle d'une ration bien équilibrée à base d'ensilage de maïs et ce d'autant plus que le choix de système maïs s'accompagne souvent d'une intensification de la production à l'animal (souhait des éleveurs de faire s'exprimer le potentiel de production des animaux en distribuant plus de concentré). La perte de production peut être moindre, voire nulle, si la prairie ne constitue qu'une part de la ration journalière (par ex lors d'un pâturage limité à quelques heures par jour), elle est alors un excellent compagnon de l'ensilage de maïs (Delaby et al., 2009). La prairie affecte la qualité du lait. Comparativement aux rations maïs, la prairie tend à réduire la teneur en protéines du lait et donc son aptitude à la transformation fromagère du fait de la réduction des apports énergétiques à l'animal mais en contrepartie elle améliore très sensiblement la valeur nutritionnelle des produits en accroissant les teneurs en acides gras insaturés, notamment les oméga-3 (Couvreur et al., 2006) et elle conduit aussi à des produits plus colorés et aux propriétés organoleptiques plus intéressantes (Hurtaud et al., 2007). Le tout est finalement plutôt positif même si ces critères de qualités, contrairement à la teneur en protéines, ne sont pas monétarisés.

La prairie réduit sensiblement les charges variables surtout lorsqu'elle est pâturée (Peyraud et al., 2010). Les effets sur la valeur ajoutée, la rentabilité, l'EBE, le RCAI et l'autonomie productive dépendront en fait des effets relatifs sur la diminution des charges et sur le chiffre d'affaire (qui peut diminuer), toutes choses égales par ailleurs. En fait, plusieurs travaux montrent maintenant que les systèmes herbagers, lorsqu'ils sont bien maîtrisés, améliorent plutôt les performances économiques (voir Peyraud et al., 2010) car la réduction des charges l'emporte sur la baisse de la vente de produits animaux. Il faut toutefois noter que les résultats sur le RCAI seront fortement dégradés si l'accroissement de la surface en prairie nécessite des investissements en matériel de récolte. Les surfaces en prairie temporaire ne reçoivent pas d'aides spécifiques, elles bénéficient des DPU historiques du maïs lorsque l'herbe remplace le maïs. La dépendance aux aides ne varie donc pas ou augmente mathématiquement si le RCAI baisse.

La prairie réduit la consommation en énergie fossile mais surtout si elle est pâturée. L'effet sera beaucoup plus modérée voir nul si la prairie est à base de graminée fertilisées avec des engrais azotés de synthèse et si elle est uniquement fauchée. La prairie réduit toujours la consommation en énergie indirecte car c'est un fourrage bien équilibré qui ne nécessite pas de compléments, notamment de protéines importées. Elle réduit aussi la consommation d'eau de boisson, car c'est un fourrage très aqueux. La consommation de phosphore n'est pas affectée.

L'accroissement de la part de la prairie contribue à limiter les risques d'érosion du fait de son système racinaire développé et de la couverture permanente du sol qu'elle assure. Elle contribue aussi à limiter le compactage du fait d'un passage de tracteur moins fréquents lorsqu'elle est pâturée mais cet effet peut être annulé si l'herbe est toujours récoltée par fauche ou si un pâturage en période très humide conduit à un sur piétinement des parcelles. La prairie n'affecte sans doute par la teneur ne MO des sols si elle est implantée sur une courte durée (moins d e3 ans) mais peut avoir un effet positif si elle est maintenue plus longtemps.

La prairie a des effets sensibles et bénéfiques sur la qualité des eaux. Par sa couverture permanente du sol elle limite fortement les risques de ruissellement du phosphore. La prairie contribue à réduire la charge phytosanitaire (Raison et al., 2008), les prairies ne sont en effet jamais traitées à l'exception de quelques désherbages post semis. Le rôle de la prairie en rotation sur les fuites d'azote est plus à nuancer. Les pertes d'azote par lessivage sont faibles et même plus faibles que sous culture de Maïs si le niveau de fertilisation reste inférieur à 200-250 kg/ha/an (Vertès et al., 2010a). Elles tendent même vers 0 si la prairie est fauchée. En revanche, les pertes peuvent d'accroitre sous les prairies utilisées de manière plus intensive à l'Ouest et ce d'autant plus que ces prairies sont conduites au sein de rotations pluriannuelles (c'est-à-dire si les prairies sont retournées trop fréquemment). En effet, la minéralisation induite par leur retournement conduit à des fuites parfois élevées si les reliquats azotés ne sont pas bien valorisés par la culture suivante (Raison et al., 2008). Les risques s'accroissent aussi sensiblement dans le cas de pâturage de fin de saison, juste avant ou pendant la période de drainage. L'accroissement de la part de la prairie dans la sole peut aussi réduire l'utilisation des produits vétérinaires sauf si des traitements antiparasitaires sont nécessaires.

L'accroissement de la part de prairie sur les émissions de NH3 est variable. Elle peut réduire les émissions si elle est pâturée car il est bien établi que la volatilisation est plus faible au pâturage qu'en bâtiments (Peyraud et al., 2012) mais cet effet sera beaucoup moins net, voire s'inversera si l'herbe est récoltée et distribuée en bâtiment car alors l'excrétion d'azote par l'urine sera plus élevée qu'avec des rations à base d'ensilage de maïs ce qui accroit les émissions de NH3. Les effets sur les émissions de GES sont également très variables. Les émissions de N2O dépendent du mode de valorisation de l'herbe, elles s'accroissent avec la fertilisation azotée minérale mais elles seront très faibles si la prairie est à base de légumineuses. En limitant le besoin de tourteau de soja sur l'exploitation, la prairie contribue à réduire l'empreinte GES des produits animaux lié à l'utilisation du soja. Enfin, on ne sait pas aujourd'hui dans quelle mesure le stockage de C sous prairie temporaire peut compenser en partie les émissions, c'est sans doute très fonction de la durée d'implantation et d'autant plus négligeable que la prairie reste en place peu de temps du fait du déstockage lors du retournement (Arrouays et al., 2002).

La prairie en rotation a peu d'effets sur les critères de performances de biodiversité retenus. Elle contribue un peu à la diversification des cultures si les espèces qui sont implantées sur les nouvelles surfaces en prairie sont différentes des précédentes et la prairie contribuera toujours à réduire les perturbations des écosystèmes.

L'accroissement de la surface en prairie, surtout si elle est pâturée, aura un effet bénéfique sur le bien-être animal. Les effets sur le temps et les conditions de travail sont variables. Elles dépendent des modalités de récolte de l'herbe, le temps de travail diminuant avec le pâturage mais pouvant s'accroitre en cas d'affouragement en vert en bâtiment. En outre la récolte des stocks fourragers est toujours plus gourmande en travail tant dans le cas de l'herbe que dans le cas des ensilages de maïs car plusieurs passages au champ sont nécessaires (coupe, pré fanage, récolte)

Enfin l'accroissement de la surface en prairie temporaire accroit le risque d'aléa climatique, la production de la prairie étant notamment très sensible à la sécheresse s'il n'y a pas possibilité d'irrigation.

B2.3 - Augmenter la part de prairies permanentes dans la sole fourragère

Cette pratique ressemble à la précédente sauf que l'accroissement de la surface en prairie est liée à la prairie permanente c'est-à-dire à une prairie qui reste en place de nombreuses années, au moins 5 ans d'après la définition de la commission européenne (régulation EU No 796/2004) mais souvent beaucoup plus. De fait ce n'est pas une pratique très courante en zone de plaine sauf si l'éleveur décide de ne plus retourner ses prairies. C'est essentiellement cette situation qui est considérée dans cette pratique élémentaire (même si la nouvelle réglementation européenne d'interdiction de retourner les prairies permanentes ne va pas pousser dans cette voie). En effet, en zone de montagne la prairie permanente valorisée de manière extensive recouvre déjà l'essentiel de la Surface agricole utile et sa surface ne peut pas s'accroitre sensiblement. La prairie permanente est en général un peu moins productive que la prairie temporaire de courte durée et la qualité du fourrage peut être identique mais est parfois un peu plus faible que celui des prairies temporaires bien conduites. De là découlent les principales différences avec la pratique élémentaire précédente.

L'accroissement de la part de la prairie permanente dans la sole conduit en général à une réduction de la production animale (si l'éleveur ne compense pas en réduisant le chargement ou en donnant un peu plus de concentré). La qualité des produits évolue dans les mêmes sens que pour la pratique élémentaire précédente mais les effets tendent à être un peu plus marqués. L'accroissement de la surface en prairie permanente permet de réduire les charges. Au final, les performances économiques varient dans le même sens que pour la pratique élémentaire précédente mais risquent d'être un peu plus dégradées en moyenne.

L'accroissement de la surface en prairie permanente va réduire la consommation en énergie fossile, sans doute un peu plus nettement que la prairie temporaire car elle est plus souvent pâturée que fauchée et parce qu'elle est souvent aussi moins fertilisée. La consommation d'énergie indirecte et d'eau de boisson sont réduites pour les mêmes raisons que pour la prairie temporaire.
Les effets de l'accroissement des surfaces en prairie permanentes sur les performances environnementales sont globalement plus importants que ceux enregistrés avec la prairie temporaire. Elle contribue bien sûr à limiter les risques d'érosion et de compactage mais l'effet sur l'accroissement de la teneur en MO des sols est plus marqué. Les critères relatifs à la biodiversité sont beaucoup plus significativement et positivement affectés que dans la pratique élémentaire précédente. Les surfaces semi naturelles sont cette fois ci fortement et positivement affectées ainsi que la diversité des cultures car la flore des prairies permanentes est toujours beaucoup plus riche que celles des prairies temporaires. La prairie permanente contribue toujours fortement à la réduction des perturbations des écosystèmes.

L'accroissement de la surface en prairie permanente a des effets au moins similaires mais souvent plus nets que ceux rapportés pour l'accroissement de la surface en prairie temporaire sur la qualité des eaux : limitation des risques de ruissellement du phosphore ; réduction de la charge phytosanitaire encore plus importante car les prairies temporaires sont parfois détruites par un traitement herbicide avant d'être retournées ; effet sur la réduction des fuites de nitrate également un peu plus net car on supprime (ou au moins on réduit très fortement) le retournement qui est une phase à fort risque de lessivage et en outre, les prairies permanentes étant parfois un peu moins productives, elles sont exploitées de manière un peu moins intensive.

De même, l'accroissement de la part de prairie permanente réduit les émissions de NH3 au moins autant que celui de la prairie temporaire et même plus si elle est plus souvent pâturée que fauchée. L'effet sur la réduction des GES est plus net car les prairies permanentes sont souvent moins fertilisées ce qui réduit les émissions de N2O et le stockage de C sous une prairie de longue durée peut compenser en partie les émissions (Arrouays et al., 2002 ; Soussana et al., 2010).

L'accroissement de la part de la prairie permanente dans la sole comme celle de prairie temporaire peut réduire l'utilisation des produits vétérinaires sauf si des traitements antiparasitaires sont nécessaires.
L'accroissement de la surface en prairie, surtout si elle est principalement pâturée, aura un effet bénéfique sur le bien-être animal. Les effets sur le temps et les conditions de travail sont variables comme décrit dans le cas de l'accroissement de la part de praires temporaires.

La prairie permanente est enfin un peu plus résiliente que la prairie temporaire à la sécheresse du fait de la diversité des espèces qui la composent mais on peut considérer que ce phénomène n'est pas suffisant pour supprimer tout risque de pénurie de fourrage en cas de sécheresse.

B2.4 - Réduire la surface en cultures annuelles

Cette pratique élémentaire est fortement liée à la celle qui consiste à « augmenter la part des prairies dans la sole », celles-ci devant être actionnées simultanément pour simuler une modification de l'assolement de l'exploitation à même Surface Agricole Utile. C'est pourquoi elle apparaît dans cette méta-pratique dévolue à l'alimentation animale. A titre d'exemple, on peut citer le cas d'un éleveur qui cherche à développer un système plus herbager et limiter la part de l'ensilage de maïs ou des céréales destinées à la vente ou à l'autoconsommation.

Cette pratique élémentaire réduit les quantités de cultures annuelles produites au prorata des surfaces reconverties mais n'affecte pas la qualité de la production. La conversion des surfaces vers des cultures de longue durée, ne nécessitant plus des implantations annuelles et moins demandeuses en intrants permet de réduire les charges variables. En revanche, la moindre productivité physique impacte directement la valeur ajoutée de l'atelier culture, ainsi que la rentabilité et les autres performances économiques. Il n'y a pas d'investissement et le RCAI varie comme l'EBE.

Du fait des opérations culturales potentiellement moins nombreuses, la consommation d'énergie directe est réduite. La réduction du recours aux intrants contribue aussi à réduire les consommations d'énergie indirecte. Ce dernier effet sera d'autant plus important que les surfaces seront remplacées par de la prairie avec des légumineuses. La consommation d'engrais phosphatés sera également réduite.

La réduction des surfaces en cultures annuelles réduit à la fois les risques de compactage, du fait des passages moins fréquents des engins, et également les risques d'érosion par la couverture permanente des sols. Pour la même raison le risque de lixiviation du nitrate est réduit. Il conviendra cependant ici d'être particulièrement vigilant lors du retournement des cultures de longue durée implantées à la place des cultures annuelles. Les émissions de GES seront réduites en lien direct avec la réduction de la consommation totale d'énergie. La réduction de l'usage des produits phytosanitaires permettra aussi de réduire les rejets de polluants organiques vers l'air. Cette pratique élémentaire n'affecte pas la diversité des cultures ou la réduit si elle revient à éliminer une culture de la sole (par ex le cas d'un éleveur qui ne ferait plus de colza ou de tournesol pour développer sa sole en prairie).

Les opérations moins nombreuses effectuées sur les surfaces (semis, traitements, récoltes) permettent d'améliorer la performance « Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité ». Du fait de la très forte réduction des traitements phytosanitaires, l'exposition aux risques de l'utilisateur est également réduite.

B2.5 - Augmenter la fertilisation azotée pour augmenter la productivité des prairies

Le premier facteur d'accroissement de la production d'herbe par la prairie est la fertilisation azotée. La réponse de la production à l'azote est élevé et varie de 5 à 15 kg de matière sèche d'herbe en plus

par kg de N minéral (Peyraud, 2000) pour un même âge de repousse, cette réponse variant selon les conditions climatiques et les types de sol. La réponse est un peu plus faible sur les prairies d'associations entre graminées et légumineuses car la fertilisation minérale réduit alors en général la proportion de trèfle et son aptitude à fixer de l'azote atmosphérique. En outre la réponse est linéaire jusqu'à des niveaux de fertilisation très élevés, c'est d'ailleurs ce qui a justifié, avec le faible prix des engrais azotés, l'intensification des prairies de graminées à la grande période de la révolution fourragère (années 50-75) et de la nécessaire intensification de la culture de l'herbe. Cet accroissement de la productivité peut être utilisé de 2 manières différentes : soit récolter plus de biomasse à un âge donné lors des coupes d'ensilage ou de foin, soit pouvoir entrer plus rapidement dans une parcelle pour la pâturer, cette seconde voie permettant d'accroitre le nombre de cycles de pâturage dans l'année et donc la part de pâturage dans l'alimentation annuelle des ruminants. L'accroissement de la fertilisation accroit aussi très fortement la teneur en protéines du fourrage. A titre d'exemple, dans un suivi d'exploitation en Bretagne, Pays de Loire et Normandie un accroissement de la fertilisation de 100 kg N/ha, accroissant la teneur en MAT de l'herbe de plus de 20 g/kg MS (Delaby et al, 1999). L'accroissement de la fertilisation ne modifie ni la digestibilité de l'herbe ni les quantités de fourrage volontairement ingérées pour un même âge de repousse (Peyraud , 2000). Ces quelques résultats expliquent en grande partie les effets de l'accroissement de la fertilisation azotée sur les performances.

L'accroissement de la fertilisation azotée n'affecte pas la production des troupeaux ni la qualité des produits animaux (Delaby et Peyraud, 1998) par contre elle affectera directement et de manière proportionnelle à l'accroissement des rendements en herbe la quantité de lait ou de viande produite par hectare.

Dans tous les cas l'accroissement de la fertilisation s'accompagne d'un accroissement des charges variables liées aux achats d'engrais mais dans le même temps cette pratique élémentaire permet de gagner en autonomie fourragère et donc de limiter les achats d'aliments à l'extérieur ou d'utiliser plus de pâturage ce qui, dans tous les cas, réduit les charges liées à l'alimentation. Le solde sur les charges variables sera donc fonction de ces deux effets et dépendra en fait beaucoup de la réponse de la production des prairies à l'azote. Les résultats sur la valeur ajoutée sont aussi variables. La production agricole peut s'accroitre si la production d'herbe supplémentaire est valorisée sous forme de produits animaux supplémentaires (ce qui n'est pas possible en élevage laitier en politique de quotas) et dans ce cas la valeur ajoutée s'accroit. Si la production animale est constante, la valeur ajoutée variera directement en relation inverse avec les charges. Dès lors les autres ratios traduisant les performances économiques seront également variables selon les contextes. La pratique élémentaire n'affecte pas l'endettement.

Si l'accroissement de la fertilisation azotée est réalisé par un accroissement du nombre de passages de l'épandeur d'engrais, il entraîne un accroissement de la consommation d'énergie directe mais n'aura pas d'effet sur cette consommation si le nombre de passage ne s'accroit pas mais que c'est la dose épandue à chaque fois qui augmente ; En revanche, l'accroissement de la fertilisation se traduit toujours par un accroissement de la consommation d'énergie indirecte car la production d'engrais minéral est couteuse en énergie, il faut 55 à 60 MJ pour produire, transporter et épandre 1 kg de N minéral (Bochu, 2002).

Cette pratique élémentaire va avoir des effets négatifs sur les flux d'azote en accroissant les différentes formes de pertes azotées. Elle va accroitre fortement les émissions de N_2O celles-ci ayant lieu lors de l'épandage des engrais, les émissions sont en effet 2 à 3 fois plus élevées sur les prairies conduites de manière intensive que sur des prairies plus extensives (Soussana et Luescher, 2007). L'accroissement de la fertilisation accroît la teneur en protéines des fourrages et donc aussi l'excrétion d'azote dans l'urine des animaux ce qui aura pour effet d'accroitre les émissions de NH_3 (Peyraud, 2000) notamment durant les périodes où les animaux sont nourris à l'étable car les émissions restent toujours plus faibles au pâturage. Elle va aussi accroître les risques de fuites de nitrate car les animaux restituent au pâturage des quantités plus importantes d'azote en lien direct

avec la teneur en protéine des fourrages mais aussi parce que l'accroissement de la fertilisation s'accompagne toujours fort logiquement d'un accroissement du nombre de journées de pâturage (liée à l'accroissement du nombre de cycles ou du chargement présent à chaque cycle) sur chaque hectare de prairie (Delaby et *al*., 1997 ; Vertes et *al*., 2007), les deux effets étant multiplicatifs pour les pertes de nitrate. Hormis ces effets sur les flux d'azote, la fertilisation azotée n'aura pas d'effet sur les autres critères de qualité de l'air et de l'eau.

L'accroissement de la fertilisation azotée n'aura pas d'effet sur la qualité des sols hormis un risque accru de compactage si la fréquence des applications d'engrais s'accroit. Elle va également contribuer à réduire les surfaces semi naturelles et notamment la biodiversité floristique et celle des insectes et petite faune (Dumont et *al*., 2007 ; Decourtye et Bouquet., 2010) notamment lorsque l'accroissement de la fertilisation est appliquée sur des prairies permanentes.

Cette pratique élémentaire comme un certain nombre de précédentes (telle l'augmentation de la part de prairie dans la sole) voit le temps de travail évoluer différemment selon que les surfaces en prairies soient valorisées par pâturage ou récolte.

L'accroissement de la fertilisation azotée vise à se positionner dans une situation d'azote non limitant et de ce point de vue cette pratique élémentaire réduit les risques d'aléas sur la production mais dans le même temps elle expose au risque économique de fluctuation du cours des engrais azotés. L'effet final sur la sensibilité aux aléas est donc variable et dépendra de l'importance respective de ces deux points.

B2.6 - Semer des prairies multi spécifiques pour augmenter la productivité des prairies[86]

Malgré tous ces avantages, les prairies d'associations graminées – trèfle blanc restent pénalisées par leur potentiel de production souvent un peu faible comparé aux prairies de graminées fertilisées comme cela a été montré lors d'un suivi de 400 parcelles sur plusieurs années (Le Gall., 2004). Ce n'est que dans les meilleurs conditions (de sol et de climat) que les associations produisent autant qu'une graminée recevant 200 à 250 kg /ha/an ; dans les autres cas, le chargement animal (et donc la production de lait et de viande à l'hectare) est toujours un peu plus faible sur les prairies d'association pour compenser la moindre production de fourrage même si la production individuelle des animaux peut être plus élevée. Au-delà des mélanges binaires, il apparaît un effet positif de la diversité spécifique des prairies sur la productivité. Quelques espèces bien adaptées semblent suffire sans qu'il soit nécessaire de rechercher des mélanges très complexes, plus difficiles à gérer. Un vaste essai conduit sur 28 sites et 17 pays en Europe a bien montré l'intérêt de ces prairies multi spécifiques (Kirwan et *al*., 2007). Dans tous les sites, les associations ont produit plus de biomasse que la meilleure des monocultures à même niveau de fertilisation et l'effet a persisté au cours des 3 ans de l'essai. Ce résultat, qui doit être confirmé (travaux en cours dans le projet FP7 – Multisward), ouvre des nouvelles opportunités pour concilier productivité et environnement dans les systèmes laitiers en production de ruminants pour bénéficier des atouts des légumineuses tout en ayant des surfaces productives. La pratique élémentaire est comparée aux prairies à base de graminées pures. Faute de données sur les prairies multi espèces pour certaines performances, on se référera aux résultats acquis sur les praires d'associations entre graminées et trèfle.

L'utilisation de prairies associant graminées et légumineuses peut accroitre la production des troupeaux, en tout cas c'est ce qui est observé pour des prairies de graminées-trèfle blanc comparées à des graminées pures et ce quel que soit les modalités de conduite du pâturage et aussi bien en production de lait que de viande (Ribeiro-Filho *et al*., 2003, 2005; Dewhusrt et *al*., 2009). Cet accroissement de la production animale est lié à un accroissement de la quantité d'éléments

[86] Pratique élémentaire très proche de la B3.6 de la MP Eléments minéraux

digestibles ingérés. La valeur nutritionnelle des prairies à base de trèfle et des prairies multi spécifiques diminue moins vite avec l'âge des repousses que les prairies de graminées pures ce qui donne plus de souplesse pour leur utilisation et permet de mieux maintenir les productions animales dans le temps (Delaby et *al*., 2010). Les différents critères de qualité du lait ou de la viande ne sont en revanche pas sensiblement affectés comparativement à une alimentation avec des graminées pures sauf pour la viande d'agneau qui apparaît plus typée en présence de légumineuses (Dewhurst et *al*., 2009).

En permettant des économies d'engrais minéraux azotés alors que la productivité des prairies n'est pas (ou peu) affectée, les prairies multi espèces contribuent à réduire les charges variables même si le cout en semence peut être un peu plus élevé. Elles accroissent aussi la valeur ajoutée en lien avec la production des animaux. Les autres performances économiques (EBE, RCAI, autonomie productive, dépendante aux aides) sont donc toutes améliorées. La pratique ne nécessite pas d'investissement.

L'utilisation de prairies multi spécifiques permet de réduire la consommation d'énergie indirecte du fait des économies d'engrais azotés dont la synthèse coute en énergie. Il faut ainsi 1,2 MJ pour produire 1 kg de matière sèche de ray grass fertilisé à 150 kg N/ha mais seulement 0,4 avec une association ray-grass et trèfle blanc et il en faut 0,9 pour de l'ensilage de maïs après blé (Besnard et *al*., 2006). La consommation d'énergie directe peut potentiellement être légèrement réduite puisque en théorie, il y aura moins de passage avec l'épandeur d'engrais sur ces prairies. Ces prairies vont donc aussi contribuer à réduire les émissions de GES notamment du fait de la réduction des émissions de N_2O liée à la très forte réduction de la fertilisation azotée alors que la fixation symbiotique n'émet pas de N2O. Elles peuvent aussi y contribuer de manière indirecte car ces fourrages conservés en ensilage sont de bons compléments à l'ensilage de maïs du fait de leur richesse en protéines permettant ainsi de réduire les apports de tourteau de soja et donc l'empreinte carbone qui lui est associée.

Il n'y a pas d'effet reconnu des prairies d'associations ou multi espèces sur la qualité des sols. Plusieurs travaux concernant les prairies à base de graminées et trèfle blanc montrent que les quantités d'azote lessivé sont peu différentes de celles observées sous prairies de graminées pures lorsque les prairies sont conduites à même chargement animal mais quelques travaux mettent toutefois en évidence des pertes un peu plus faible sous les prairies d'associations. Cet effet plutôt bénéfique ou au mieux neutre des prairies avec du trèfle comparée à des graminées fertilisées peut s'expliquer par le fait qu'avec les légumineuses on évite les apports ponctuels et importants de N minéral. Les données sont beaucoup moins nombreuses pour les prairies contenant d'autres légumineuses mais il apparaît que les pertes par lixiviation soient beaucoup plus faibles sous les prairies contenant de la luzerne (Peyraud et *al*., 2012 ; Vertes et *al*., 2010b).

Les prairies multi spécifiques produisent des fourrages riches en protéines. De ce fait l'excrétion d'azote par l'urine s'accroit, augmentant corrélativement les risques de volatilisation de NH_3 au moins lorsque les animaux sont alimentés avec du fourrage conservé en bâtiments. Par contre, les émissions étant faibles au pâturage, on peut penser que la volatilisation d'ammoniac n'est que marginalement affectée durant cette phase d'alimentation.

Les prairies multi espèces, du fait même de la présence de plusieurs espèces se différentiant par leurs fonctionnalités sont plus résilientes face aux aléas climatiques, les légumineuses résistant mieux à la sécheresse. En revanche, cette propriété des prairies multi espèces ne peut s'exprimer que si l'équilibre entre les différentes espèces peut être maintenu, ce qui n'est pas toujours facile à obtenir en pratique.

L'utilisation de prairie multi spécifiques peut contribuer à réduire le temps du travail dans la mesure où le nombre de passages pour l'épandage d'engrais doit diminuer. Par contre ces prairies peuvent être à l'origine d'un certain accroissement de la pénibilité du travail (au sens accroissement de la

charge mentale) car il demeure toujours des incertitudes quant au maintien des proportions de légumineuses et donc de la production.

B2.7 - Augmenter la pratique du pâturage

Compte tenu de la valeur alimentaire élevée de l'herbe pâturée et de son faible cout (surtout si en plus il s'agit de prairies d'associations avec des légumineuses) il y a tout intérêt à augmenter la part d'herbe pâturée dans l'alimentation annuelle des troupeaux ce qui suppose de bien valoriser l'herbe présente pendant les périodes de plein pâturage mais aussi d'allonger la période de pâturage le plus longtemps possible sur l'année et de ne pas recourir à la technique du « zéro pâturage » qui consiste à aller faucher de l'herbe tous les jours pour la distribuer à l'auge. Cette pratique élémentaire est évaluée à même part de prairie dans la sole fourragère d'une exploitation, seule le mode et l'intensité de valorisation de l'herbe produite varie.

Avec des animaux à besoin modéré il est tout à fait possible d'accroitre la saison de pâturage même en zone de montagne. La pratique du « plein air intégral » utilise cette possibilité avec distribution de fourrages complémentaires. C'est aussi possible pour les vaches laitières dans de nombreuses régions où il y a une production modérée d'herbe tôt en saison ou tardivement en automne. Sans être pâturée, cette biomasse est perdue alors qu'elle ne coûte rien à produire. Ainsi dans l'Ouest océanique des productions de l'ordre 10 à 20 kg MS/ha sont enregistrées à partir de la mi-février (Defrance et *al*., 2005, données Agrotransfert Bretagne). La production d'herbe à ces périodes peut en outre s'accroître à l'avenir avec le réchauffement climatique. Cette pratique a en outre des effets positifs en facilitant la conduite du pâturage plus tard en saison du fait de la présence d'un couvert végétal qui contient une proportion plus importante de feuilles vertes et moins de tissus morts. L'allongement de la saison de pâturage peut aussi avoir lieu en automne.

La conduite du pâturage se complique avec l'accroissement de la taille des troupeaux de vaches laitières. En fait, ce n'est pas la taille du troupeau en elle-même qui pose problème puisque de très grands troupeaux (400 VL et plus) pâturent en Nouvelle Zélande et en Angleterre. La difficulté vient principalement du manque de surface accessible depuis la salle de traite et de l'éclatement grandissant du parcellaire des exploitations. Dans ces conditions, il y est aussi tout à fait possible de maintenir du pâturage mais à temps partiel toute l'année et combiné avec un apport limité de fourrage à l'intérieur pour valoriser au maximum l'herbe disponible sans gaspiller le fourrage conservé (Delaby et *al*., 2009a), le pâturage peut ici être considéré comme un complément à l'ensilage de maïs et qui permet des économies de concentré. Cette pratique du pâturage à temps partiel complémenté avec une quantité de fourrage bien ajustée permet aussi de mieux maîtriser les variations de la production laitière inhérente aux périodes de plein pâturage et qui sont souvent mal vécues par les éleveurs.

L'accroissement de la pratique du pâturage ne modifie pas la production des animaux ou peu même l'augmenter. C'est notamment le cas lors de l'extension du pâturage tôt au printemps ou tard en automne, plusieurs travaux ont montré que l'accès au pâturage quelques heures par jour en complément d'un fourrage distribué à volonté à l'auge permet d'accroître la production de lait (de 1 à 3 kg lait/j selon les essais) tout en réduisant la consommation de fourrages conservés (de 3 à 5 kg/j) et ainsi le besoin de récolte et stockage (Peyraud et *al*., 2010). Le pâturage améliore aussi la qualité des produits avec un enrichissement en oméga 3 des produits animaux (Couvreur et *al*., 2006).

L'augmentation de la pratique du pâturage, en donnant accès à un fourrage à très faible cout et en limitant en plus le besoin de réaliser des stocks ou des fauches quotidiennes limite fortement les charges variables et comme dans le même temps le chiffre d'affaire se maintient voire augmente, la valeur ajoutée s'accroit ainsi que la rentabilité, l'EBE et tous les autres ratios des performances économiques. Il n'y a aucun effet sur l'amortissement, ce serait même l'inverse. Le développement du pâturage peut être envisagé pour limiter les investissements en machine (voire en bâtiments).

Au pâturage, l'animal récolte lui-même son fourrage et épand ses déjections, il y a donc des économies de consommation d'énergie directe. En contribuant à limiter le besoin en fourrages de stock et/ou en limitant le besoin de concentré, notamment en tourteau de soja puisque l'herbe est un fourrage riche en protéines, la pratique contribue aussi à limiter la consommation d'énergie indirecte. La consommation d'eau de boisson tend aussi à diminuer mais l'effet est sans aucun doute beaucoup plus modéré que pour les postes d'énergie.

Du fait de la restitution des déjections sur les parcelles, l'augmentation de la pratique du pâturage peut contribuer à accroitre la teneur en MO des sols par contre elle peut avoir un effet négatif sur le compactage en cas de piétinement excessif des parcelles, notamment en période très humide. Ici l'effet sera fonction des décisions de l'éleveur, dans le cas de l'allongement des saisons de pâturage au printemps ou automne ; les Anglais et les Irlandais qui ont beaucoup travaillé sur cette technique conseillent de ne pas sortir les animaux tous les jours.

L'accroissement de la pratique du pâturage peut potentiellement accroitre le risque de fuite de nitrate mais celles-ci ne s'accroissent, de fait, que pour des situations où les chargements sont très élevés (Vertes et *al*., 2007). Par contre il reste à mieux préciser l'effet du pâturage tardif d'automne sur les risques de pertes d'azote, des pertes importantes de nitrate mais aussi de protoxyde d'azote ont été rapportées pour des pâturages intervenant en conditions tardives et humides (De Klein et Eckard., 2008). Cette pratique élémentaire étant raisonnée à même surface en prairie dans la sole elle n'affecte pas l'utilisation des produits phytosanitaires et le ruissellement de phosphore.

L'augmentation de la pratique du pâturage réduira les émissions de NH_3 celles-ci étant toujours plus faibles au pâturage qu'en bâtiment (Peyraud et *al*., 2012) du fait de l'absence des transformations chimiques primaires associées aux mélanges (lisiers, fumiers et composts) et à la phase de stockage. Il n'y a pas d'effet sur les émissions de GES sauf si les pertes de N_2O intervenant sur pâturage d'automne en conditions humides sont confirmées.

Le temps de travail est en général réduit avec le pâturage, mais si la configuration de l'exploitation n'est pas bien adaptée (circulation des animaux dans le bâtiment pour sortir, parcellaire), la pratique de rations où les animaux sont une partie du temps dehors et une autre partie à l'intérieur peut accroitre sensiblement le temps de travail. Dans tous les cas cette pratique est plutôt favorable au bien-être des animaux.

B2.8 - Réduire le chargement animal sur les surfaces fourragères

Le chargement animal se raisonne en fonction de la surface disponible en fourrage pour nourrir le troupeau. Il est donc fonction des potentialités agronomiques des sols et du niveau de fertilisation azotée des fourrages qui déterminent les productions fourragères escomptées. Réduire légèrement le chargement en adoptant un chargement « sous optimal » doit permettre d'augmenter la part des fourrages, dont le pâturage, dans l'alimentation du troupeau et de dégager des marges de sécurité pour faire face aux aléas. Cette pratique est généralement mise en œuvre par l'élargissement des surfaces fourragères, en fait des surfaces en herbe, mises à disposition des troupeaux. Elle peut aussi être mise en œuvre par une réduction modérée de l'effectif du troupeau à même surface disponible. Dans les zones herbagères déjà peu chargées, la réduction du chargement est assez facile à mettre en œuvre car la surface n'est en général pas un facteur limitant des exploitations et cette pratique ne s'accompagne pas d'une modification d'usage des surfaces qui restent enherbées. En zone de plaine plus intensive, l'accroissement de la surface fourragère se réalise au détriment des surfaces en cultures annuelles. La pratique élémentaire « réduire le chargement » doit alors être mise en œuvre en association avec la pratique élémentaire « augmenter la part des prairies dans la sole ». Elle est aussi fort logiquement associée à la pratique élémentaire « augmenter la pratique du pâturage ». Elle peut alors conduire à un changement important du système de production, si les surfaces en cultures annuelles disparaissent totalement. Des éleveurs ont été précurseurs dans cette voie. A titre

d'exemple citons le groupe d'éleveur du réseau du CEDAPA et un groupe d'éleveurs laitiers intensifs des Réseaux d'Elevage des pays de Loire qui a été étudié par l'institut de l'élevage et l'Inra (Brunschwig et *al*., 2001).

La réduction du chargement modifie peu ou pas la production du troupeau lorsqu'elle est simplement liée à un accroissement de la surface fourragère (éventuellement au détriment de celle des cultures de vente). Elle la réduit par contre nettement si le nombre d'animaux est réduit. La qualité des produits reste inchangée. Par contre en cas de changement d'affectation des surfaces il faudra aussi intégrer la réduction de la production de cultures annuelles pour évaluer la production totale de l'exploitation.

La réduction du chargement a pour objectif de réduire les charges variables d'élevage en permettant de réduire le besoin en aliments complémentaires et aussi de réduire la sensibilité du système aux aléas climatiques et donc le besoin d'achat exceptionnel d'aliments en période climatique difficile (par ex en cas de sécheresse prononcée). Cet effet sur la réduction des charges pourra être encore accru au niveau du système car la baisse du chargement s'accompagne assez naturellement d'une réduction de la fertilisation. En conséquence la valeur ajoutée et l'EBE sur l'activité élevage peuvent être maintenus voire légèrement améliorés comme cela a été observé dans le cas des élevages allaitants de montagne (Thériez et al 1997) mais elle peut aussi être réduite légèrement lorsque les chutes de production ne sont pas compensées par les économies sur les charges variables et sont même fortement réduites si la pratique se réalise aussi par une baisse des effectifs d'animaux. En conséquence la rentabilité et les autres critères des performances économiques sont variables selon les conditions et contextes de mise en œuvre. Il faut noter que les effets de cette pratique sur les performances économiques d'une exploitation de polyculture élevage dépendront fortement du prix des céréales et risquent d'être très négativement affectées dans un contexte de prix des céréales élevées. Cette pratique n'affecte pas l'endettement ni la transmissibilité.

La réduction du chargement n'affecte pas la consommation d'énergie directe par contre elle réduit fortement la consommation d'énergie indirecte du fait de la réduction des achats d'aliments complémentaires. La consommation d'eau de boisson se réduit marginalement dans la mesure où les animaux valorisent plus d'herbe qui est un fourrage très aqueux.

La baisse du chargement a un effet direct positif sur la limitation du risque de compactage des sols. Elle n'aura pas d'effet sur les autres caractéristiques des sols. Des effets indirects pourront être obtenus s'il y a une modification de l'usage des sols qui sont alors ceux pris en compte dans la pratique élémentaire « augmenter la part des prairies dans la sole ».

L'intérêt de la réduction du chargement sur les risques de fuites de nitrates a été bien mis en évidence (Peyraud et *al*., 2012). La réduction du chargement réduit aussi les risques de ruissellement de P puisque les quantités de P mises en jeu par ha diminuent. La pratique n'affecte pas l'utilisation de produits phyto *per se* mais les réduira indirectement quand elle sera associée à la pratique « augmenter la part des prairies dans la sole ». L'utilisation des produits vétérinaires n'est pas affectée sauf bien sur si la réduction du chargement s'accompagne d'une réduction du nombre d'animaux.

Les émissions de GES sont réduites en lien avec la réduction des achats d'aliments et d'autant plus si le nombre d'animaux est réduit. Les émissions de NH3 et d'odeur ne sont pas affectées directement. Notons toutefois que les émissions de NH3 seront réduites si la réduction du chargement est associée à la pratique élémentaire « augmenter la pratique du pâturage ». Il n'y a pas d'effet de la diminution du chargement sur la biodiversité.

Le temps de travail n'est pas affecté sauf en cas de réduction du nombre d'animaux où il diminue. Le bien-être des animaux n'est pas affecté.

B2.9 - Améliorer la qualité des fourrages conservés (accroitre la valeur alimentaire et réduire les pertes à la conservation)

La constitution de stocks de fourrages conservés est indispensable pour alimenter les animaux au cours des périodes durant lesquelles la croissance des plantes prairiales s'arrête ou bien est insuffisante pour nourrir le troupeau, périodes hivernales dont la durée varie de 3 à 6 mois selon les régions mais aussi périodes de sécheresse estivale. Ces stocks peuvent être constitués au moment où la pousse de l'herbe excède les besoins des animaux, essentiellement au printemps donc, et à partir de cultures dédiées comme le maïs fourrage. Conserver un fourrage suppose de stabiliser le matériel vivant du fourrage vert qui le constitue initialement pour conserver au mieux la valeur nutritionnelle de l'herbe qui est élevée et de limiter les pertes à toutes les étapes. En pratique, ces pertes sont importantes et peuvent représenter plus de 20% de la matière sèche initiale. Plusieurs modes de conservation sont possibles (voie sèche, humide ou combinée), pour lesquels on dispose maintenant d'une large palette de techniques, permettant de réaliser des fourrages conservés à des teneurs en matière sèche variant de 20 à 85%. On a tout intérêt à accroitre la valeur des fourrages conservés pour limiter le recours aux aliments concentrés achetés toujours plus onéreux et ce d'autant plus que les coûts de récolte ne sont pas fonction de la qualité du fourrage produit.

Des différences existent selon les types de fourrages conservés. Globalement les foins auront une valeur énergétique toujours sensiblement plus faible que le fourrage initial (de l'ordre de 10 à 20%) du fait du fanage qui consomme les glucides solubles des plantes par respiration avant que les cellules ne meurent mais leur ingestibilité (c'est-à-dire l'aptitude du fourrage à être ingéré en quantité importante) reste proche de celle de l'herbe initiale du fait du rôle important de la teneur en MS du fourrage sur l'ingestion. Inversement les processus de fermentation dans les silos modifient peu la digestibilité car les constituants volatils issus de la fermentation des glucides solubles sont aussi très digestibles mais ces processus réduisent l'ingestibilité du fait de la présence des produits de fermentation (Demarquilly et *al*., 1998) ; ils réduisent aussi sensiblement la valeur azotée car les protéines du fourrages sont partiellement dégradées et solubilisées ce qui accroit leur dégradabilité dans le rumen et réduit *in fine* la quantité d'acides aminés digérés dans l'intestin. La variabilité est importante intra type de fourrage et des moyens d'actions permettent d'améliorer la qualité des fourrages, ils concernent le fourrage et la récolte *per se* sachant que le point le plus important reste d'organiser le chantier au bon moment.

- Dans le cas des foins, il est important de réussir un séchage rapide (intérêt d'avoir des andains large et peu hauts) et d'éviter que les opérations mécaniques de fauche, conditionnement, andainage et pressage n'endommagent la partie feuillue du fourrage, les pertes de feuilles touchant d'avantage les légumineuses que les gaminées en raison de la fragilité du lien entre les tiges et les feuilles (Vignau-Loustau et Huyghe, 2008). La teneur en MS du fourrage doit être supérieure à 80% avant d'être pressé pour éviter les échauffements. En conditions climatiques défavorables, l'utilisation d'un conservateur pour foin (acide propionique en particulier) est une solution alternative qui connaît un regain d'intérêt (Baumont et *al*., 2011). Mais c'est le séchage par ventilation en grange qui permet d'obtenir les meilleurs résultats car il réduit considérablement la durée de la respiration ce qui limite les pertes de valeur énergétique à 10% et maintient la valeur azotée très proche de celle du fourrage vert initial et diminue la dépendance au climat. Le séchage en grange connaît un regain d'intérêt dans plusieurs régions (Ségrapho 2008, Pole AOC Massif Central, 2008), en particulier du fait de l'interdiction des fourrages fermentés dans certains cahiers des charges d'AOP fromagères et de l'apparition de nouveaux équipements permettant d'utiliser l'énergie solaire et la technique de déshumidification. Il permet aussi d'avancer les dates de récolte par rapport aux foins séchés au sol ce qui contribue également à la réalisation de fourrages de bonne valeur alimentaire.
- L'ingestibilité des ensilages est améliorée par une acidification rapide du silo ce qui est favorisé par l'utilisation de plantes ayant des teneurs en glucides solubles plus élevées (des variétés de ray grass sont sélectionnées sur la base de leur teneur en sucre dans ce but) mais l'utilisation de conservateurs acides restent la solution la plus efficace (Baumont et *al*., 2011). Une autre façon

d'obtenir des ensilages plus ingestibles est d'élever la teneur en MS avant la mise en silo par un préfanage (30% de MS), un fanage jusqu'à 40-50% de MS permettra en outre de limiter la dégradabilité des protéines. A ce stade le fourrage peut être conservé en balle ronde enrubannées ce qui facilite le chantier de récolte et explique le succès de cette technique depuis une dizaine d'années. Le préfanage et les balles rondes permettent aussi de limiter les pertes de MS en réduisant les pertes gazeuses et en supprimant les pertes sous forme de jus.

- Le maïs est un fourrage relativement facile à conserver, c'est ce qui fait son succès avec les bons rendements généralement observés. Les conditions du succès de l'ensilage sont connues, le choix de la précocité de la variété et de la date de récolte sont déterminant pour maintenir la quantité et la qualité du fourrage produit au champ ; l'objectif est de récolter une plante entre 30 et 35% MS plante entière. La finesse de hachage a deux objectifs apparemment contradictoires : hacher fin pour faciliter le tassement du silo et laisser des brins assez longs pour la mastication des vaches un ensilage bien haché est un ensilage dont la coupe est franche, fine sans excès. Les pertes seront minimales (7-8%) pour des silos bien tassés et si le front d'attaque avance vite (silo bien dimensionné par rapport à la taille du troupeau) et plus élevées (15-18%) dans le cas contraire (Carpentier et Cabon, 2011). Le maïs fourrage est d'abord source d'énergie pour la vache laitière ; il nécessite d'être justement complémenté en protéines et en minéraux (Gueguen et al, 1988) pour apporter à l'animal une ration équilibrée. Une innovation majeure serait de réussir des cultures associant le maïs et une légumineuse comme cela se pratique dans certains pays.

L'amélioration de la qualité des fourrages va accroitre la production du troupeau toute chose égale par ailleurs mais cette pratique peut aussi être utilisée pour réduire la quantité de concentré distribuée tout en maintenant un même niveau de production. Elle améliore aussi la qualité des produits, d'abord en réduisant tout risque d'accumulation de toxines (issues de moisissure sur les fourrages) et en permettant d'accroitre leur teneur en AG poly insaturés car les mauvaises conditions de conservation s'accompagnent aussi d'un accroissement des phénomènes d'hydrogénation des acides gras des fourrages. Dans le cas de la production laitière, la teneur en protéine du lait peut augmenter en réponse à l'amélioration de la valeur énergétique et azotée du fourrage.

Cette pratique élémentaire ne modifie pas les charges variables liée à la récolte ou la distribution du fourrage, mais elle peut par contre conduire à une économie sur le poste des concentrés. Seules certaines techniques de séchage comme la déshydratation peuvent accroitre le cout du fourrage mais il s'agit alors d'investissements collectifs (coopératives) et alors nécessairement raisonnés pour réduire les apports de concentrés. Comme dans le même temps la production animale et la qualité des produits s'accroissent, la valeur ajoutée et l'EBE s'accroissent. La rentabilité peut s'accroître. Cette pratique ne modifie le plus souvent pas le poste d'investissement car il s'agit d'ajuster au mieux les techniques mais en cas de changement de méthode de conservation, des investissements peuvent s'avérer nécessaire ce qui conduira alors à réduire le RCAI, au moins à court et moyen terme, et accroitre la dépendante aux aides, surtout des aides sont octroyées pour ces investissements (pour le séchage en grange par exemple).

L'amélioration de la qualité des fourrages va contribuer à réduire la consommation d'énergie indirecte puisqu'il y a besoin de moins de concentré pour un même volume de production. Elle n'affecte pas sensiblement la consommation d'énergie directe lors de la récolte mais l'accroître au moment de la distribution si le troupeau mange plus de fourrage (opération de reprise et de distribution). Pour les même raisons cette pratique élémentaire peut accroitre le temps de travail.
L'amélioration de la qualité des fourrages réduit les émissions de GES par unité produite car la production de méthane entérique est d'autant plus faible que le fourrage est plus digestible et en second lieu parce qu'elle peut permettre de limiter les quantités de tourteau de soja nécessaires pour équilibrer les rations.

L'amélioration de la qualité des fourrages n'aura en général que peu d'effet sur la santé de l'animal sauf dans le cas où elle permet d'éviter des intoxications dues aux toxines présentes dans des fourrages réellement très mal conservés.

Enfin en zone de montagne, cette pratique élémentaire peut contribuer à limiter les surfaces semi naturelles car récolter un bon fourrage signifie de récolter tôt ce qui limite la présence de fleurs et d'habitats pour les espèces d'insectes et de petits mammifères. Les autres performances ne sont pas affectées.

B2.10 - Produire des aliments à la ferme ou issus de fermes voisines

La fabrication d'aliments à la ferme (FAF) est surtout le fait des élevages porcins, et concerne moins les éleveurs de volaille de chair car elle risque de réduire le rendement de l'animal du fait d'une formulation non optimale ; elle se justifie d'autant plus aujourd'hui du fait de la hausse des cours des matières premières et cette pratique a toujours été particulièrement adaptée aux élevages biologiques en raison du coût élevé des concentré issus de l'AB lorsqu'ils sont achetés à l'extérieur. La FAF permet à l'éleveur d'être plus autonome mais cette autonomie est obtenue en contrepartie d'investissements et de temps de travail. La FAF modifie l'ensemble du fonctionnement de l'exploitation, ainsi que l'utilisation des surfaces pour produire les matières premières nécessaires, ou encore le métier d'éleveur ; elle est à penser dans une structure globale d'exploitation. La taille d'élevage doit permettre d'amortir l'investissement initial en équipements de stockage des graines récoltées, broyage, mélange, stockage, transfert des aliments.... Selon la chambre d'agriculture de Bretagne (2011) il faut viser un niveau d'amortissement inférieur à 12 €/tonne d'aliment sur la base d'un amortissement sur 10 ans et prévoir un dimensionnement de l'installation pour préparer 7 tonnes d'aliment par truie et par an (1,4 tonne par truie, 0,8 t d'aliment porcelet et 5,0 à 5,4 tonne pour les porcs charcutiers).
La FAF ne modifie pas les performances des porcs ou des ateliers de pondeuses, du moins si les équilibres nutritionnels sont bien respectés. Pour cela l'éleveur peut/doit faire appel à des techniciens spécialisés pour l'aider dans la formulation de ses aliments et peut avoir besoin d'acheter des matières premières ou des acides aminés de synthèse à l'extérieur. Il semble plus difficile de maintenir les performances en production de poulet, sauf à adapter les souches utilisées, mais ce qui est difficile en pratique. Elle ne modifie pas la qualité des carcasses. Le besoin de réaliser des aliments équilibrés conduit à diversifier les cultures, notamment par l'introduction légumineuses et protéagineux dans les rotations. Cette diversification peut s'envisager au sein de l'exploitation ou dans des exploitations voisines.

La justification de la FAF est de réduire les charges variables. Le prix de la FAF reste toujours inférieur au prix des aliments achetés sauf lors de la survenue d'événements ponctuels. En 2011, la marge sur coût alimentaire était de 771 et 1006 €/truie respectivement en achat à l'extérieur et en FAF (source GTE-IFIP). A même production animale, la valeur ajoutée s'accroit ainsi que la rentabilité et l'EBE. Par contre les charges financières réduisent le RCAI et la dépendance aux aides au moins les premières années. Sur un raisonnement strictement économique, l'atelier est moins transmissible mais inversement la plus grande autonomie alimentaire peut être très attractive pour un repreneur.

La FAF accroit toujours la consommation d'énergie directe à la ferme du fait de la consommation électrique engendrée mais elle réduit la consommation d'énergie indirecte liées à l'utilisation des aliments achetés.

Le temps de travail est accru, la chambre de Bretagne estime qu'il faut 25 min par tonne d'aliment ce qui représente 1 à 2 h par jour pour un atelier de naisseur engraisseur de 100 truies. Par contre cette pratique élémentaire permet de limiter l'exposition aux aléas des cours des matières premières.

B3 - Ressources non concurrentes des autres productions

B3.1 - Accroître l'utilisation de matières premières à moindre concentration énergétique et/ou protéique

Toujours pour réduire les couts liés à l'alimentation des troupeaux, il est possible de valoriser des matières premières et coproduits divers issus des industries betteravières (pulpe fraiche), de brasserie (drêches), légumières (pommes de terre, endives, déchets d'oignons), fruitières (pommes) ou d'industrie boulangère ou pâtissière dans l'alimentation des animaux. Les coproduits des agro carburants (drèches de blé entre autre) peuvent aussi être valorisés. Les ruminants sont les plus adaptés pour valoriser ces co-produits souvent riches en constituants pariétaux et dans une moindre mesure les truies, puis le porc en croissance. Les coproduits des industries boulangère et pâtissière sont bien valorisés en élevage de porc. En outre de nombreux rapports pointent aujourd'hui du doigt la concurrence des animaux pour l'utilisation des ressources qui pourraient être directement incorporées dans l'alimentation humaine et la valorisation de ces coproduits peut contribuer à l'image des productions animales. Les possibilités d'utilisation dépendront beaucoup des aides accordées au produit primaire (cas de l'éthanol) et de leurs effets sur les indices de consommations en atelier de monogastrique ; elles dépendront aussi de la disponibilité du co-produit sur le marché, l'utilisation d'un certain nombre de co-produit est de ce fait beaucoup plus courante dans les zones céréalières ou à proximité des zones légumières.

L'incorporation de ces matières premières va pénaliser les performances des animaux les plus productifs, notamment chez les monogastriques où elle peut nécessiter d'utiliser des souches à vitesse de croissance plus modérée dans le cas des volailles. Par contre la production peut être maintenue en ruminants du moins tant que le taux d'incorporation dans la ration reste modéré. De même la qualité des produits peut être légèrement dégradée si elles sont introduites en forte quantité chez les ruminants

L'introduction de ces matières première a pour premier objectif de réduire les charges variables liées à l'alimentation. Comme dans le même temps la production animale peut être réduite, la valeur ajoutée pourrait baisser mais de fait l'utilisation de ces produits ne se fera que si le revenu est au moins maintenu et donc on peut admettre qu'au pire la valeur ajoutée sera maintenue et qu'elle sera souvent améliorée, ce qui est sans doute plus facile à obtenir dans le cas des ruminants. Il en est de même pour les autres critères des performances économiques.

Les matières premières étant plus riches en constituants pariétaux, elles risquent d'accroitre la production de méthane et donc les émissions de GES, au mieux elles ne les affecteront pas ; par contre elles peuvent contribuer à limiter les émissions de NH_3 dans le cas où les matières premières sont pauvres en protéines, mais ce n'est pas le cas de toutes.

En termes d'énergie indirecte, les produits considérés dans cette pratique élémentaire ont un coût énergétique plus faible (au sens où celui-ci a déjà été comptabilité lors de la fabrication du produit principal dont ils sont issus). En revanche, chez les monogastriques notamment, il peut y avoir besoin de rééquilibrer la ration par ailleurs et donc consommer un supplément d'aliment.

Cette pratique élémentaire peut contribuer à réduire le travail en évitant d'autres chantiers de récolte.

Ces matières premières étant directement importées sur l'exploitation, elles n'auront aucun effet sur la qualité des sols ou de l'eau.

B3.2 - Produire et valoriser par les animaux des cultures intermédiaires

Le rôle des Cipan pour réduire les risques de nitrate est avéré depuis longtemps (Simon et Le Corre, 1988). Les Cipan captent l'azote minéral résiduel du sol avant la période de drainage, puis en restituent une partie à la culture suivante. Les Cipan sont d'ailleurs largement intégrées aux pratiques, en particulier dans les zones vulnérables (Peyraud et *al*., 2012). La moutarde apparaît particulièrement efficace en absorber 80 kg N/ha en seulement 2 à 3 mois de croissance (Justes et *al*., 2012). Mais les surfaces en inter cultures peuvent aussi être semées de cultures simples (par ex colza fourrager) ou des mélanges plus complexes (avoine, vesces, radis, pois etc..) qui sont tout à la fois des plantes pièges à nitrates et ayant des valeurs nutritionnelles pouvant convenir à des ruminants. Ces fourrages peuvent être soit directement pâturés soit récoltés en verts et distribués à l'auge. L'ensilage est difficile car ils sont souvent très riches en eau et la période de végétation est peu propice à la récolte de fourrages conservés. A côté des Cipan, les associations de céréales et protéagineux implantées à l'automne permettent de produire 10 à 11 t de MS d'un fourrage à ensiler en juin avec peu ou pas d'engrais azotés ni de produits phytosanitaires tout en assurant une couverture hivernale des sols (Naudin et *al*., 2010). Toutefois, la valeur du fourrage produit reste assez modeste (Emile et *al*., 2011). En outre, les résultats varient avec les céréales utilisées, le blé réduisant fortement le rendement par comparaison à un triticale imberbe. Il reste aujourd'hui un manque de connaissances sur les potentialités de différentes espèces ou associations d'espèces pouvant être utilisées en cultures dérobées pour valoriser l'azote disponible dans le sol ou fixé par symbiose, tout en produisant un fourrage de qualité et limitant le risque de développement des pathogènes.

Deux cas de figures se présentent pour analyser cette pratique élémentaire qui peut correspondre soit à une réorientation des surfaces implantées en Cipan vers une seconde utilisation, soit la mise en place de culture (cipan ou céréales immatures) qui ne seraient pas mise ne place si l'usage pour l'alimentation des troupeaux n'avait pas lieu.
Ces fourrages ne modifient pas les performances des animaux à faible besoins (vaches et brebis allaitantes, génisses…). Elles peuvent pénaliser les productions des animaux à besoins plus élevés comme les femelles en lactation. En revanche la qualité des produits ne semble pas affectée dans l'état des connaissances.

Ces cultures intermédiaires vont réduire les charges variables liées à l'alimentation si elles sont déjà implantées comme Cipan et que seule la finalité de la culture évolue d'engrais vert en aliment pour les animaux, surtout si les surfaces concernées sont pâturées. Si les cultures sont mises en place spécifiquement pour l'alimentation, elles réduisent d'autant plus les charges en accroissant l'autonomie alimentaire de l'exploitation (et donc réduisent l'aléa). La valeur ajoutée, la rentabilité est les autres résultats économiques sont plutôt positivement affectés.

La pratique élémentaire va entraîner une consommation supplémentaire d'énergie fossile si elle correspond à l'implantation de culture, notamment dans le cas des céréales immatures où il faut aussi récolter le fourrage mais n'affectera pas ce poste si les surfaces de Cipan sont pâturées. Par contre dans tous les cas la consommation d'énergie indirecte est réduite puisque la consommation de ces fourrages permet de réduire l'utilisation des concentrés. La culture de céréales immature permet aussi de produire un fourrage en période ou l'eau n'est pas limitante, elle permet donc de réduire l'usage de l'irrigation par rapport à une culture de maïs au moins dans certains territoires.

L'implantation ou la récolte de ces cultures n'affectera pas le compactage sauf si la récolte se fait par temps humide ce qui peut souvent être le cas pour les Cipan. Par contre la couverture du sol en période hivernale limite les risques d'érosion et l'effet des Cipan sur la teneur en MO des sols est reconnue (Juste et *al*., 2012).

Les Cipan permettent de limiter les fuites de nitrate, c'est même leur première fonction mais aucun autre effet sur la qualité de l'eau n'est attendu. Il n'y a pas non plus d'effet particulier sur la qualité

de l'air si ce n'est que l'utilisation de céréales immatures peut réduire les émissions de NH3 en bâtiment puisque c'est un fourrage pauvre en protéine et que le pâturage des Cipan peut réduire les émissions en limitant le temps de présence des animaux à l'intérieur. Inversement leur distribution en alimentation en vert pourra accroitre les émissions.
L'introduction d'une diversité de fourrages en Cipan est un facteur concourant à la diversité des cultures.

La charge de travail est toujours accrue, surtout s'il faut implanter les cultures. Dans le cas contraire, la conduite du pâturage sur Cipan alourdit le travail et surtout le complique car durant ces périodes de l'année les animaux ne peuvent sortir que quelques heures par jour ce qui nécessite de manipuler les troupeaux.
Il n'y a pas d'effet particulier à attendre sur la santé et le bien-être des animaux et la consommation de produits vétérinaires.

B4 - Conduite de l'alimentation

Cette pratique ne concerne que les modalités de distribution d'une même ration dans les bâtiments. Elle n'aura donc aucun effet sur les critères relatifs à la qualité des sols et à la biodiversité. Les différentes pratiques élémentaires correspondent à des automatisations de plus en plus poussées et surtout à un ajustement de plus en plus fin des apports alimentaires aux besoins des troupeaux.

B4.1 - Diminuer la fréquence de distribution des rations

La distribution des rations est une charge de travail importante en élevage de ruminants notamment du fait de la manipulation des fourrages. Une nouvelle pratique se fait jour consistant à ne distribuer le fourrage qu'à quelques reprises dans la semaine (2 à 3 fois) plutôt que de le faire quotidiennement (Huchon et *al.*, 2006). Cette pratique nécessite alors de distribuer des quantités importantes correspondant à plusieurs jours de consommation puis de rapprocher régulièrement le tas pour que le fourrage soit accessible aux animaux au fur et à mesure de la consommation des quantités distribuées. Le rapprochement du tas peut se faire manuellement (mais on perd une grande partie de l'avantage) ou par un système de rapprochement de fourrage automatisé. Un tel dispositif a été testé à la station expérimentale de Trévarez.

Le premier intérêt de cette technique est de réduire le temps de travail. Cette pratique élémentaire ne modifie pas les performances de l'animal du moins si le fourrage est toujours accessible en quantité suffisante pour couvrir les besoins des animaux. Elle ne modifie pas non plus la qualité des produits puisque la composition de la ration n'est pas changée. Pour la même raison, les émissions de P et de N (NH_3 et N_2O) par les animaux ne sont pas affectées non plus.

La pratique élémentaire réduit aussi la consommation d'énergie directe puisque les machines de reprise et de distribution des fourrages sont moins souvent sollicitées et même si la consommation d'électricité est accrue par le fonctionnement du mécanisme de rapprochement du fourrage consomme un peu d'électricité. Au final les émissions de GES sont légèrement diminuées.

Les couts de distribution de la ration peuvent être considérés comme stables (économie de fuel compensée par la dépense en électricité) et donc, à production animale constante, la VA, la rentabilité et l'EBE ne varient pas sensiblement. Par contre pour vraiment économiser du travail, cette pratique élémentaire nécessiter d'investir dans un système pour repousser régulièrement le fourrage ce qui réduit le RCAI et accroit la dépendance aux aides. Les investissements restant relativement modérés, ils n'ont vraisemblablement pas d'effet sur la transmissibilité de l'exploitation.

B4.2 - Automatiser la distribution des rations

Cette pratique consiste à utiliser des systèmes automatisés qui assurent la distribution des aliments. On peut citer l'exemple des machines à préparer et distribuer l'aliment sous forme de soupe à des porcs. En élevage de ruminants, l'automatisation revêt plusieurs formes. Initialement les distributeurs automatiques de concentrés sont apparus dans les années 80 et ont permis de distribuer automatiquement le concentré (mais que lui) aux vaches, plus récemment les remorques mélangeuses permettent de mixer le fourrage et le concentré en une ration homogène distribuée en une fois. Très récemment sont apparus sur le marché des automates qui se chargent en fourrage depuis un silo dit « tampon » (situé entre les grands silos de conserve et le troupeau, et que l'éleveur doit quand même remplir), puis amènent la ration directement aux animaux.
Evidemment, le premier résultat de ces systèmes est de réduire très sensiblement le temps de travail. Ils ne modifient ni la production des animaux, ni la qualité des produits et comme la composition de la ration n'est pas modifiée par rapport à une distribution manuelle, il n'y a pas de raison que les émissions des animaux notamment de P, NH_3 ou de N_2O soient affectées. Par contre ces systèmes accroissent la consommation d'énergie directe mais comme c'est essentiellement sous forme d'électricité, les émissions de GES associées ne seront que très marginalement réduites, le cout GES de l'électricité étant faible en France du fait de son origine majoritairement nucléaire.

Les couts de distribution de la ration s'accroissent du fait de l'accroissement de la consommation électrique même si cet effet est sans doute de faible ampleur, la VA, la rentabilité et l'EBE diminuent donc également. Comme cette pratique élémentaire requiert des investissements la chute du RCAI est plus forte et la dépendance aux aides s'accroit. L'effet sur la transmissibilité est sans doute variable, car l'automatisation et la réduction du temps de travail qu'elle procure peuvent être un véritable atout pour une reprise d'exploitation en dépit des charges financières.

B4.3 - Distribuer l'alimentation par groupes d'animaux homogènes

Les rations sont calculées (voir les logiciels Inration ou Inraporc) pour un animal moyen du troupeau. Lorsque celui-ci est hétérogène, chaque animal ne reçoit alors pas des apports totalement adaptés à ses besoins. La constitution de lots d'animaux plus homogènes permet de réduire ces déviations. Les lots peuvent être constitués sur des critères différents selon les espèces et sur la base du poids, de l'âge, du stade de lactation etc… L'alimentation multi phases en porc est un exemple de cette stratégie, la teneur en protéines de l'aliment étant adaptée en fonction du poids de lot concerné. En élevage laitier, des éleveurs constituent des rations différentes pour des groupes d'animaux en début ou en milieu de lactation, ou pour les vaches taries.

L'ajustement plus précis des apports peut permette de gagner légèrement en productivité des animaux mais ce n'est pas toujours le cas, notamment en élevage laitier. Ainsi, lorsqu'une même ration est distribuée à volonté à des lots d'animaux avec des niveaux de production hétérogènes, les animaux ont la possibilité d'adapter leur niveau d'ingestion en fonction de leur besoin. La qualité des produits n'est pas affectée.

Cette modalité de distribution, en étant plus précis sur les apports au niveau de chaque classe d'animaux peut permettre de limiter les quantités totales d'aliments distribués et donc l'énergie indirecte associée ou au pire ne les modifient pas. Il en est de même pour les apports de protéines et de P et donc la méthode peut limiter les rejets de P et d'azote et donc les émissions de NH_3 et de N_2O ou au pire ne les affectent pas.

Les charges variables liées au poste de l'alimentation peuvent être réduite dans certaines situations ou ne pas varier. Il en est de même pour tous les ratios des performances économiques sachant que cette pratique élémentaire ne nécessite pas d'investissement (on fait l'hypothèse que l'éleveur n'a pas à reconditionner son bâtiment pour faire de l'alimentation en lot).

Cette pratique élémentaire accroit le temps de travail et surtout le complique, et ce d'autant plus qu'il y a plus de groupes.

B4.4 - Ajuster la distribution de l'aliment à chaque individu par automates (alimentation de précision)

Cette pratique élémentaire pousse au maximum la logique de la précédente. L'objectif est d'ajuster au plus juste les apports en fonction des potentialités de l'animal et des conditions de milieu dans le double objectif d'améliorer la vitesse de croissance des animaux et en même temps de réduire les rejets. Elle est actuellement surtout envisagée en atelier porcin et fait pour l'instant l'objet de travaux de recherches mais n'est pas encore utilisée en pratique.

L'ajustement précis de la ration doit permette de gagner en productivité des animaux, sans qu'il y ait de raison de penser qu'il y aura une modification de la qualité des carcasses.

L'ajustement précis de la distribution va conduire à limiter au maximum les rejets azotés dans l'urine puisque les apports protéiques au troupeau sont calculés au plus juste ce qui en retour va contribuer à limiter les émissions de NH_3 et de N_2O et potentiellement les fuites du nitrate et l'exposition au risque de l'éleveur. La consommation d'énergie indirecte sera réduite au prorata des économies réalisées sur les quantités d'aliments utilisés pour la production. Par contre la consommation d'énergie directe sera accrue, essentiellement la consommation d'énergie électrique, pour le fonctionnement des appareils automatiques de distributions. Au final les émissions de GES diminuent car l'accroissement de la consommation électrique est, vraisemblablement, plus que compensée par la réduction des émissions de N_2O.

La réduction de l'ingestion de protéines s'accompagnera aussi d'une réduction de la consommation d'eau et *in fine* du volume d'effluents comme dans le cas de la pratique élémentaire « limiter les teneurs en protéines des aliments ».

Au final les charges variables liées au poste de l'alimentation vont être réduites et la valeur ajoutée sera accrue du fait de cette économie et d'une production animale plus élevée. La rentabilité, l'EBE vont aussi progresser. En revanche la mise en œuvre de cette pratique nécessitera des investissements relativement lourds (appareils de distributions, calculateurs, capteurs divers) et conduira à des annuités relativement lourdes pénalisant de manière sensible le RCAI, la dépendance aux aides et l'autonomie productive. Sur un plan économique, l'atelier serait moins transmissible mais inversement la technologie et les automatismes en place peuvent favoriser la reprise.

Cette pratique élémentaire va réduire le travail du fait de l'automatisation qu'elle entraine. Il n'y a pas lieu de penser qu'elle affectera le bien-être des animaux.

B5 - Améliorer la qualité nutritionnelle

L'accroissement des teneurs en acide gras poly insaturés de la série n-3 (oméga-3), est considéré comme bénéfique compte tenu de leurs effets sur la réduction du risque de maladies cardiovasculaires et sur le développement des capacités cognitives chez les jeunes mammifères. Il convient donc d'accroître les teneurs en acide linolénique (C18:3 n-3) qui est l'AG de la famille des oméga 3 le plus présent dans les produits animaux. Cet acide gras ne peut être synthétisé par les animaux et doit donc être apporté par la ration. La graine de lin se caractérise par des teneurs élevées en acides linolénique, cet acide gras représentant 54% de l'ensemble de la matière grasse de cette graine (table Inra-AFZ, Sauvant et *al.*, 2002), les autres graines oléo protéagineuses (tournesol, soja, colza) étant caractérisées par des teneurs élevés en acide linoléique (C18:2) ou oléique (C18:1) mais très faible en linolénique

(mois de 5% de leur matière grasse). Du fait de sa richesse en C18:3, la graine de lin a fait l'objet de nombreuses études dans le monde ces dernières années car, mis à part l'herbe pour les ruminants, c'est l'un des rares aliments qui permette des apports importants d'acide linolénique. Incorporées dans les rations, la graine de lin (traitée par extrusion) permet alors d'enrichir les produits animaux, plus exactement les tissus gras (gras sous cutané, gras intramusculaire, matière grasse du lait), en acide linolénique. L'acide linolénique se retrouvera donc en quantités appréciable pour l'alimentation humaine dans de nombreuses charcuteries, les beurres et fromages. La viande aura un rôle de vecteur plus faible car seul le gras intramusculaire est consommé (il est plus important chez les ruminants que les monogastriques), les autres tissus gras étant généralement peu consommés. Le taux de transfert entre l'ingéré et les tissus gras est plus élevé chez les monogastriques que chez les ruminants, où il n'excède pas 2 à 4%, du fait de la présence du rumen ou les lipides alimentaires sont très rapidement hydrolysés et leur acides gras y sont fortement hydrogénés (Chilliard et *al*., 2007). Ces phénomènes digestifs dans le rumen sont aussi à l'origine de certains isomères d'acides gras (des « *trans* ») qui bloquent la synthèse des matières grasses dans la mamelle et contribuent à réduire la teneur en matière grasse totale du lait (Peyraud et al, 2011). A ce sujet, il ne faut pas oublier que la première utilisation des acides gras polyinsaturés dans l'alimentation des ruminants avait pour objectif de maîtriser la production des matières grasses pour gérer les quotas matières grasses dans les années 90, ce n'est qu'ensuite qu'on a découvert leur intérêt pour améliorer la valeur nutritionnelle des produits. Ils expliquent aussi pourquoi les graines extrudées peuvent entraîner une chute du taux butyreux contrairement aux graines crues, sans doute du fait de la formation en quantités plus importante d'isomères *trans* dans le rumen

L'introduction de graines de lin extrudées ne modifie pas la production des animaux (vitesse de croissance, volume de lait produit) mais améliore la valeur nutritionnelle des produits. En revanche, en production laitière, l'utilisation de ces graines s'accompagne d'une réduction de la teneur en matière grasse du lait (Peyraud et *al*., 2011), comme expliqué plus haut

L'introduction de graines de lin extrudées accroit les charges variables compte tenu de prix élevé de l'aliment (ce qui expose à un aléa d'ordre économique). Elle permet en revanche d'accroitre la valeur ajoutée par un meilleur prix de vente des produits qui entrent en général dans la filière « bleu blanc cœur ». Ce constat est toutefois à nuancer d'abord dans le cas de l'élevage laitier où la chute du taux butyreux du lait peut réduire son prix d'achat au producteur si cette chute devient importante, ensuite lors de périodes où le prix des produits animaux est conjoncturellement bas (cas du lait en 2009). La rentabilité et l'EBE dépendront donc directement du rapport entre les écarts de valeur ajouté et le surcout alimentaire. Le résultat est souvent positif mais il peut être négatif à certains moments, notamment en filière laitière Le RCAI et la dépendance aux aides varieront dans le même sens que la rentabilité car cette pratique élémentaire ne nécessite pas d'investissements particuliers pour être mise en œuvre.

Les consommations d'énergie ne seront pas sensiblement affectées, les graines de lin se substituant à d'autres aliments. En revanche, la graine de lin réduit les émissions de méthane par les ruminants, son effet sur les émissions de GES sera plus négligeable pour les autres espèces. La pratique élémentaire n'aura pas d'effets sur les autres performances environnementales au niveau de l'exploitation. Notons toutefois qu'à une échelle plus large la culture du lin graine contribue positivement à la diversification des cultures.

C - Éléments-clefs à retenir

Cette méta-pratique correspond en fait à des pratiques mises en œuvre pour des objectifs différents. Leurs effets sur les performances économiques sont souvent positives ou au moins variables et ne

deviennent négatives que lorsqu'elles nécessitent des investissements conséquents. De nombreuses pratiques élémentaire ont des effets positifs pour la performance « qualité de l'air » avec en particulier une meilleure maîtrise des émissions de NH_3 et de GES (N_2O surtout)

La maîtrise des rejets par l'alimentation a pour objectif de participer à la réduction de l'impact environnemental de l'activité d'élevage. Elle vise à réduire les rejets azotés des animaux, essentiellement les rejets par l'urine qui est la voie naturelle d'excrétion de tout excès d'azote dans la ration des animaux et qui est le premier facteur affectant les émissions de NH_3 (et de N_2O) en bâtiment et donc l'exposition au risque de l'éleveur. En enrichissant les effluents en éléments azotés solubles, cette maîtrise des rejets par l'alimentation rend aussi plus difficile leur gestion et accroît les risques d'émission de nitrate et de N_2O à l'épandage. La réduction de la consommation de phosphore est un second enjeu compte tenu du risque qu'il entraîne sur l'eutrophisation des milieux lorsqu'il est rejeté par l'animal dans les milieux mais aussi parce que c'est une ressource fossile limitée sur la planète et que le prix des phosphates à déjà très fortement augmenté. La réduction des émissions de méthane entérique est un troisième enjeu, qui ne concerne que les ruminants du doigt pour leur contribution importante aux émissions de gaz à effet de serre. Il est important de noter que les pratiques alimentaires qui sont mises en jeu sont toujours rapides à mettre en œuvre, réversibles et n'engagent pas l'exploitation dans la durée. Les techniques sont globalement bien éprouvées et les marges de manœuvre connues, à l'exception toutefois de la réduction des émissions de méthane entérique.

- La réduction de l'excrétion d'azote des animaux par une application rigoureuse des recommandations alimentaire est une voie d'action majeure. Les monogastriques sont plus sensibilisés à la bonne maîtrise de la nutrition des animaux pour des raisons de coût et aussi parce que l'aliment est quantitativement la première source d'entrée d'azote dans l'exploitation. Les progrès sont continus, d'abord avec l'apparition de l'alimentation multi phases, puis la recherche d'un meilleur équilibre entre les acides aminés apportés par le choix des matières premières, et enfin l'utilisation d'acides aminés de synthèse qui permettent de couvrir au mieux les besoins des animaux tout en réduisant les teneurs en azote des rations. La réduction de la teneur en protéine des rations est une stratégie gagnant-gagnant car elle n'affecte pas les productions animales et permet de réduire les couts de production, notamment à un moment où le prix des aliments est très élevé. Le recours aux acides aminés de synthèse peut l'être aussi mais cela dépend du prix relatif des acides aminés et des aliments protéiques. Les marges de manœuvre semblent toutefois plus importantes chez le porc que chez les volailles, les performances semblant se dégrader plus rapidement avec la réduction de la teneur en protéines chez ces dernières. Chez les ruminants, seule l'alimentation en bâtiment est concernée par ces pratiques élémentaire car c'est à ce moment que les effluents sont produits, le pâturage est une situation fondamentalement différente où la teneur en azote de la ration est très difficile à piloter. Les éleveurs prennent souvent des marges de sécurité par rapport aux recommandations d'alimentation. Supprimer ces marges permettrait de réduire rapidement les pertes sans conséquence sur la productivité des animaux et en réduisant les couts de production. Par contre, la voie des acides aminés de synthèse est plus difficile à mettre en œuvre car elle se heurte à des questions technologiques de protection de la dégradation dans le rumen, mais elle permet à contrario d'accroitre la teneur en protéine du lait ce qui est positif. Pour ces espèces, la piste de progrès serait très certainement de trouver des innovations pour réduire la dégradation des protéines de l'aliment dans le rumen, surtout si l'utilisation des tourteaux tannés (par traitement au formol), qui était une spécificité française (mais aussi un peu utilisée aux Pays-Bas), venait à être remise en cause pour des raisons de santé humaine. L'utilisation de tanins naturels ou d'huiles essentielles fait l'objet de nombreux travaux, mais qui ne sont pas encore probants. Il faut noter que ces pistes permettent de réduire la consommation d'énergie indirecte et aussi la consommation d'eau ce qui contribue à réduire la quantité totale d'effluents à gérer. Ces pratiques sont aussi sans conséquence sur le travail en élevage et sur le bien-être des animaux. Elles sont donc à encourager.
- La réduction de l'excrétion de phosphore est techniquement possible par l'utilisation de phytases qui sont des enzymes améliorant l'absorption du phosphore phytique contenu dans les graines et

donc qui permettent de réduire les apports d'aliments minéraux pour une même quantité de P absorbée. Cette pratique concerne surtout les ateliers de monogastriques car le phosphore phytique est hydrolysé par le rumen chez les ruminants. La pratique est très efficace pour réaliser son objectif premier et elle est neutre, voire pourrait même légèrement améliorer les performances économiques de l'exploitation à l'avenir. En effet, les phytases commerciales sont maintenant à des prix compétitifs et le prix des phosphates ne peut que s'accroitre encore d'avantage à l'avenir. Ces charges sont réduites chez les ruminants car le rationnement sur la base du P absorbable conduit toujours à réduire les quantités apportées. Dans ces conditions tous les ratios économiques sont maintenus voire pourront s'améliorer. Pour la même raison, les phytases permettent d'être plus résilient face à l'aléa du prix du phosphore.

- A l'inverse des deux cas précédents, il reste aujourd'hui techniquement difficile de réduire la production de méthane malgré les nombreux travaux sur le thème. En outre, l'utilisation d'additifs accroit les couts de production pour un gain en terme de production des animaux qui restera nécessairement faible car si le méthane est une perte énergétique pour l'animal, celle-ci reste quand même relativement faible (8% énergie ingérée) et ne pourra jamais être très fortement réduite. Une exception reste sans doute l'utilisation des graines de lin qui permet de valoriser les produits dans une filière différenciée, dans ce cas les ratios sont maintenus voire légèrement améliorés

La recherche d'une plus grande autonomie alimentaire a surtout pour objectif de réduire les couts de production et d'améliorer les performances économiques des exploitations. Chez les ruminants cette recherche passe essentiellement par le développement de la prairie et de la recherche de fourrages conservés de bonne qualité et, chez les monogastrique, par la fabrication d'aliments à la ferme. Les performances économiques s'améliorent effectivement très souvent ou sont au moins maintenues seules l'accroissement de la part de prairies permanentes et la fertilisation azotée pouvant, sous certaines conditions, légèrement dégrader les performances.

- Concernant l'accroissement de la part de la prairie, les performances environnementales sont globalement toujours positives ou, au pire non affectées sauf exceptions, mais sont très différentes selon les modalités de production de l'herbe et de son utilisation. Les bénéfices environnementaux sur la limitation des risques d'érosion, d'augmentation de la teneur ne MO des sols, des émissions de GES (compte tenu du stockage de C), du risque de fuite de nitrate, du maintien des surfaces semi naturelles sont globalement d'autant plus positifs que la prairie est implantée pour une longue période. De ce point de vue on peut s'interroger sur les conséquences que peut avoir la proposition de gel des surfaces en prairies permanentes (prairies de 5 ans ou plus dans la définition retenue) qui risque de rendre plus difficile l'optimisation des systèmes d'un point de vue environnemental car, dans ces territoires, la prairie sera retournée avant 5 ans pour ne pas tomber sous le coup de l'interdiction alors que l'analyse montre que la prairie est d'autant plus efficace qu'elle est implantée pour une période assez longue. Il y a par contre un *trade-off* entre performances environnementales et économiques : les prairies permanentes étant moins productives, elles pénalisent les performances des animaux et peuvent impacter négativement l'économie de l'exploitation.
- L'accroissement de l'utilisation d'engrais azotés pour augmenter la production des prairies aura toujours des impacts négatifs sur les risques accrus d'émissions de nitrates, de GES, de NH_3, de consommation d'énergie indirecte. Elle reste toutefois intéressante dans les territoires extensifs qui peuvent sans dommage accepter une légère charge environnementale supplémentaire car elle peut permettre d'améliorer la performance économique des élevages. Elle ne peut plus, en revanche, être recommandée dans les territoires d'élevage intensifs. D'ailleurs en Bretagne aujourd'hui, plus de 60% des prairies semées le sont avec des associations contenant du trèfle blanc. Plus généralement, les prairies multi espèces sont une piste intéressante pour l'avenir. Des premiers résultats montrent qu'elles peuvent potentiellement accroître la productivité des surfaces tout en améliorant les performances environnementales. Seules les émissions de NH3 peuvent être accrue lorsque les animaux seront alimentés à l'étable avec les fourrages conservées

qui risquent d'être plus riches en azote (au moins comparativement à de l'ensilage de maïs). Cette voie nécessite encore des travaux de recherche pour être pleinement opérationnelle.

- Les performances de la prairie sont aussi très dépendantes du mode de valorisation. Comparé à la fauche, le pâturage permet à la fois d'améliorer les performances économiques, de réduire les émissions de NH_3 et d'améliorer le bien-être de l'animal, par contre le risque de compactage des sols et les émissions de nitrates peuvent s'accroitre, surtout en lien avec le pâturage d'automne en période humide. Il convient donc de respecter quelques règles d'utilisation. La pratique de la fauche d'herbe verte est recommandée aujourd'hui dans certains bassins versants à algues vertes car elle permet de réduire au minimum les fuites de nitrate tout en tirant partie des autres avantages de la prairie, mais les couts de production sont alors fortement accrus.
- Dans les territoires potentiellement concernés, la pratique du pastoralisme offre de très nombreux avantages, à la fois pour les performances économiques des exploitations et pour les performances environnementales qu'elle procure, notamment sur la réduction des consommations d'énergie, de maintien de la qualité des sols, de la biodiversité. Notons aussi son rôle patrimonial, social et de gestion des paysages et de lutte contre le feu en zone méditerranéenne (non pris explicitement en compte dans le cadre de ce travail). Cette pratique est à favoriser mais elle est pourtant aujourd'hui partiellement remise en cause par la réintroduction des loups qui accroissent l'aléa et surtout démoralise les éleveurs qui constatent les dégâts sur les troupeaux (même s'ils sont indemnisés).
- La production de fourrage de meilleure qualité se gère à toutes les étapes de la chaine, depuis le choix des variétés plus ou moins adaptées à la conserve (selon leur composition chimique et leur précocité), la chaine de récolte et les modalités de la conservation. Des pistes de progrès sont connues mais pas toujours appliquées, ou applicables (aléas climatiques). L'éleveur a tout à gagner à produire des fourrages conservés de meilleure qualité car leur cout de production n'est pas plus élevé dans la plupart des cas et ils permettent d'améliorer les productions des animaux tant en quantité qu'en qualité et/ou de faire des économies substantielles sur le poste des achats de concentrés et donc de consommation d'énergie indirecte. La pratique peut devenir moins intéressante si elle nécessite des investissements en matériel ou bâtiments, comme par exemple dans le cas du foin ventilé en grange. Il y a ici un réel besoin de sensibilisation des éleveurs et sans doute d'innovation, notamment dans les modalités de conservation : aucune innovation n'est apparue dans ce secteur depuis plus de 20 ans après l'arrivée des balles rondes enrubannées
- Dans les ateliers de monogastriques, la seule voie pour gagner en autonomie est la fabrication des aliments à la ferme (FAF) mais cette pratique accroit le travail et nécessite de disposer des surfaces nécessaires, sauf à acheter des matières premières en local ou sur des marchés. Son principal atout est la réduction des charges liées à l'alimentation des animaux et l'amélioration de l'autonomie productive (les gains économiques qu'elle procure étant d'autant plus importants que les cours des matières premières sont élevés) et aussi une certaine assurance face à la volatilité des cours. Les contres parties sont la nécessité d'investissement dans les matériels, la FAF modifiant en profondeur la structure de l'exploitation et son développement ne pouvant s'envisager que sur le long terme ; et un accroissement de la consommation d'énergie électrique.

L'élevage peut valoriser des ressources non concurrentes avec l'alimentation humaine. Il s'agit principalement de co-produits issus de différentes filières agro industrielles et de la valorisation de cultures intermédiaires.

- Ces nouveaux aliments (parfois aussi nommés « aliments non conventionnels » ou ANC) étant souvent de moindre qualité que les aliments plus classiques, les performances productives des animaux sont au mieux maintenues mais sont souvent un peu dégradées. Malgré tout, les co-produits des industries ne seront utilisés que s'ils sont achetés à un prix concurrentiel en regard de leur valeur nutritionnelle et la performance économique des ateliers sera maintenue voire pourra s'accroître légèrement en cas de prix d'achat particulièrement intéressants (opportunités de marchés). L'utilisation des cultures intermédiaires aura des effets toujours positifs sur les performances économiques puisqu'il s'agit en fait le plus souvent de valoriser une ressource

fourragère déjà présente sur l'exploitation mais qui ne l'était pas. Cette valorisation permettra en outre de réduire les consommations d'énergie indirecte au prix éventuellement d'un accroissement de la consommation d'énergie directe en lien avec la distribution du fourrage.

- L'utilisation de co-produits industriels n'aura pas d'effet sur les performances environnementales, à l'exception éventuelle des émissions de méthane qui peuvent être accrues chez les ruminants puisque ces produits sont plus riches en parois végétales alors que les émissions de NH_3 peuvent être marginalement réduites dans le cas de co-produits à faible teneur en protéines.
- De leur côté, les cultures intermédiaires conservent leurs avantages environnementaux vis-à-vis de la qualité des sols et la réduction des fuites de nitrate, seules les émissions d'ammoniac pouvant être affectée du fait de la distribution d'un fourrage qui peut parfois être très riche en protéines (colza fourrager, par exemple) ou au contraire assez pauvre (mélange de céréales et protéagineux immatures). La surcharge de travail liée à la récolte et distribution de ces cultures est sans doute un frein au développement de la pratique.

La gestion de la conduite de l'alimentation est le plus souvent envisagée dans un objectif de réduction de la charge de travail en élevage, ce qui est notamment le cas de la « diminution de la fréquence de distribution des rations » et de l'« automatisation de la distribution ». La « conduite en groupes d'animaux homogène » fait exception et vise surtout à l'amélioration des performances de production des animaux. Au contraire des deux précédentes, elle accroit d'ailleurs la charge de travail et sa complexité. L'« alimentation de précision » est une pratique mixte qui vise simultanément à réduire le travail et à améliorer l'efficience de l'alimentation par ses 2 volets, accroissement des performances productives des animaux et limitation des rejets. Cette pratique est encore futuriste mais porteuse de progrès conséquents pour l'avenir, notamment en élevage de monogastrique. L'automatisation de la distribution est plus ancienne dans les ateliers de monogastriques car plus facile techniquement mais aujourd'hui des automates de distributions des fourrages apparaissent en élevage de ruminants, leur électronique étant d'ailleurs souvent couplée à celle du robot de traite.

- Les pratiques permettant de réduire la charge de travail nécessitent des investissements, les techniques les plus efficaces étant aussi celles qui conduisent aux investissements les plus conséquents. Pour autant, la transmissibilité des exploitations peut ne pas être trop affectée car les repreneurs peuvent être très sensibles à l'argument du travail. L'automatisation de la distribution induit inévitablement une dépense supplémentaire d'énergie, essentiellement sous forme électrique, celle-ci étant contrebalancée dans le cas de la réduction de la fréquence de distribution par des économies liées au fonctionnement des machines à moteur thermique. Ces pratiques ne modifient pas la composition des rations, elles n'ont donc pas de conséquences sur les émissions vers l'environnement, à l'exception des effets induits par la consommation d'énergie sur les émissions de GES. L'automatisation de la distribution, accroit aussi les charges variables associée
- La conduite de l'alimentation en groupes d'animaux homogènes permet d'être plus précis sur l'alimentation et d'éviter les gaspillages ; les pertes vers l'environnement (P, GES, NH_3) sont effectivement réduites ou au moins restent stables ; la production animale peut être accrue ou se maintenir, de même que les performances économiques. Ces gains au niveau des performances restent somme toute modestes et doivent être mis en regard du surcroît de travail occasionné. C'est d'ailleurs pourquoi le conseil en élevage a plutôt été de simplifier au maximum la distribution des rations dans le cas des vaches laitières. C'est le principe de la ration complète : une même ration distribuée à toutes les vaches en lactations et celles-ci ajustent leur consommations en fonction de leur besoin.
- L'alimentation de précision pousse à l'extrême l'alimentation en groupes homogène puisque le groupe peut se résumer à l'individu. Cette fois, l'automatisation est complète ce qui supprime la contrainte de travail et toutes les performances qui étaient tendanciellement à la hausse dans le cas précédant deviendraient ici nettement plus positives mais, encore une fois, au prix

d'investissements conséquents et du développement de technologies et d'innovations encore souvent au stade de la recherche pour le moment.

L'amélioration de la qualité nutritionnelle des produits animaux est un vaste sujet mais qui le plus souvent résulte d'effets collatéraux de pratiques mises en œuvre pour d'autres objectifs. Le pâturage est aujourd'hui le mode d'alimentation qui a le plus d'effets positifs sur la qualité du lait et de la viande mais l'éleveur ne raisonne pas la place du pâturage dans son système pour cet effet. Nous avons retenu l'effet de l'introduction de graine de lin extrudée sur la teneur en oméga-3 des produits car c'est aujourd'hui le seul aliment utilisé aujourd'hui spécifiquement pour ses effets sur la qualité des produits et il concerne toutes les filières animales : viande, lait, œuf. L'accroissement de la teneur en oméga-3 des produits est clairement établi pour toutes les filières mais par contre le retour économique pour l'élevage n'est pas toujours positif car les aliments contenant de la graine de lin extrudée sont beaucoup plus chers et les produits ne sont pas toujours valorisés en conséquence, notamment en production laitière où la graine de lin extrudée peut réduire la teneur en matière grasse du lait ce qui impacte négativement le prix payé à l'éleveur.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie										Ressources naturelles fossiles			
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité	Energie		Quantité d'eau	Phosphore
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Augmenter la production	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)
Gestion de l'alimentation animale	Rejets par l'alimentation	Limiter les teneurs en protéines des aliments	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	+	+	=
		Utiliser des acides aminés de synthèse	=	=/+	+/-	=/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	+	+	=
		Utiliser des phosphates alimentaires hautement digestibles et des phytases	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	+	=	+
		Utiliser des additifs pour réduire les rejets de CH4	=/+	=/+	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	=	=	=
	Autonomie alimentaire	Augmenter l'utilisation des espaces sylvo-pastauraux	=	+	+	+	+	+	+	+	=/-	+	=	=	+	+	=	=
		Augmenter la part des prairies dans la sole	=/-	+	=/+	+	=/+	=/+	+/-	=/+	+/-	=	=/-	=	=/+	+	+	=
		Réduire la surface en cultures annuelles	-	=	-	+	-	-	-	-	-	=	=	=	+	+	=	+
		Augmenter la part de prairies permanentes dans la sole fourragère	-	+	=/-	+	=/-	=/-	+/-	=/-	+/-	+	=/-	=	+	+	+	=
		Augmenter la fertilisation azotée pour augmenter la productivité des prairies	=	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=/-	-	=	=
		Semer des prairies multispécifiques pour augmenter la productivité	=/+	=/+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	+	+	=	=
		Augmenter la pratique du pâturage	=/+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=	+	+	+	=
		Réduire le chargement par ha de surface fourragère	=/-	=	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=	+	+	=
		Améliorer la qualité des fourrages conservés (accroitre la valeur alimentaire et réduire les pertes à la conservation)	+	+	+	=/+	+	+	=/-	=/-	=/-	=	=/-	=	=/-	+	=	=
		Produire des aliments à la ferme ou issus de fermes voisines	=/-	=	=/+	+	=/+	=/+	-	-	+	=	-	+/-	-	+	=	=
	Ressources non concurentes des autres productions	Accroître l'utilisation de matières premières à moindre concentration énergétique et/ou protéique	=/-	=/-	=/+	+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=	+/-	=	=
		Produire et valoriser par ses animaux des cultures intermédiares	=/-	=	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=/-	+	=/+	=
	Conduite de l'alimentation	Diminuer la fréquence de distribution des rations	=	=	=	=	=	=	-	-	-	=	-	=	+	=	=	=
		Automatiser la distribution des rations	=	=	-	-	-	-	-	-	-	=	-	+/-	-	=	=	=
		Distribuer l'alimentation par groupes d'animaux homogènes	=/+	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=/-	=/+	=/+	=
		Ajuster la distribution de l'aliment à chaque individu par automates (alimentation de précision)	+	=	+	+	+	+	-	-	-	=	-	+/-	-	+	+	=
	Améliorer la qualité nutritionnelle	Introduitre des graines de lin dans la ration	=	+	+/-	-	+/-	+/-	+/-	-	+/-	=	=	=	=	=	=	=

			Environnement																Dimensions sociales			
			Sol				Qualité de l'eau				Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	Pratique	Sous- pratique	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Gestion de l'alimentation animale	Rejets par l'alimentation	Limiter les teneurs en protéines des aliments	=	=	=	=	+	=	=	=	+	+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=/-
		Utiliser des acides aminés de synthèse	=	=	=	=	+	=	=	=	+	+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=/-
		Utiliser des phosphates alimentaires hautement digestibles et des phytases	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+
		Utiliser des additifs pour réduire les rejets de CH4	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Autonomie alimentaire	Augmenter l'utilisation des espaces sylvo-pastauraux	=	+	+	=	=	=	=	+/-	=	=	=	=	+	=	=	+	-	=	=/-	+/-
		Augmenter la part des prairies dans la sole	=/+	+	=/+	=	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	=	=	=	=/+	=	+	+/-	=	+	-
		Réduire la surface en cultures annuelles	+	+	=	=	+	+	+	=	+	=	=	+	=	=/-	=	=	+	+	=	=
		Augmenter la part de prairies permanentes dans la sole fourragère	=/+	+	+	=	+	+	+	+/-	=/+	+	=	=	+	+	=	+	+/-	=	+	-
		Augmenter la fertilisation azotée pour augmenter la productivité des prairies	=/-	=	=	=	-	=	=	=	-	-	=	=	-	=	=	=	+/-	=	=	=/-
		Semer des prairies multispécifiques pour augmenter la productivité	=	=	=	=	=/+	=	=	=	+	-	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	+/-
		Augmenter la pratique du pâturage	=/-	=	+	=	=/-	=	=	+/-	=/-	+	=	=	=	=	=	=	+/-	=	+	=
		Réduire le chargement par ha de surface fourragère	+	=	=	=	+	=	=/+	=/+	+	=	=	=/+	=	=	=	+	=	=	=	+
		Améliorer la qualité des fourrages conservés (accroitre la valeur alimentaire et réduire les pertes à la conservation)	=	=	=	=	=	=	=	=/+	+	=	=	=	-	=	=	=/+	=/-	=	=	=
		Produire des aliments à la ferme ou issus de fermes voisines	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=	=	+	=	=	-	=	=	+
	Ressources non concurentes des autres productions	Accroître l'utilisation de matières premières à moindre concentration énergétique et/ou protéique	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=/+	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
		Produire et valoriser par ses animaux des cultures intermédiares	=/-	+	+	=	+	=	=	=	=	+/-	=	=	=	+	=	=	-	=	=	+
	Conduite de l'alimentation	Diminuer la fréquence de distribution des rations	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=/-	=
		Automatiser la distribution des rations	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
		Distribuer l'alimentation par groupes d'animaux homogènes	=	=	=	=	=/+	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	=
		Ajuster la distribution de l'aliment à chaque individu par automates (alimentation de précision)	=	=	=	=	+	=	+	=	=/+	+	=	=	=	=	=	=	+	+	=	=
	Améliorer la qualité nutritionnelle	Introduitre des graines de lin dans la ration	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=/-

E - Références bibliographiques

AGABRIEL J., CHAMPCIAUX P., ESPINASSE C., 2008. Inration, logiciel de rationnement des ruminants .Version 4.0, 2008. **In** : AGABRIEL J., CHAMPCIAUX P., ESPINASSE C. Inration. Educagri (Ed)

AGUERRE M.-J., WATTIAUX M.-A., HUNT T., LARGET B.R. 2010. Effect of dietary crude protein on ammonia-N emission measured by herd nitrogen mass balance in a freestall dairy barn managed under farm-like conditions. *Animal*, 4 (8), 1390-1400

ARROUAYS D., BALESDENT J., GERMON J.C., JAYET P.A., SOUSSANA J.F., STENGEL P., 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France, Rapport d'expertise collective, 32p.

BAUMONT R., DULPHY J.P., SAUVANT D., MESCHY F., AUFRERE J., PEYRAUD J.L. 2007. Valeur alimentaire des fourrages et des matières premières : table et prévision. **In** : Alimentation des bovins, ovins, caprins. QUAE (Ed), 149-179

BAUMONT R., ARRIGO Y., NIDERKORN V. 2011. Transformation des plantes au cours de leur conservation et conséquences sur leur valeur pour les ruminants, *Fourrages*, 205, 35-46

BESNARD A., MONTARGES-LELLAHI A., HARDY A. 2006. Systèmes de culture et nutrition azotée. Effet sur les émissions de GES et le bilan énergétique. *Fourrages*, 187, 311-320

BOCHU, J.-L. 2002. PLANETE: méthode pour l'analyse énergétique des exploitations agricoles et l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. [en ligne] (consulté le 02/05/2012) http://www.solagro.org/site/im_user/0286_$_014planeteooct02

PDFRDON D., DOURMAD J.Y., HENRY Y. 1995. Réduction des rejets azotés chez le porc en croissance par la mise en œuvre de l'alimentation multiphase, associée à l'abaissement du taux azoté. *Journées Recherche Porcine*, 269-278

BRUNSCHWIG P., VERON J., PERROT C., FAVERDIN P., DELABY L., SEEGERS H. 2001. Etude technique et économique des systèmes laitiers herbagers en Pays de la Loire. *Renc. Rech. Rum*., 8, 237-244

CARPENTIER B., CABON G. 2011. Le maïs fourrage : élaboration du rendement et de la qualité, récolte et conservation. *Fourrages*, 205, 11-23

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE BRETAGNE. 2011. Fabrication d'aliment à la ferme en agriculture biologique.
www.capbio-bretagne.com

CHILLIARD Y., FERLAY A., DOREAU M. 2001. Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *Inra Prod. Anim.,* 14(5), 323-335

CHILLIARD Y., GLASSER F., ENJALBERT F., FERLAY A., BOCQUIER F., SCHMIDELY P. 2007. Données récentes sur les effets de l'alimentation sur la composition en Acides gras du lait de vache, de chèvre et de brebis. *Renc. Rech. Rum.*, 14, 321-328

COUVREUR S., HURTAUD C., LOPEZ C., DELABY L., PEYRAUD J.-L. 2006. The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet and milk fat characteristics and butter properties. *J. Dairy Sci.*, 89, 1956-1969

DEFRANCE P., SEURET J.M., DELABY L. 2005. Grass growth profiles in Brittany. **In** : Utilisation of grazed grass in temperate animal systems, XX International Grassland Congress, Cork (Ireland), 03-06/07/2005, *Wageningen Academic Publishers*, 214 p.

DELABY L., BAUMONT R., PECATTE J.R., AUFRÈRE J., PEYRAUD J.L. 2010. Description and prediction of multi-species pastures nutritive valeue across the grazing season. Proceeding of the 23th General Meeting of the European Grassland Federation, Germany, vol 13, 485-486

DELABY L., CHENAIS F., HOUSSIN B., JEULIN T., LOSQ G. 1999. Effet de la fertilisation minérale azotée des prairies sur la valeur alimentaire de l'herbe et les performances des vaches laitières au pâturage. Journée technique " Fertilisation azotée des prairies dans l'Ouest ", 97-111

DELABY L., DECAU M.L., PEYRAUD J.L., ACCARIE P., 1997. AzoPat : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. I- Les flux associés à l'animal. *Fourrages*, 151, 297-311

DELABY L., DELAGARDE R., PEYRAUD J.L., 2009. Quelle quantité de compléments distribuer aux vaches laitières lors de temps d'accès limité au pâturage ? *Renc. Rech. Ruminants*, 16, 50 p.

DELABY L., PEYRAUD J.L., 1998. Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières et la valorisation du pâturage. *Ann. Zootech*., 47, 17-39

DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., ANDRIEU J.P. 1998. Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation : foin, ensilage, enrubannage, *Fourrages*, 155, 349-369

DEWHURST R.J., DELABY L., MOLONEY A., BOLAND T., LEWIS E. 2009. Nutritive value of forage legumes used for grazing and silage. *Irish Journal of Agricultural and Food research*, 48, 51-70

DOREAU M., MARTIN C., EUGENE M., POPOVA M., MORGAVI D.P. 2011. Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. *Inra Productions Animales*, 24(5), 461-474

DOURMAD J.Y., SEVE B., LATIMIER P., BOISEN S., FERNANDEZ J., VAN DER PEET-SCHWERING C., JONGBLOED A.W. 1999. Nitrogen consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. *Livestock Production Science*, 58 (3), 261-264

DOURMAD J.-Y., ÉTIENNE M., VALANCOGNE A., DUBOIS S., VAN MILGEN J., NOBLET J. 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. *Animal Feed Science and Technology* 143, 372-386

DUMONT B., FARRUGGIA A., GARELL J.P. 2007. Pâturage et biodiversité des prairies permanentes. *Rencontres Recherches Ruminants*, 14, 17-24

EMILE J.C., AUDEBERT G., NOVAK S. 2011. Le rendement et l'ingestibilité d'un ensilage d'association céréales protéagineux dépendent de la date de récolte et du type de céréale. *Rencontres Recherches Ruminants*, 18, 128

GUEGUEN L., LAMAND M., MESCHY F. 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Jarrige R. (Ed), 95-120

HENRY Y. 1993. Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. *Inra Prod. Anim*., 6 (3), 199-212

HUCHON J.-C., GOULARD L., DESARMENIEN D., SABATTE N., GABORIAU L., RUBIN B. 2006. A la recherche de solutions pour améliorer les conditions de travail en élevage laitier. Etude financée par le Conseil Régional des pays de la Loire

HURTAUD C., DELABY L., PEYRAUD J.L. 2007. The nature of preserved forage changes butter organoleptic properties. *Lait*, 87, 505-519

IFIP-GTE. 2011. Performances nationales et régionales des élevages porcins français, année 2011.

JOFFRE R., HUBERT B., MEURET M. (Ed) 1992. Les systèmes agro-sylvo-pastoraux méditerranéens : enjeux et réflexions pour une gestion raisonnée. UNESCO – Dossier MAB 10. 96p.

JUSTES E., BEAUDOIN N., BERTUZZI P., CHARLES R., CONSTANTIN J., DÜRR C., HERMON C., JOANNON A., LE BAS C., MARY B., MIGNOLET C., MONTFORT F., RUIZ L., SARTHOU J.P., SOUCHERE V., TOURNEBIZE J., SAVINI I., RECHAUCHERE O. 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Synthèse du rapport d'étude, Inra (Ed.), 60 p.

KIRWAN L., LÜSCHER A., SEBASTIÀ M.T., FINN J.A., COLLINS R.P., PORQUEDDU C., HELGADOTTIR A., BAADSHAUG O.H., BROPHY C., CORAN C., DALMANNSDÓTTIR S., DELGADO I., ELGERSMA A., FOTHERGILL M., FRANKOW-LINDBERG B.E., GOLINSKI P., GRIEU P., GUSTAVSSON A.M., HÖGLIND M., HUGUENIN-ELIE O., ILIADIS C., JØRGENSEN M., KADZIULIENE Z., KARYOTIS T., LUNNAN T., MALENGIER M., MALTONI S., MEYER V., NYFELER D., NYKANEN-KURKI P., PARENTE J., SMIT H.J., THUMM U. AND CONNOLLY J. 2007. Evenness drives consistent diversity effects in an intensive grassland system across 28 European sites. *Journal of Ecology*, 95, 530-539

LATIMIER P., DOURMAD J.Y. 1993. Effect of three protein feeding strategies, for growing-finishing pigs, on growth performance and nitrogen output in the slurry and in the air. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences: Proceedings of the First International Symposium. 8-11/06/1993. Wageningen (The Netherlands), *EAAP Publication*, 242-246

LE GALL A. 2004. Associations graminées-trèfle blanc, le pâturage gagnant. Institut de l'Elevage / Chambres d'Agriculture Bretagne et Pays de-la-Loire, 64 p.

MEDA B., HASSOUNA M., AUBERT C., ROBIN P., DOURMAD J.Y. 2011. Influence of rearing conditions and manure management practices on ammonia and greenhouse gas emissions from poultry houses. *Worlds Poultry Science Journal*, 67 (3), 441-455

MESCHY F., RAMIREZ-PEREZ A.H. 2005. Evolutions récentes des recommandations d'apport en phosphore pour les ruminants. *Inra productions animales*, 18 (3), 175-182

MESCHY F., JONDREVILLE C., DOURMAD J.Y., NARCY A., NYS Y. 2008. Maîtrise des rejets de phosphore dans les effluents d'élevage. *Inra Production animale*, 21(1), 79-86

NAUDIN C., CORRE-HELLOU G., PINEAU S., JEUFFROY M.H. 2010. The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: crop growth, N partitioning and symbiotic N2 fixation. *Field Crops Research*, 119, 2-11

NELSON T.S., SHIEH T.R., WODZINSKI R.J., WARE J.H. 1968. The availability of phytate phosphorus in soya bean meal before and after treatment with a mold phytase. *Poultry Science*, 47, 1842-1848

PEYRAUD J.L., VERITE R., DELABY L. 1995. Rejets azotés chez la vache laitière : effets du type d'alimentation et du niveau de production des animaux. *Fourrages*, 142: 131-144

PEYRAUD J.L. 2000. Fertilisation azotée des prairies et nutrition des vaches laitières. Conséquences sur les rejets d'azote. *Inra productions animales*, 13 (1), 61-72

PEYRAUD J.L., LE GALL A., DUPRAZ P., DELABY L. 2010. Produire du lait en maximisant le pâturage pour concilier performances économiques et environnementales. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 17-24

PEYRAUD J.L., ROUILLE B., HURTAUD C., BRUNSCHWIL P. 2011. Maîtrise de la composition en acides gras. Les possibilités d'actions par l'alimentation. Collection Résultats, Institut de l'élevage (Ed).

POLE AOC MASSIF CENTRAL. 2008. Le séchage en grange du foin conditionné en grosses bottes, 97p.

PORTEJOIE S., DOURMAD J.Y., MARTINEZ J. LEBRETON Y. 2004. Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livestock Production Science*, 91 (1-2), 45-55

RAISON C., CHAMBAUT H., LE GALL A., PFLIMLIN A. 2008. Impact du système fourrager sur la qualité de l'eau. Enseignements issus du projet Green Dairy. *Fourrages*, 193, 3-18

RIBEIRO-FILHO H.M.N., DELAGARDE R., PEYRAUD J.L. 2003. Inclusion of white clover in strip-grazed perennial ryegrass pastures: herbage intake and milk yield of dairy cows at different ages of pasture regrowth. *Animal Science*, 77, 499-510

RIBEIRO-FILHO H.M.N., DELAGARDE R. et PEYRAUD J.L. 2005. Herbage intake and milk yield of dairy cows grazing perennial ryegrass pastures or white-clover/perennial rye grass pastures at low and medium herbage allowance. *Animal Feed Science and Technology*, 119, 13-27

ROGUET C., BRIANT C., BADOUARD B., RIEU M. 2013. Performances techniques et économiques des élevages de porcs en France : identifier les clés et les trajectoires de la réussite. *Journées de la Recherche Porcine*, 45, 13-20

RULQUIN H. 2001. Acides aminés digestibles dans l'intestin. Utilisation du système AADI dans le rationnement des vaches laitières. *Inra Productions Animales*, 14(4), 275-278

SAUVANT D., CHAPOUTOT P., PEYRAUD J.L., MESCHY F., DOREAU B. 2002. Valeur nutritionnelle pour les ruminants. In : Sauvant D., Perez J.M., Tran G. (Ed) Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Inra, 301 p.

SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S., SERMENT A., BROUDISCOU L. 2011. Influence des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants. *Inra Productions animales*, 24 (5), 433-446

SEGRAFO / RESEAUX D'ELEVAGE / CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE DE NORMANDIE / INSTITUT DE L'ELEVAGE. 2008. Sécher du foin en grange pour récolter le meilleur de l'herbe, 8 p.

SIMON J.C., LE CORRE L. 1988. Lessivage d'azote en monoculture de maïs en sol granitique du Finistère. *Fourrages*, 114, 193-207

SIMON J.C. 1989. Azote et équilibre de l'association raygrass anglais-trèfle blanc. Proceedings XVIth International Grassland Congress, 4-11/10/1989, Nice (France), 471-472

SOUSSANA J.F., LUESCHER A. 2007. Temperate grasslands and global atmospheric change: A review. *Grass and Forage Science*, 62 (2), 127-134

SOUSSANA J.F., TALLEC T., BLANFORT V. 2010. Mitigationg the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animals*, 4, 334-350

TAMMINGA S. 1992. Nutrition management of dairy-cows as a contribution to pollution-control. *Journal of Dairy Science*, 75 (1), 345-357

THERIEZ M., BRELURUT A., PAILLEUX J.Y., BENOIT M., LIENARD G., LOUAULT F., DE MONTARD F.-X. 1997, Extensification en élevage ovin viande par agrandissement des surfaces fourragères. Résultats zootechniques et économiques de 5 ans d'expérience dans le Massif Central Nord, *Inra Prod. Anim.*, 10 , 141-152

VAN MILGEN J., VALANCOGNE A., DUBOIS S., DOURMAD J. Y., SEVE B., NOBLET J. 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology,* 143, 387-405

VAN ZIJDERVELD S.M., DIJKSTRA J., GERRITS W.J.J., NEWBOLD J.R., PERDOK H.B., 2010. Dietary nitrate persistently reduces enteric methane production in lactating dairy cows. 3-8/10/2015, Banff (Canada), *Proc. Greenhouse Gases Anim. Agric.*, 157 p.

VÉRITÉ R., PEYRAUD J.L. 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Jarrige r. (Ed), 75-93

VERMOREL M. 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Jarrige R. (Ed), 57-74

VERTES F., SIMON J.C., LAURENT F., BESNARD A. 2007. Prairies et qualité de l'eau. Evaluation des risques de lixiviation d'azote et optimisation des pratiques. *Fourrages*, 192, 423-440.

VERTES F., BENOIT M., DORIOZ J.M., 2010a. Couverts herbacés pérennes et enjeux environnementaux (en particulier eutrophisation) : atouts et limites. *Fourrages*, 202, 83-94

VERTES, F., JEUFFROY M.H., JUSTES E., THIEBEAU P., CORSON M. 2010b. Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. *Innovations Agronomiques*, 11, 25-43.

VIGNAU-LOUSTAU L., HUYGHE C. 2008. Stratégies fourragères. Pâturage, Ensilage, Foin. France Agricole (Ed), 336 p.

CHAPITRE 14
GÉNÉTIQUE ANIMALE

A - Introduction 314
B - Description par pratique élémentaire 316
C - Eléments-clefs à retenir 322
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 326
E - Références bibliographiques 327

CHAPITRE 14
Génétique animale

A - Introduction

Pour chaque atelier de production animale et pour une espèce donnée, l'éleveur choisit le type génétique qui lui parait le plus adapté au produit majoritaire de l'atelier (lait, viande, œuf…) et à son positionnement en termes de segmentation (standard, sous signe de qualité…), mais également aux conditions de production mises en œuvre (intensives, extensives, sous cahier des charges…). Le lien entre le choix du type génétique et l'ensemble des pratiques mises en œuvre dans l'atelier et les surfaces agricoles qui s'y rapportent est donc très fort ; il s'est encore accru avec la segmentation des filières qui a induit des types génétiques de plus en plus spécialisés et adaptés à des conditions de production et/ou à des types précis de produit. Il existe en effet des antagonismes physiologiques entre grands types de fonctions chez l'animal, l'organisme ne pouvant pas mobiliser les ressources alimentaires au profit de toutes les fonctions en même temps si l'une d'entre elles prend le pas sur les autres : par exemple, chez la vache, entre production laitière et développement musculaire, ou entre production laitière et fertilité ; chez la poule, entre la ponte et développement musculaire. Ces antagonismes se manifestent également entre les quantités produites et la qualité des produits : par exemple, chez la vache, entre la quantité de lait et les taux de matières grasses ou protéiques ; chez le porc, entre le taux de muscle de la carcasse et le taux de gras intramusculaire (lequel contribue à la jutosité de la viande). Ces antagonismes se traduisent par une relation statistique (la corrélation génétique) qui fait l'amélioration d'un caractère par sélection entraine souvent la dégradation partielle d'un autre caractère, dégradation d'autant plus élevée que la corrélation est forte et de sens opposé. Cet effet moyen recouvrant de fortes variations individuelles, des indices de sélection très précis permettent néanmoins de choisir des reproducteurs aussi polyvalents que possible, si telle est l'orientation génétique privilégiée, mais sans possibilité d'obtenir par sélection des animaux fortement améliorés pour l'ensemble des grands types de fonctions. Le choix des types génétiques utilisables dans un système de production donné en est réduit d'autant, du moins jusqu'à ce jour et même si parfois, à la marge, des assortiments moins conventionnels peuvent être préférés (par exemple, en n'exploitant pas la totalité du potentiel génétique disponible pour adapter les animaux à des conditions d'élevage peu/moins intensives). Cette adaptation étroite rend les performances intrinsèques des types génétiques difficiles à distinguer des performances globales des pratiques élémentaires et/ou pratiques associées qu'ils peuvent induire, et des systèmes de production dans lesquels ils s'insèrent.

Dans un atelier de production animale, un type génétique unique est le plus souvent utilisé et son choix engage l'exploitant pour une durée généralement longue, d'autant plus que le renouvellement du cheptel reproducteur est assuré sur place (ruminants) plutôt que par l'amont (porcs), voire n'existe pas sur l'élevage (volailles). Cette distinction entre filières vaut également pour les modalités d'accès au progrès génétique. Dans le cas des ruminants, laitiers en particulier, ce progrès est pour l'essentiel diffusé par la voie dite mâle *via* l'insémination artificielle (IA), l'éleveur étant susceptible d'y contribuer dans un cadre collectif (schémas de testage des reproducteurs destinés à l'IA). Dans le cas des monogastriques, le progrès génétique est diffusé au travers des reproducteurs (porcs) ou des animaux terminaux (volailles) fournis par des élevages de multiplication spécialisés pratiquant le

croisement, eux-mêmes approvisionnés par des élevages de sélection, d'où l'appellation de schémas pyramidaux.

La méta-pratique (MP) Génétique animale inclut deux catégories de pratiques complémentaires :

- L'amélioration génétique des races ou lignées résulte des objectifs de sélection qui doivent prendre en compte de nombreux caractères à améliorer, ou au minimum à ne pas trop dégrader, pour une orientation générale donnée. De multiples choix étant possibles au niveau de chaque race ou lignée, la réalité est complexe. Seuls trois grands types d'orientations ont donc été retenus ici. Cette réduction n'est d'ailleurs pas aussi réductrice qu'il y parait car de fait, quelle que soit la filière et/ou l'espèce, la plupart des races ou lignées peuvent être rangées dans une de ces trois catégories sans trop d'ambiguïté, comme illustré plus loin. Ces trois orientations largement exclusives les unes des autres (quoique pas totalement) sont la performance productive, la robustesse et la qualité des produits. Elles traduisent le fait qu'au sein de chacune d'elles, une catégorie d'aptitudes a été privilégiée par le programme de sélection, ce qui, du fait des antagonismes mentionnés précédemment, a conduit à dégrader au moins en partie les deux autres catégories d'aptitudes. Pour chacune de ces orientations, la production sous quota de production (lait de vache) a été distinguée de la production hors quota. En situation de quota, les volumes de production sont plafonnés et l'accroissement de la production individuelle s'accompagne alors d'une réduction du nombre d'animaux qui libère des surfaces. Cette hypothèse a été maintenue bien que les quotas laitiers soient en passe d'être supprimés car certaines laiteries semblent s'orienter vers des quotas de fait, néanmoins révisables, *via* la contractualisation. Une telle situation est susceptible de concerner les trois filières laitières de la vache, de la brebis et de la chèvre. Les filières de production de viande (bœuf, agneau, porc, volailles de chair) et de produits avicoles (œuf, foie gras) ne sont pas concernées par cette dimension quota de production.
- La pratique du croisement est déjà généralisée dans les filières porcine et avicole où la productivité numérique des espèces le permet. Seule son extension dans les filières qui l'utilisent peu, notamment les bovins, a donc été considérée ici, dans les limites permises par les impératifs de renouvellement des races pures.[87] Le recours aux biotechnologies de la reproduction est susceptible de favoriser cette extension, *via* le sexage de la semence en particulier. Deux types de croisement aux objectifs très différents sont susceptibles d'être utilisés chez les ruminants : d'une part, le croisement dit rotatif, impliquant deux ou trois races utilisées successivement, principalement chez les bovins laitiers pour pallier à des difficultés de gestion du troupeau (fertilité en particulier) ; d'autre part, le croisement dit industriel qui consiste à améliorer les qualités bouchères de produits terminaux de races laitières ou rustiques par recours à des géniteurs mâles de races très conformées.

Cette MP n'a aucun impact sur l'endettement de l'exploitation agricole, la transmissibilité, la qualité des sols, la biodiversité végétale, l'utilisation des produits phytosanitaires et les émissions d'odeur et de polluants organiques dans l'air.

Certaines performances de cette MP observées à l'échelle des animaux et des troupeaux ne présagent pas toujours de celles qui pourraient être observées au niveau supérieur des systèmes de production ou de l'exploitation compte tenu des compensations qui peuvent apparaître *via* la mise en œuvre d'autres pratiques élémentaires cohérentes avec les choix génétiques effectués, notamment dans le cas des ruminants. Ainsi, l'orientation en faveur de la performance productive conduit à des animaux plus efficients (meilleur rendement à quantité d'intrants donnée) et rejetant moins par unité produite ; mais elle conduit aussi à accroitre les besoins en intrants pour nourrir les animaux et finalement peut dégrader des performances environnementales à l'échelle des surfaces de l'exploitation. Inversement, des animaux à moindre performance productive (relevant d'une

[87] La faible productivité numérique des femelles des ruminants, notamment des vaches, ne permet pas d'écarter une proportion significative d'entre elles de la reproduction en race pure.

orientation robustesse ou qualité des produits) rejettent plus par unité de produit mais comme ils sont souvent conduits dans des systèmes à plus faible chargement par hectare, les rejets dans l'environnement exprimés par unité de surface peuvent être réduits.

B - Description par pratique élémentaire

Les performances des sous pratiques liées au choix génétique des animaux/troupeaux ont été évaluées dans un contexte où les animaux sont entretenus dans les conditions de production appropriées/adaptées à leur orientation génétique. Ainsi, la pratique élémentaire « choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal » est évaluée dans le cadre de la mise en œuvre d'autres pratiques élémentaires relevant d'autres MP qui visent elles aussi à exploiter au mieux ce potentiel.

B1 - Amélioration génétique

B1.1 - Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal

Ce choix vise à maximiser la production par animal (vitesse de croissance journalière, production de lait par lactation…). La primauté est donnée à la fonction physiologique correspondant au produit animal prioritaire (viande, lait, œuf, foie gras…), au détriment possible des autres fonctions et de la résistance de l'animal aux fluctuations des conditions de milieu. Cette capacité à produire davantage induit de forts besoins alimentaires des animaux, nécessitant une concentration énergétique et protéique élevée de la ration pour satisfaire ces besoins accrus. Les conséquences de ce choix varient selon les espèces.

- Chez les ruminants, la capacité d'ingestion croît moins vite que le potentiel génétique de production et le recours à des types génétiques très productifs conduit donc à accroitre la part des aliments concentrés au détriment de la part des fourrages. La nature des aliments consommés et donc celle des cultures (herbe incluse) valorisées par des ruminants relevant de cette orientation génétique en seront donc modifiées, contrairement à la situation des monogastriques où l'usage d'aliments à relativement forte concentration énergétique et protéique reste la règle. Par ailleurs, chez les vaches laitières, la sélection sur la performance laitière a fortement dégradé la fertilité des femelles (Barbat *et al*., 2005 ; Evans *et al*., 2006).
- Chez les espèces poly-ovulantes (ovins, porcins) ou à cycle continu (volailles), la sélection accorde également une place importante à la productivité numérique des cheptels reproducteurs à l'origine des produits terminaux. Dans les espèces où cette productivité numérique est particulièrement importante (porcs, volailles), il devient possible de choisir des orientations de sélection différentes dans les lignées de la voie femelle (qui donneront les femelles reproductrices devant produire beaucoup de jeunes) et dans les lignées de la voie mâle (qui donneront les mâles reproducteurs devant transmettre un fort développement musculaire). Le recours à la spécialisation des races ou lignées selon les voies femelle et mâle, conjugué au croisement, permet donc de lever en partie l'antagonisme entre performances de reproduction et de production et ainsi d'atténuer les inconvénients de la spécialisation des productions caractéristique de l'orientation performance productive (Coudurier, 2011).

Les races bouchères bovines ou ovines spécialisées (par exemple, race bovine charolaise, voire Blanc-Bleu Belge ; race ovine Île-de-France), les types génétiques porcins (Dourmad *et al*., 2010) issus de truies croisées hyper-prolifiques (par exemple, croisement Large White x Landrace) et de verrats terminaux hyper-musclés (par exemple, Piétrain), ou les types génétiques de poules pondeuses (Beaumont *et al*.,

2010) issues de croisements entre lignées spécialisées (par exemple, Rhodes Island Red à œufs bruns) sont des exemples typiques de types génétiques à fortes performances productives.

Les performances de cette pratique élémentaire peuvent être ainsi résumées :

- L'effet direct recherché est l'accroissement du rendement par animal, au prix d'une relative altération de la qualité des produits, au mieux de son maintien. Ainsi, la sélection laitière conduit à réduire les taux protéiques et butyreux des laits (Ricordeau, 1992), tandis que la présence d'une copie d'un gène d'hypermuscularité chez les bovins de races bouchères rend leur viande plus tendre mais aussi plus claire et de moindre flaveur (Allais *et al.*, 2008) ;
- L'amélioration du rendement de transformation des aliments par les animaux réduit la consommation d'énergie fossile, directe et surtout indirecte, les rejets de nitrate et de phosphore, les émissions de GES et d'ammoniac par unité de produit ainsi que, le cas échéant, la consommation d'eau et de phosphore ou les rejets d'éléments trace métalliques (monogastriques). Les rejets par unité de surface ont en revanche tendance à augmenter puisque pour un même chargement, les besoins des animaux et donc leur rejets sont accrus ;
- Il y a accroissement des utilisations et des rejets de produits vétérinaires, altération du bien-être animal et sensibilité accrue aux aléas du fait de la plus grande fragilité des animaux ;
- Il y a augmentation du chiffre d'affaires du fait de la production accrue, mais également augmentation des charges variables de façon à exploiter au maximum le potentiel génétique des animaux ; par suite, l'impact de cette pratique élémentaire sur les résultats économiques de court terme (soldes de gestion), l'autonomie productive et la dépendance aux aides est incertaine ; la rentabilité, mesurée par le ratio de la valeur ajoutée de l'exploitation sur le chiffre d'affaires hors primes, est dégradée ;
- Il y a enfin réduction du temps de travail par unité produite.[88]

B1.2 - Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal en régime de quota

Relativement à la pratique élémentaire précédente, la seule différence réside dans le volume de production qui est ici contraint, ce qui génère des différences en termes de performances. Concrètement, l'accroissement de la productivité individuelle ne se retrouve plus au niveau du cheptel puisque la production de l'exploitation est plafonnée ; par suite :

- Parce que le chiffre d'affaires de l'atelier lait est plafonné, voire réduit du fait des moindres aptitudes bouchères de ces types génétiques (moindre valorisation des vaches de réforme et des jeunes mâles), alors que les charges variables sont stables voire augmentées (du fait d'une plus forte proportion d'aliments concentrés dans la ration), les différents soldes de gestion sont dégradés. Toutefois, l'évaluation des performances économiques au niveau de l'animal, du troupeau et de l'atelier ne présage pas nécessairement des performances mesurées à l'échelle de l'exploitation où elles dépendent aussi de la valorisation des surfaces libérées par le troupeau laitier ajusté à la baisse (du fait du quota supposé contraignant) et qui, de ce fait, nécessite moins de surfaces fourragères.
- L'augmentation de la consommation indirecte d'énergie est d'autant plus élevée que la substitution des fourrages par des concentrés est importante ;
- La réduction de la consommation d'eau et de phosphore est plus nette qu'avec la pratique élémentaire précédente dans la mesure où il y a réduction du nombre d'animaux pour une production issue de ces derniers supposée constante ;
- Les autres performances évoluent de façon identique ; les impacts peuvent être plus importants puisque le nombre d'animaux est plus faible : c'est le cas, notamment, des rejets à la baisse du nitrate et du phosphore.

[88] La réduction du temps de travail rapportée aux quantités produites peut permettre d'accroître la taille du cheptel et donc, au moins potentiellement, d'améliorer les soldes de gestion mesurés en les rapportant au temps de travail.

B1.3 - Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux

La robustesse privilégie la longévité des animaux, leur résistance aux pathogènes et aux fluctuations climatiques en préservant un équilibre entre les différentes fonctions physiologiques de l'animal (bovins laitiers : Ducrocq *et al*., 2001). Cette pratique élémentaire a pour objectifs une adaptation des animaux à des conditions d'élevage moins intensives, en termes notamment de concentration énergétique et protéique de l'alimentation (bovins laitiers : Mc Carthy *et al*., 2006 ; Piccand *et al*., 2011 ; Delaby *et al*., 2012 ; poulet de chair : de Verdal *et al*., 2011), et moins artificialisées, ainsi que la réduction de l'utilisation des produits vétérinaires et des traitements hormonaux pour la reproduction. Un potentiel de production suffisamment élevé est conservé pour le produit animal prioritaire tout en ménageant, le cas échéant, une aptitude satisfaisante pour une production secondaire (lait et viande chez les bovins, par exemple), c'est-à-dire une relative mixité. La fertilité est maintenue à un niveau satisfaisant (bovins), de même que l'aptitude à la valorisation de milieux physiques et climatiques plus difficiles (ovins). Les races bouchères rustiques tant bovines (par exemple Salers ; Petit *et al*., 1994) qu'ovines (par exemple Mérinos d'Arles ; Bouix, 1992) sont des exemples typiques de types génétiques viande robustes.

Les principaux impacts de cette pratique élémentaire peuvent être ainsi résumés :

- Le rendement du cheptel est inchangé, voire légèrement amélioré, dans la mesure où la moindre capacité de production de l'animal est compensée par la réduction des problèmes d'élevage (infertilité, mortalité, morbidité, maladies métaboliques…) ; cette augmentation est toutefois plus faible que pour l'orientation performance productive ;
- Il y a amélioration des soldes de gestion du fait (i) d'un accroissement du chiffre d'affaires suite à la diminution des pertes et des invendus (carcasses ou produits animaux impropres à la consommation, lait non commercialisé suite à des traitements antibiotiques) et, le cas échéant, à l'accroissement des recettes sur produits secondaires (maintien d'une relative mixité), et (ii) de la diminution des charges variables, notamment des postes relatifs à l'alimentation du bétail (même malade, un animal mange) et aux frais vétérinaires ; la rentabilité est légèrement améliorée ;
- Le temps de travail de l'éleveur est réduit, de même que sa pénibilité (moins de stress) ; la sensibilité aux aléas, en particulier de nature sanitaire, est également réduite ; et la réduction des problèmes d'élevage permet d'améliorer le bien-être animal ;
- L'impact sur les consommations directe et indirecte d'énergie, d'eau et de phosphore est très minime ; il en est de même pour ce qui est de l'impact sur les émissions de nitrate, de gaz à effet de serre et d'ammoniac.[89]
- • Par contraste, il y a diminution possiblement substantielle des utilisations et des rejets de produits vétérinaires.

On notera enfin que cette orientation génétique contribue à la biodiversité animale au travers de sa composante intra-spécifique (raciale).

B1.4 - Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux en régime de quota

Relativement à la pratique élémentaire précédente, cette quatrième pratique élémentaire impose un volume de production constant, du moins pour la production réglementairement (quota) ou implicitement (contrat) supposée contrainte. Les races bovines Normande et Montbéliarde peuvent être considérées comme des exemples de types génétiques laitiers robustes, bien que leur lait

[89] Emissions de NO_3, de GES et de NH_3 peuvent même être très légèrement réduites par unité de produit si l'efficacité de transformation du troupeau est améliorée En tout état de cause, les effets de réduction des consommations de ressources naturelles fossiles et de diminution des rejets des émissions de NO_3, de GES et de NH_3 sont moindres avec cette pratique élémentaire relativement aux deux premières pratiques élémentaires qui privilégient la productivité intrinsèque de l'animal.

présente des qualités spécifiques (beurrière et rendement fromager, respectivement) valorisables ou valorisées par un prix plus élevé des produits finaux (Courdier *et al*., 2012 ; Gaillard *et al*., 2012). Relativement au régime précédent supposé non contraint, le choix de la robustesse en régime contraint engendre des performances identiques en matière d'utilisation de ressources naturelles fossiles et d'impacts sur l'environnement (il y a essentiellement diminution des usages de produits vétérinaires), le temps et la pénibilité du travail (diminution), le bien-être des animaux (amélioration) et la sensibilité aux aléas (diminution).
Du fait du quota, explicite ou implicite, la production du troupeau et de l'atelier est inchangée ; de ce fait, parce que les charges variables diminuent, il y a augmentation de la rentabilité, Valeur Ajoutée (VA), Excédent Brut d'Exploitation (EBE) et Revenu Courant avant Impôt (RCAI), ceci à nouveau sans tenir compte de la valorisation des surfaces fourragères potentiellement libérées.

B1.5 - Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits

Un choix génétique ciblé sur la qualité des produits privilégie l'élaboration de produits animaux de qualité supérieure au plan organoleptique ou nutritionnel ; il requiert une valorisation plus élevée de sorte à compenser la plus faible productivité des animaux, valorisation opérée aujourd'hui dans le cadre de démarches de qualité privées et/ou collectives (Label Rouge ou appellations d'origine, par exemple). Cette orientation n'est pas exclusive d'un certain degré de robustesse, la sélection des races ou lignées privilégiant la qualité du produit animal prioritaire étant obtenue au détriment de la performance productive au sens strict. Dans certains cas, un plafonnement volontaire du volume de production peut même être inclus dans le plan de sélection (Verrier *et al*., 2005 ; Lambert-Derkimba *et al*., 2007). Les types génétiques de poulet Label Rouge issus de croisements entre lignées à croissance dite lente (voies femelle et mâle) et à forte variabilité d'emplumement, couleur de peau, etc. (voie mâle) constituent un exemple typique en production volailles de chair sous signe de qualité à forte qualité des produits (Sauveur, 1997).

Les principales performances, positives comme négatives, de cette pratique élémentaire peuvent ainsi être résumées :

- Il y a diminution du rendement par animal, d'ampleur variable selon les espèces : modérée chez les ruminants laitiers mais pouvant être substantielle, par exemple dans le cadre d'un allongement des cycles de production en élevage monogastrique ;
- Il y a amélioration sensible de la qualité des produits, sur les plans organoleptique (viandes et produits laitiers), technologique (principalement pour le lait *via* un impact sur les taux de matières grasses et de protéines), et possiblement nutritionnel même si cette dernière dimension dépend fortement des pratiques d'alimentation du bétail utilisées de façon conjointe ;
- L'impact sur le chiffre d'affaires, la rentabilité et les différents soldes de gestion est ambigu, en fonction essentiellement des prix auquel il est possible de valoriser les produits animaux de qualité supérieure ; malgré l'augmentation du nombre d'animaux pour une quantité produite donnée, les charges variables peuvent être considérées comme stables, la concentration énergétique et protéique des aliments pouvant être réduite (cas des ruminants en particulier) :
- Il y a augmentation (monogastriques), au mieux maintien (ruminants), de la consommation de ressources naturelles fossiles, notamment d'énergie indirecte, du fait de l'allongement des cycles de production et d'une moindre efficacité de transformation ;
- Pour les mêmes raisons, cette sous pratique tend à accroître les rejets d'éléments trace métalliques, de nitrate, de phosphore, de GES et d'ammoniac par unité de produit ; Ces rejets peuvent diminuer dès lors que ces performances sont mesurées par unité de surface dans la mesure où les densités animales sont elles aussi le plus souvent réduites ;
- Il y a réduction des rejets de produits vétérinaires, amélioration du bien-être animal et réduction de la sensibilité aux aléas du fait de la moindre productivité des animaux et de leur relative plus grande robustesse ;

- Il y a enfin augmentation du temps de travail de l'éleveur du fait de la moindre productivité, ainsi que, mais de manière indirecte, des contraintes afférentes aux cahiers des charges des marques et signes officiels de qualité souvent utilisés pour valoriser la production dans une telle orientation génétique.

Cette orientation génétique contribue à la biodiversité animale au travers de sa composante intra-spécifique (raciale), notamment le maintien de races locales à petits effectifs (ruminants : Verrier et Saint-Dizier, 2011) ; une cinquantaine de races bovines, ovines, caprines et porcines sont aujourd'hui reconnues comme races locales et à petits effectifs par l'arrêté du 22/12/2011 (MAAPRAT, 2012), bien que toutes ne donnent pas lieu à une valorisation effective, loin s'en faut.

B1.6 - Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits en régime de quota

Les races bovines Tarentaise ou Abondance de même que les races ovines laitières Lacaune ou Basco-Béarnaises, étroitement associées à des appellations sous AOC/AOP (Appellations d'origine contrôlée / protégée) constituent des exemples typiques de production laitière à forte qualité des produits ; les races Montbéliarde et Normande sont également associées à des démarches A0C/AOP, mais pas de manière aussi systématique (cf. supra) (Lambert-Derkimba *et al.*, 2006).

Pour une production supposée constante car en régime de quota, explicite ou implicite, la pratique élémentaire tend à accroître la qualité du produit et à améliorer les performances économiques de court terme (augmentation de la rentabilité, des soldes de gestion, de l'autonomie productive, et moindre dépendance aux aides) ; l'augmentation du chiffre d'affaires hors aides, du fait d'une valeur unitaire plus élevée des produits pour un volume de production donné, surcompense l'augmentation des charges variables liée à un plus grand nombre d'animaux à entretenir pour un volume de production identique.

Cette pratique élémentaire entraine une détérioration de plusieurs performances environnementales : augmentation de la consommation d'eau et de phosphore ; augmentation des émissions de nitrate et de phosphore, de gaz à effet de serre et d'ammoniac, ceci parce qu'un même volume de production est réalisé par un nombre plus important d'animaux à moindre efficacité de transformation ; ce constat négatif est à nuancer en tenant compte (i) de la moindre consommation d'énergie indirecte, les besoins plus faibles des animaux permettant de réduire la proportion de concentrés dans les rations alimentaires, (ii) de la moindre utilisation de produits vétérinaires et (iii) de l'accroissement du bien-être des animaux. La pratique élémentaire augmente la charge de travail de l'éleveur, mais diminue la sensibilité de son élevage aux aléas.

B2 - Pratique du croisement entre races ou lignées

B2.1 - Utiliser le croisement rotatif

Par son effet d'hétérosis[90] conjugué à la complémentarité entre races, cette pratique élémentaire permet de réduire des problèmes d'élevage (maladies métaboliques et fertilité) rencontrés dans des cheptels de bovins laitiers à forte productivité, la Holstein en particulier (Heins *et al*., 2006). Le croisement entre races laitières est encore peu répandu (de l'ordre de 5 % des femelles du cheptel laitier français) mais est en croissance (Bougouin et Le Mezec, 2010 ; Le Mezec, 2012). Les croisements rotatifs impliquant la race Holstein à forte productivité et une ou deux autres races laitières à productivité intermédiaire (Montbéliarde, Normande, Brown Swiss, etc.) constituent des exemples typiques de cette pratique élémentaire (Lopez-Villalobos *et al*., 2000 ; Beaumard *et al*., 2010).

[90] On parle d'effet d'hétérosis lorsque la génération hybride F1 présente des performances supérieures à la performance moyenne de la génération parente P, homozygote ou de lignée pure (pour les caractères cibles de sélection).

Le croisement rotatif en élevage laitier a pour effet de diminuer la performance zootechnique de l'animal (litres de lait par animal) si la base de comparaison est une race à forte productivité (Holstein par exemple), mais d'accroître cette performance zootechnique si la base de comparaison est une race à productivité intermédiaire (Montbéliarde par exemple).

Si on se place relativement à la pratique élémentaire initiale où l'orientation génétique retenue vise l'amélioration de la performance productive de l'animal, l'utilisation du croisement rotatif a pour impacts principaux d'améliorer plusieurs performances environnementales (réduction des émissions de nitrate et de phosphore, diminution des utilisations de produits vétérinaires, réduction des émissions de GES et de NH_3), de réduire le temps de travail de l'éleveur et son caractère stressant, d'améliorer le bien-être des animaux et de réduire la sensibilité des élevages aux aléas. Dans une situation où la production laitière totale de l'exploitation est contrainte (régime de quota explicite ou implicite), la pratique élémentaire n'a pas d'impacts sur le chiffre d'affaires de l'atelier lait. Dans la mesure où les charges variables peuvent être réduites, la rentabilité et les différents soldes de gestion (VA, EBE et RCAI) peuvent aussi être améliorées.

B2.2 - Augmenter la fréquence du croisement industriel

Chez les ruminants laitiers, où la production en race pure reste aujourd'hui la règle, la mise en œuvre du croisement dit industriel permet d'obtenir des produits (veaux, agneaux) de très bonne qualité bouchère à partir de femelles de races spécialisées pour la production laitière et donc à faible développement musculaire (bovins : Michaux *et al*., 2005). La production quantitative globale du cheptel est améliorée puisque les inconvénients d'une productivité laitière élevée se trouvent partiellement compensés (veaux de qualité bouchère au moins équivalente à celle de races dites mixtes ; qualité des carcasses de réforme inchangée). Cette pratique élémentaire permet également d'améliorer les produits de races rustiques et/ou prolifiques à faibles aptitudes bouchères en recourant à des géniteurs mâles de races très conformées (Verrier et Saint-Dizier, 2011). Toutefois, dans le cas des bovins où le nombre de descendants par vache est faible et les besoins de renouvellement du troupeau élevés, seule une faible proportion des vaches peut être écartée de la reproduction en race pure et donc être utilisées en croisement industriel. En accroissant le nombre de descendants par femelle, les biotechnologies de la reproduction (transfert d'embryons notamment) peuvent/pourront accroitre cette proportion ; néanmoins, ces technologies restent lourdes et coûteuses. En permettant d'obtenir un maximum de veaux femelles, le sexage de la semence permettrait de l'accroitre bien davantage, si l'efficacité et le coût de cette technique continuent de s'améliorer.

Les croisements entre races laitières (par exemple, Holstein) et bouchères (par exemple, Charolais, Limousin, voire Blanc-bleu-belge), ou entre races rustiques (par exemple, Salers, Caussenarde du Lot) et bouchères (par exemple, Charolais, Berrichon du Cher) (bovins : Liénard *et al*., 2002 ; ovins : Vaur *et al*., 1996), constituent des exemples typiques d'application du croisement industriel.

Le recours au croisement industriel permet d'augmenter le rendement et la qualité au niveau du produit prioritaire (bovins et ovins rustiques) ou secondaire (bovins laitiers). Il permet également de réduire la sensibilité aux aléas sous le double jeu d'une plus grande rusticité des animaux et de la diversification des produits (par exemple, *via* la vente de veaux mieux conformés).

Les impacts de cette pratique élémentaire sur les performances économiques sont plutôt positifs : le chiffre d'affaires augmente ; les charges variables sont, ou inchangées (dans le cas d'une finition des produits en dehors de l'exploitation pour les élevages de bovins laitiers ou allaitants naisseurs stricts), ou à la hausse (dans le cas, très rare, d'une finition sur l'exploitation qui requiert une utilisation augmentée de consommations intermédiaires, de concentrés en particulier) ; toutefois, que les charges variables soient inchangées ou augmentées, l'augmentation du chiffre d'affaires est généralement suffisante pour que les performances économiques soient améliorées (rentabilité et soldes de gestion).

Cette pratique élémentaire n'a pas d'effets sur les performances associées à la consommation de ressources naturelles fossiles et à la préservation de l'environnement, pas plus que sur la charge de travail de l'éleveur et le bien-être des animaux.

C - Eléments-clefs à retenir

C1 - Une génétique sur trois cibles (production, robustesse et qualité) difficilement conciliables

La diversité des races et lignées disponibles (et de leurs combinaisons possibles dans les schémas pyramidaux du type sélection/multiplication/production en vigueur chez les monogastriques) permet de recourir à trois orientations génétiques largement exclusives les unes des autres.

C2 - Avantages et inconvénients d'une génétique ciblée sur la fonction productive

Dans toutes les filières animales, le choix génétique a majoritairement concerné la maximisation de la productivité individuelle. Ce choix a conduit à formater les systèmes de production autour d'animaux de plus en plus productifs dont il s'agissait d'exploiter au maximum le potentiel productif. Cette stratégie présente aujourd'hui des limites. Le travail sur l'efficience de la fonction productive a privilégié le rendement de transformation des aliments, travail qui a permis de diminuer les consommations d'énergie fossile, les rejets d'azote et les émissions de GES par kilogramme de produit, mais au détriment de l'adaptabilité des animaux et des cheptels aux fluctuations des conditions d'élevage, de leur santé et bien-être, voire de leur fertilité (cas des ruminants). En outre, les performances favorablement impactées par une meilleure efficacité de transformation peuvent se trouver dégradées une fois rapportées à l'unité de surface, du fait d'un chargement en bétail par hectare plus élevé. Par ailleurs, d'autres performances environnementales (utilisation de produits phytosanitaires ou diversification des cultures, par exemple) sont également dégradées, mais seulement de façon indirecte, du fait de la nature et de l'intensification des surfaces fourragères requises pour permettre d'exprimer au mieux le potentiel génétique des animaux. Quant à la performance économique de ces élevages, elle fluctue dans l'espace et le temps, essentiellement en fonction de deux paramètres : d'une part, la valorisation marchande des produits animaux, et d'autre part, le coût de l'alimentation des animaux, en particulier le coût des concentrés. Enfin, ce choix génétique de la fonction de production conduit à accroître la sensibilité aux aléas des élevages y ayant recours (aléas climatiques et aléas économiques).

C3 - Avantages et inconvénients d'une génétique ciblée sur la robustesse

La sélection sur la robustesse privilégie la longévité, la résistance aux pathogènes, la sensibilité réduite aux aléas climatiques, et la fonction reproductive (dimension particulièrement importante chez les ruminants). Elle permet une meilleure adaptation des animaux à des milieux d'élevage moins intensifs (notamment en termes de concentration énergétique et protéique des rations alimentaires des animaux) et moins artificialisés (en termes de conduite d'élevage), avec des effets favorables sur

les conditions de travail de l'éleveur, ainsi que sur la santé et le bien-être des animaux ; elle contribue à la biodiversité animale au travers de sa composante intra-spécifique (raciale). Les critères de sélection relatifs à la robustesse sont difficiles à identifier, définir et mesurer et progresser en ce domaine est un prérequis à un développement plus important de la sélection sur des objectifs de robustesse.

C4 - Avantages et inconvénients d'une génétique ciblée sur la qualité

L'orientation génétique vers la qualité des produits se justifie pour des produits animaux qu'il est possible / serait possible de mieux valoriser sur les marchés parce qu'ils correspondent à une demande d'au moins une partie des consommateurs pour des produits de qualité supérieure bénéficiant d'un consentement à payer positif relativement aux produits de qualité standard. Cette ''survalorisation'' est recherchée dans les démarches qualité de nature collective, de type Label Rouge ou AOP/AOC ; elle ne doit pas être pensée uniquement dans ce cadre collectif et doit donc être étendue, si possible, à des démarches / marques privées. Plus spécifiquement, les deux interrogations sont celles de la taille de ces marchés de qualité supérieure et de la multiplicité éventuellement excessive des signes privés et publics de qualité qui a pour conséquence de perdre le consommateur par confusion des signaux à son endroit.

Le choix d'une génétique orientée sur la qualité des produits n'est pas exclusif de la robustesse et donc d'une certaine amélioration de la santé et du bien-être des animaux. Ce choix tend à réduire la productivité quantitative et donc l'efficacité de transformation, ce qui a pour effet d'augmenter les consommations d'énergie fossile, les rejets d'azote et les émissions de GES par kilogramme de produit. Les animaux sélectionnés selon cette orientation sont généralement utilisés dans des systèmes d'élevage plus extensifs, ce qui a pour effet indirect d'améliorer certaines performances environnementales (réduction des fuites de nitrate notamment) en dépit de la relative inefficience de l'animal. Cette orientation génétique contribue également à la biodiversité au travers de sa composante intra-spécifique (raciale). Elle est bien justifiée en régime de quota, explicite ou implicite, où l'accroissement de la valeur unitaire du produit est une voie majeure de maintien, si possible d'accroissement, du revenu agricole.

Mieux concilier ces trois cibles de sélection est-il envisageable : les espoirs de la sélection génomique, les atouts du croisement entre races et lignées, du croisement rotatif et du croisement industriel.

C5 - La sélection génomique

La recherche d'un meilleur équilibre de sélection entre les grandes fonctions de production, de robustesse et de qualité apparaît ainsi comme une priorité. La mise en œuvre de la sélection génomique est une véritable rupture qui ouvre des perspectives prometteuses, notamment chez les espèces à cycles long, pour des critères zootechniques mesurés tardivement et ne s'exprimant que dans l'un des deux sexes (Robert-Granié *et al*. 2011)[91] .Elle peut significativement augmenter, jusqu'à doubler, la vitesse du progrès génétique sur certains critères (chez la vache laitière, la quantité et la composition du lait, la sensibilité aux mammites, la fertilité ou encore la longévité, par exemple)

[91] La sélection génomique fonde le choix des futurs reproducteurs sur l'estimation de leur valeur génétique dès la naissance, sur la base de marqueurs moléculaires présents dans l'ADN. Elle ne nécessite donc pas de mesurer les critères zootechniques qui sont l'objet de l'estimation de la valeur génétique sur le futur reproducteur lui-même. Ces mesures, parfois très invasives ou réalisées post-abattage, sont réalisées indépendamment sur une population dite de référence, pour laquelle chaque animal fait aussi l'objet de mesures et d'évaluation de son génotype aux différents marqueurs moléculaires.

(Brochard *et al*., 2013). A l'inverse, le gain de précision apporté par la sélection génomique sera moindre dans les espèces à cycle court, pour des critères facilement et précocement mesurables sur la totalité des animaux (par exemple, croissance chez le poulet et le porc, épaisseur de lard chez le porc). Néanmoins, pour ces espèces, la sélection génomique peut permettre, à coût élevé certes (du moins aujourd'hui), d'améliorer significativement des critères hors de portée des méthodes d'indexation classiques tels que ceux se rapportant à la robustesse des animaux (taux de mortalité ou de boiteries chez le poulet, par exemple) ou à la qualité des produits (teneur en hormones sexuelles malodorantes de la viande de porcs mâles non castrés, par exemple) (Tribout, 2011 ; Mercat, 2011).

C6 - Le croisement entre races et lignées

La pratique du croisement entre races ou lignées est déjà d'usage courant dans les filières porcine et avicole où la productivité numérique des espèces le permet. Il serait intéressant d'y recourir chez les espèces qui l'utilisent peu actuellement (bovins notamment), dans les limites permises par les impératifs de renouvellement des races parentales, la faible productivité numérique des vaches ne permettant pas d'écarter une proportion significative d'entre elles de la reproduction en race pure. Les biotechnologies de la reproduction peuvent y aider, en particulier le sexage de la semence (cf. item B2.2).

C7 - Le croisement rotatif

Par son effet d'hétérosis conjugué à la complémentarité entre races, le croisement rotatif permet de réduire des problèmes d'élevage (maladies métaboliques et fertilité) rencontrés dans des cheptels de bovins laitiers à forte productivité. Les progrès à attendre de cette orientation sont en outre plus immédiats que ceux escomptés par la voie de la recherche de la robustesse par sélection car le matériel génétique est disponible. Certaines performances environnementales seraient améliorées, à commencer par une réduction des rejets d'antibiotiques et une amélioration de la santé et du bien-être des animaux ; les performances économiques seraient inchangées, voire augmentées, et la sensibilité aux aléas serait plus faible.

C8 - Le croisement industriel

Chez les ruminants laitiers, où la production en race pure reste aujourd'hui la règle, la mise en œuvre du croisement industriel permet d'obtenir des produits (veaux, agneaux) de très bonne qualité bouchère à partir de femelles de races spécialisées pour la production laitière et donc à faible développement musculaire. Le croisement industriel permet également d'améliorer les produits de races rustiques et/ou prolifiques à faibles aptitudes bouchères en recourant à des géniteurs mâles de races très conformées. La santé et le bien-être des animaux seraient améliorés ; les performances économiques inchangées, voire augmentées ; la sensibilité aux aléas réduite.

Encadré 14.1

Faut-il réhabiliter les races mixtes en élevage bovin ?

L'élevage bovin présente la spécificité de pouvoir produire en même temps de la viande et du lait. En France, il s'est néanmoins spécialisé sur au moins les 40 dernières années *via* la sélection des races laitières produisant de plus en plus de lait par lactation et des races à viande produisant de plus en plus de viande par animal. Cette spécialisation en lait, avec le développement de la race Holstein, a été rapide avec une progression de +105 kilogrammes de lait par vache et par an sur toute la période. Dans le même temps, la sélection génétique en viande a permis de spécialiser des races vers des animaux lourds avec une très forte croissance journalière et produisant une viande maigre. Ce processus de spécialisation des races conduit aujourd'hui à produire du lait avec un recours important aux céréales et aux tourteaux de soja pour couvrir les besoins très élevés d'animaux qui valorisent de moins en moins la prairie, présentent des problèmes d'infertilité difficilement compatibles avec des systèmes herbagers ; corrélativement, le taux de renouvellement des femelles atteint aujourd'hui 35-40 %. Le coproduit viande de ces animaux n'est en outre pas toujours bien valorisé ; à une époque, pas si lointaine, on a même favorisé l'abattage des veaux nouveaux nés ! Cette spécialisation conduit aussi à produire du jeune bovin charolais qui va être engraissé au maïs ensilage et aux céréales, et donnera des carcasses très (trop ?) lourdes boudées par la grande distribution (CGAEER 2011).

Pour mieux valoriser les millions d'hectares des prairies françaises, il apparaît ainsi intéressant de repenser le type d'animaux avec des races mixtes et plus rustiques. Ces races mixtes pourraient retrouver de l'intérêt, au moins dans certaines zones herbagères (Normandie, montagnes humides), dans le cadre de développement de systèmes doublement performants, sur les plans économique et environnemental.

Au niveau de l'exploitation, ces races mixtes permettent de produire de 5 500 à 7 000 kilogrammes de lait par lactation et un veau par an, essentiellement avec de l'herbe et très peu de concentrés. Elles assurent ainsi sécurité et stabilité du revenu du fait des deux sources de revenu (lait et viande), sécurité et stabilité d'autant plus intéressantes que le système est économe en concentrés dont les prix sont élevés et fluctuants (Delaby et Pavie 2008). Les systèmes d'élevage mis en œuvre avec ces races mixtes peuvent être assez souples/flexibles, et les taux de renouvellement sont plus faibles qu'avec des races laitières très spécialisées du fait de performances de reproduction moins dégradées et de meilleures qualités d'élevage. Les races mixtes produisent généralement des laits riches en protéines avec une bonne aptitude fromagère, laits qui sont ainsi mieux valorisés surtout quand les produits transformés sont associés à une AOC/AOP en raison de leurs caractères intrinsèques et des liens aux terroirs que ces dernières symbolisent. Des problèmes d'élevage demeurent toutefois, notamment au niveau de la facilité de la traite et de certaines pathologies (mammites, boiteries). Jusqu'à ce jour, « le culte de la performance laitière par vache » a fait qu'aucune action collective d'envergure n'a réellement permis de développer ces races ; en dépit de leurs intérêts multiples (cf. supra), il est aujourd'hui encore difficile d'imaginer leur développement rapide et substantiel sans catalyseur d'une réaction en chaîne.

Au plan national, l'augmentation de la production laitière par vache a permis le développement de l'élevage bovin spécialisé pour la production de viande et la diminution du nombre de vaches laitières s'est accompagnée d'une augmentation concomitante du nombre de vaches allaitantes. Mais à ce niveau national, le rapport entre les productions de viande bovine et de lait de vache n'a pas évolué avec une production de viande voisine de 80 kilogrammes d'équivalent-carcasse par tonne de lait produite. La production de méthane estimée à partir des facteurs d'émission proposés par l'ADEME a également stagné, que cette production soir mesurée par kilogramme d'équivalent carcasse produite ou par litre de lait (Faverdin et Peyraud 2009). Il n'est donc pas possible de considérer que l'augmentation de production laitière par vache est un élément essentiel de la réduction des émissions de GES dès lors que l'effectif de bovins d'un pays est davantage lié à la production de viande qu'à celle de lait. L'intérêt des races mixtes lait et viande est donc également posé au niveau national, et non pas seulement à celui de l'exploitation d'élevage. Des simulations récentes montrent d'ailleurs qu'une pour une même production nationale de lait et de viande, la production de lait par les races mixes associée à l'engraissement en mode « jeunes bovins » des veaux conduirait à une réduction des émissions du troupeau national bovin de 4 % (Puillet *et al.* 2012).

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie									
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité
Gestion de la génétique animale	Amélioration génétique	Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal	+	=/-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal en régime de quota	=	=/-	-	=/-	-	-	-	-	+/-	=	=	=
		Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux -	=/+	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=
		Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux en régime de quota	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=
		Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits	-	+	+/-	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits en régime de quota	=	+	+	=/-	+	+	+	+	+	=	=	=
	Croisement	Utiliser le croisement rotatif	=	=	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=/+	=	=	=	=
		Augmenter la fréquence du croisement "industriel"	+	+	+	=/-	+	+	+	=	+	=	=	=

			Ressources naturelles fossiles				Environnement							
			Energie		Quantité d'eau	Phosphore	Sol				Qualité de l'eau			
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires
Gestion de la génétique animale	Amélioration génétique	Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal	+	+	=/+	=/+	=	=	=	=/+	+	=	+	-
		Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal en régime de quota	+	=/-	+	+	=	=	=	=	+	=	+	-
		Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux -	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+
		Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux en régime de quota	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+
		Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits	=/-	-	=/-	=/-	=	=	=	=/-	-	=	-	+
		Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits en régime de quota	=/-	=/+	-	-	=	=	=	=	-	=	-	+
	Croisement	Utiliser le croisement rotatif	=	=	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=/+	=/+
		Augmenter la fréquence du croisement "industriel"	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

			Environnement								Dimensions sociales			
			Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Gestion de la génétique animale	Amélioration génétique	Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	-	-
		Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal en régime de quota	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	-	-
		Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux -	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	+	+
		Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux en régime de quota	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	+	+
		Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits	-	-	=	=	=	=	=	=	-	=	+	+
		Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits en régime de quota	-	-	=	=	=	=	=	=	-	=	+	+
	Croisement	Utiliser le croisement rotatif	=/+	=/+	=	=	=	=	=	=	=/+	=	+	+
		Augmenter la fréquence du croisement "industriel"	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+

E - Références bibliographiques

ALLAIS S., LEVEZIEL H., HOCQUETTE J.F., LEPETIT J., DENOYELLE C., BERNARD C., BONNOT A., JOURNAUX L., RENAND G. 2008. Qualités des carcasses et des viandes de jeunes bovins hétérozygotes pour les mutations Q204x et nt821 du gène de la myostatine dans trois races allaitantes françaises. *Renc. Rech. Ruminants*, 15, 419-422

BARBAT A., DRUET T., BONAITI B., GUILLAUME F., COLLEAU J.J., BOICHARD D. 2005. Bilan phénotypique de la fertilité à l'insémination artificielle dans les trois principales races laitières françaises. *Renc. Rech. Ruminants*, 12, 137-140

BEAUMARD D., APPER-BOSSARD E., LAUTROU Y., COUVREUR S. 2010. Les stratégies de croisement entre races laitières et leurs déterminants dans les élevages bovins français. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 435

BEAUMONT C., CALENGE F., CHAPUIS H., FABLET J., MINVIELLE F., TIXIER-BOICHARD M. 2010. Génétique de la qualité de l'œuf. *Inra Prod. Anim.,* 23 (2), 123-132

BOUGOUIN M.H., LE MEZEC P. 2010. Le croisement entre races laitières en France vu par les bases de données. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 464

BOUIX J. 1992. Adaptation des ovins aux conditions de milieu difficiles. *Inra Prod. Anim., Hors-série* « Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales », 179-184

BROCHARD M., BOICHARD D., DUCROCQ V., FRITZ S. 2013. La sélection pour des vaches et une production laitière plus durables : acquis de la génétique et opportunités offertes par la sélection génomique. *Inra Prod Anim*, 22 (6), 145-156

CGAAER. 2011. Analyse stratégique de la filière bovine française par bassin de production. Rapport du conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux n°10205. 44 p.

COUDURIER B. 2011. Contraintes et opportunités d'organisation de la sélection dans les filières porcine et avicole. *Inra Prod. Anim*., 24 (4), 307-322

COURDIER M., MOUREAUX S., MUGNIER S., GERARD A., GAILLARD C., VERRIER E. 2012. L'extension des races bovines Montbéliarde et Simmental dans l'Ouest de la France : dynamique et conséquences génétiques. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 89

DELABY L., GALLARD Y., LEURENT S. 2012. Quelle vache laitière pour quel système ? Présentation des résultats du CASDAR GENESYS, *Satellite des journées 3R*, 5/12/2012, Paris (France), 2 p.

DELABY L., PAVIE J. 2008. Impacts de la stratégie d'alimentation et du système fourrager sur les performances économiques de l'élevage laitier dans un contexte de prix instables. *Renc. Rech. Rum*., 15, 135-138

VERDAL de H., NARCY A., BASTIANELLI D., CHAPUIS H., MEME N., URVOIX S., LE BIHAN-DUVAL E., MIGNON-GRASTEAU S. 2011. Improving the efficiency of feed utilization in poultry by selection. 1. Genetic parameters of anatomy of the gastro-intestinal tract and digestive efficiency. *BMC Genet.*, 12, 59

DOURMAD J.Y., CANARIO L., GILBERT H., MERLOT E., QUESNEL H., PRUNIER A. 2010. Évolution des performances et de la robustesse des animaux en élevage porcin. *Inra Prod.Anim*., 23 (1), 53-64

DUCROCQ V., BOICHARD D., BARBATH A, LARROQUE H. 2001. Intégration des caractères fonctionnels dans un index de synthèse pour les races bovines laitières: de la théorie à la pratique. *Renc. Rech. Ruminants*, 8, 333-336

EVANS R. WALLACE M. SHALLO L., GARRICK D., DILLON P. 2006. Financial implications of recent declines in reproduction and survival of Holstein-Friesian cows in spring-calving Irish dairy herds. *Agric.Systems*, 89, 165-183

FAVERDIN P., PEYRAUD J.L. 2009. Nouvelles conduites d'élevage et conséquences sur le territoire : cas des bovins laitiers. CR *Acad. Agric.*

GAILLARD C., GERARD A., COURDIER M., MOUREAUX S., VERRIER E., MUGNIER S. 2012. Extension des races bovines Montbéliarde et Simmental dans l'Ouest de la France : motifs et enjeux pour les éleveurs. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 293

HEINS B.J., HANSEN L.B., SEYKORA A.J. 2006. Production of Pure Holsteins Versus Crossbreds of Holstein with Normande, Montbeliarde, and Scandinavian Red. *J. Dairy Sci*., 89, 2799-2804

LAMBERT-DERKIMBA A., CASABIANCA F., VERRIER E. 2006. L'inscription du type génétique dans les règlements techniques des produits animaux sous AOC conséquences pour les races animales. *Inra Prod. Anim*., 19 (5), 357-370

LAMBERT-DERKIMBA A., ASTRUC J.M., BOULANGER P., BARBAT A., CASABIANCA F., VERRIER E. 2007. Objectifs de sélection, qualité du lait, limite de production et produits sous AOP : étude de cas en bovins et ovins laitiers. *Renc. Rech. Ruminants*, 14, 137

LE MEZEC P. 2012. Le croisement laitier en France : situation à partir des bases de données nationales. Présentation des résultats du CASDAR GENESYS, Satellite des journées 3R, 5/12/2012, Paris (France), 2 p.

LIENARD G., LHERM M., PIZAINE M.C., LE MARECHAL J.Y., BOUSSANGE B., BARLET D., ESTEVE P., BOUCHY R. 2002. Productivité de trois races bovines françaises, Limousine, Charolaise et Salers Bilan de 10 ans d'observations en exploitations. *Inra Prod. Anim*., 15 (4), 293-312

LOPEZ-VILLALOBOS N., GARRICK D.J., HOLMES C.W., BLAIR H.T., SPELMAN R.J. 2000. Profitabilities of some mating systems for dairy herds in New Zealand. *J. Dairy Sci*., 83, 144-153

MAAPRAT. 2012. Arrêté du 22 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 26 juillet 2007 fixant la liste des races des espèces bovine, ovine, caprine et porcine reconnues et précisant les ressources zoogénétiques présentant un intérêt pour la conservation du patrimoine génétique du cheptel et l'aménagement du territoire. *JORF*, 03/01/2012, texte 23 sur 131

MC CARTHY S., HORAN B., DILLON P., O'CONNOR P., RATH M., SHALLOO L. 2006. Economic comparison of divergent strains of Holstein-Friesian cows in various pasture-based production systems. *J. Dairy Sci*., 90, 1493-1505

MERCAT M.J. 2011. Sélection génomique : quelles perspectives réalistes chez le porc ? *Tech PORC*, 1, 20-21

MICHAUX C., JOURNAUX L., HORLAIT P., CAUCHY E., FAUVARQUE A., MENISSIER F., LEBAILLY P., BRISMEE H. 2005. Programme Interreg III, Belgique - France, le croisement terminal Blanc-Bleu Belge sur race Holstein (CTBBH). *Renc. Rech. Ruminants*, 12, 348

PETIT M., AGABRIEL J., D'HOUR P., GAREL J.P. 1994. Quelques caractéristiques des races bovines allaitantes de type rustique. *Inra Prod. Anim*., 7 (4), 235-243

PICCAND V., CUTULLIC E., SCHORI F., KUNZ P., THOMET P. 2011. Quelle race pour produire et se reproduire en systèmes laitiers avec pâturage dominant et vêlages groupés ? *Renc. Rech. Ruminants*, 18, 409-412

PUILLET L., AGABRIEL J., PEYRAUD J.L., FAVERDIN P. 2012. Modéliser le cheptel national français pour évaluer l'influence de choix techniques sur ses émissions de GES. *Renc. Rech. Rum.*, 19, 53-56

ROBERT-GRANIE C., LEGARRA A., DUCROCQ V. 2011. Principes de base de la sélection génomique, *Inra Prod. Anim*., 24 (4), 331-340

RICORDEAU G. 1992. Les objectifs et les critères de sélection : Synthèse des estimations de la variabilité génétique et des liaisons entre caractères dans les différentes espèces. *Inra Prod. Anim. Hors-série* « Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales », 107-116

SAUVEUR B. 1997. Les critères et facteurs de la qualité des poulets Label Rouge. *Inra Prod. Anim*., 10 (3), 219-226

TRIBOUT T. 2011. Perspectives d'application de la sélection génomique dans les schémas d'amélioration génétique porcins. *Inra Prod. Anim*., 24 (4), 369-376

VAUR J.P, ISSALY H., CAZALOT G., PERRET G., BOUIX J. 1996. Schéma de production ovin et croisement double étage dans le Lot. *Renc. Rech. Ruminants*, 3, 49-54

VERRIER E., TIXIER-BOICHARD M., BERNIGAUD R., NAVES M. 2005. Conservation and value of local livestock breeds: usefulness of niche products and/or adaptation to specific environments. *Anim. Genet. Resources Info*, 36, 21-31

VERRIER E., SAINT-DIZIER M. 2011. Contraintes et opportunités pour l'amélioration génétique des ruminants. *Inra Prod. Anim.,* 24 (4), 297-306

CHAPITRE 15
GESTION DE LA CONDUITE D'ÉLEVAGE

A - Introduction 332
B - Description par pratique élémentaire 333
C - Eléments-clefs à retenir 352
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 355
E - Références bibliographiques 356

CHAPITRE 15
Gestion de la conduite d'élevage

A - Introduction

Au sein de l'élevage, les pratiques relatives à la conduite des animaux jouent un rôle majeur puisque la productivité d'un cheptel est conditionnée non seulement par l'efficacité de transformation alimentaire des animaux à l'origine des produits consommés mais également par la capacité des reproducteurs à procréer un nombre suffisant de jeunes (en vue de la production de viande) et/ou à induire des cycles de production discontinus (ruminants laitiers) ou continus (poule) à l'origine des produits animaux consommés (production de lait ou d'œufs). La maîtrise de la reproduction est donc tout aussi importante que celle de la production. L'éleveur a par ailleurs la possibilité d'influer sur d'autres paramètres de la gestion des cheptels, tels que la longueur de la carrière des reproducteurs ou les conditions d'élevage du pré-troupeau assurant leur renouvellement, ou sur les conditions dans lesquelles la production sera réalisée, telles que son niveau d'intensification ou sa répartition saisonnière. L'interaction est donc très forte entre la conduite d'élevage et les autres pratiques mises en œuvre dans l'atelier de productions animales et les surfaces agricoles qui s'y rapportent.

Comme les autres MP se rapportant spécifiquement aux productions animales, la conduite de l'élevage impacte fortement la production, l'économie, la consommation de ressources fossiles, les dimensions sociales et, pour ce qui concerne l'environnement, certains rejets dans l'eau ou dans l'air (N, P, produits vétérinaires, GES et NH3 en particulier). Par contre, la conduite d'élevage n'impacte qu'occasionnellement la qualité du sol ou la biodiversité, au travers de la présence des ruminants (pour l'essentiel) dans les espaces cultivés ou semi-naturels. Elle n'a pas d'incidence sur la diversification des productions ni sur l'exposition aux risques.

De très nombreuses pratiques sont mises en œuvre par les éleveurs pour assurer la conduite des cheptels. Au niveau des élevages assurant la fourniture des produits animaux de consommation (c'est-à-dire en excluant les élevages de sélection ou de multiplication spécialisés situés en amont de certaines filières), ces pratiques diffèrent souvent profondément en fonction de l'espèce, du produit animal majeur de la filière, ainsi que du mode d'organisation de celle-ci, en particulier en matière de diffusion du progrès génétique. C'est donc un sous ensemble limité de pratiques qui ont été considérées ici au vu de de leurs potentialités en matière d'amélioration de certaines performances. Du fait des spécificités mentionnées précédemment, seules certaines espèces et/ou filières intra-espèce peuvent se trouver concernées (ou seulement de manière très marginale) par telle ou telle de ces pratiques.

Avant de les présenter succinctement, quelques rappels sont nécessaires pour les situer au sein du fonctionnement des élevages.

- D'une part, quatre sous-ensembles peuvent être distingués en termes de démographie des troupeaux : le pré-troupeau (les élèves) qui assure le renouvellement du cheptel de reproducteurs, le cheptel reproducteur (faisant naitre les jeunes) et le cheptel producteur (de produits animaux), lesquels sont parfois confondus (les mêmes animaux produisant à la fois des jeunes et des produits animaux autres que la viande), ainsi que les produits dits terminaux (animaux consommés). Des pratiques peuvent donc être spécifiques d'une partie seulement de ces sous-ensembles. A titre

d'illustration, en filière avicole, les animaux de production (poulettes destinées à la ponte) et produits terminaux (oisillons de chair) sont systématiquement fournis par l'amont, tandis qu'à l'opposé, chez les ruminants, le pré-troupeau est presque systématiquement présent pour assurer le renouvellement des femelles reproductrices (filières allaitantes) qui peuvent être simultanément productrices (filières laitières).

- D'autre part, les conditions dans lesquelles les cheptels sont entretenus (saisonnalité ou degré d'intensification de la production, par ex.) constituent une autre catégorie de pratiques qui peuvent également s'appliquer à tout ou partie des sous-ensembles décrits précédemment, ainsi qu'à tout ou partie des espèces ou filières intra-espèce.

Les pratiques retenues ont été regroupées en quatre catégories :

- La reproduction, qui concerne : l'amélioration de la détection des chaleurs (ruminants ; déjà bien maîtrisée chez le porc) ; l'utilisation d'alternatives aux traitements de synchronisation des chaleurs (petits ruminants utilisateurs majeurs ; occasionnel chez les bovins ; limité aux cochettes chez le porc) ; la pratique des mises-bas saisonnières (bovins ; petits ruminants plutôt concernés par le désaisonnement) ; l'utilisation de semence sexée (bovins ; peu applicable aux autres mammifères de rente) ; l'accroissement de l'efficience de l'accouvage (élevages producteurs d'œufs à couver et couvoirs en filière avicole).
- En matière d'élevage des élèves, deux pratiques ont été pris en compte : l'élevage des génisses laitières hors de l'exploitation (pratique non transposée chez les autres ruminants) ; l'avancement de l'âge à la première mise bas (bovins principalement concernés ; applicable aux petits ruminants).
- La conduite de la carrière concerne : l'augmentation du nombre de cycles de production des animaux reproducteurs (toutes espèces / filières) ; la pratique du plein air intégral (bovins et ovins).
- Enfin, parmi les pratiques relatives au cycle de production, ont été considérées : l'allongement de la durée d'engraissement (volailles de chair ; bovins ; applicable aux ovins) ; l'allongement de la durée de la lactation (vache laitière ; sans application chez les autres ruminants laitiers) ; la sous exploitation du potentiel génétique laitier maximal de l'animal (vache laitière ; peu d'application chez les autres ruminants laitiers).

B - Description par pratique élémentaire

B1 - Reproduction

B1.1 - Améliorer la détection des chaleurs

La détection des chaleurs résulte de la combinaison entre l'expression des comportements par les femelles et les facultés et/ou les possibilités de l'éleveur à repérer cette expression. L'expression des chaleurs repère l'ovulation, indétectable extérieurement. Cette expression des chaleurs est variable, en intensité, en durée et par le moment où les signes s'expriment. Elles peuvent parfois être silencieuses, aucune modification comportementale ne permettant d'attester de la réalité de l'ovulation (sauf à recourir à des dosages hormonaux réguliers). Les chaleurs ne sont donc détectables que chez des femelles qui ovulent et qui s'expriment.

Chez les vaches laitières, où le recours à l'insémination artificielle (IA) est de l'ordre de 85 %, les conséquences techniques et économiques d'une sous détection ne sont pas négligeables : pour une bonne fertilité intrinsèque, des simulations ont estimé qu'une diminution de 10 % de la sensibilité de la détection (chaleurs détectées / chaleurs totales) induit une augmentation de l'intervalle vêlage / IA

fécondante de l'ordre de 7 jours générant une perte nette de l'ordre de 11€ par vache présente et par an (Seegers et *al*., 2010). Or, dans les troupeaux laitiers (revue de Disenhaus et *al*., 2010) dont la productivité a considérablement augmenté au fil des dernières décennies, les chaleurs des vaches sont devenues conjointement plus discrètes et plus courtes. L'acceptation du chevauchement en particulier, considérée auparavant comme le signe indubitable des chaleurs, a fortement régressé et n'est plus exprimé que dans 60 % des cas en moyenne. La détection doit donc désormais prendre en compte des comportements sexuels (ainsi que d'activité) peu spécifiques puisqu'observables hors période d'ovulation, mais dont la multiplication et la répétition constituent des faisceaux de présomptions (avec le risque d'inséminer au mauvais moment par manque de spécificité). En outre, chez la vache Holstein, le nombre d'ovulations et donc de chaleurs potentielles est réduit du fait des nombreuses anomalies de cyclicité. Ces dernières compliquent encore le travail de détection, la surveillance étant plus facile à réaliser à périodes fixes quand la cyclicité est régulière. La sensibilité de la détection est très variable entre troupeaux, de l'ordre de 50 à 55 % (revue de Chanvallon et *al*., 2012), mais avec des extrêmes relevés de 0 à 90 % lors d'une étude réalisée dans des cheptels Holstein présentant des problèmes de fertilité (Grimard et *al*., 2005). Par contre, la spécificité (chaleurs vraies / chaleurs supposées détectées) avoisine les 95 %, les éleveurs faisant rarement inséminer à tort. Les vêlages groupés facilitent la détection, la présence d'autres vaches en chaleur stimulant l'expression des comportements d'œstrus. A contrario, dans des troupeaux à fort niveau de production, avec des vêlages étalés et une mise à la reproduction en stabulation, l'expression des chaleurs sera discrète. Leur détection nécessitera donc une attention soutenue et le recours à l'ensemble des signes sexuels.

Devant les difficultés précédemment évoquées, de nombreuses aides à la détection des chaleurs ont été développées, en complément des outils classiques tels que les plannings de reproduction voire les détecteurs électroniques de chevauchement (peu sensibles puisque ne détectant que le comportement majeur d'œstrus) ou les podomètres simples (détectant l'activité mais hors période de transition stabulation pâturage ; à calibrer sur chaque vache par ailleurs). Deux grandes familles de nouvelles technologies ont été développées récemment. Les podomètres de nouvelle génération et les détecteurs d'activité sont des capteurs posés aux membres ou en collier sur la vache. Ils sont basés sur l'enregistrement en continu de l'activité de chacune d'elles (déplacement, temps couché ou debout, et pour les « activimètres » : mouvements de la tête, de l'encolure…). Le traitement de cette information par des algorithmes de calcul propres à chaque système permet alors d'alerter l'éleveur si une chaleur est détectée. L'efficacité de ces dispositifs a été évaluée en conditions expérimentales (Philipot et *al*., 2010 ; Chanvallon et *al*., 2012). La sensibilité est de l'ordre de 70 % pour le podomètre et de 60 % pour les activimètres, la spécificité s'établissant respectivement à 70 % (forte proportion de fausses alertes) et 85 % pour les deux types de dispositifs. Ces performances sont assez comparables à celles d'une détection par l'éleveur, légèrement meilleures dans le cas de la sensibilité, moindres dans celui de la spécificité, d'où un risque d'insémination à tort. Ces outils doivent donc être utilisés comme un appoint à la détection par l'éleveur et non comme substituts. Une étude récente (Holman et *al*., 2011) confirme que les meilleures performances (sensibilité de 75 % et spécificité de 92 %) étaient obtenues en combinant détecteur d'activité et surveillance du troupeau par l'éleveur.

En filière bovine allaitante, la proportion de vaches inséminées n'est que de l'ordre de 15 %, du fait notamment de la difficulté d'accès aux animaux en période de pâturage (la synchronisation par traitement hormonal permettant d'y pallier en partie). Les problèmes de détection des chaleurs naturelles n'ont donc pas la même acuité qu'en filière laitière. Dans les races à viande, les expérimentations réalisées en période hivernale par suivi vidéo (Blanc et *al*., 2010) ont montré que l'acceptation du chevauchement était encore exprimée par 90 % environ des femelles, mais qu'elle s'accompagnait de nombreux comportements sexuels secondaires qu'il serait judicieux de prendre en compte. Parmi ceux-ci, le temps passé debout apparait comme une variable simple à mesurer et relativement sensible qui pourrait être davantage intégrée dans les outils d'aide à la détection des chaleurs.

Chez les petits ruminants, la détection des chaleurs repose sur l'observation des chevauchements ou des marques de chevauchement par un mâle. Ce suivi est fastidieux et imprécis, l'effectif des troupeaux étant parfois considérable. Il a donc été remplacé par des traitements hormonaux quasi systématiques

pour permettre le recours à l'IA sans contrôle des chaleurs chez la brebis et la chèvre. La détection précoce est néanmoins une étape critique de la réussite de l'insémination et du maintien des rythmes de reproduction des femelles d'un troupeau, pour détecter des brebis non gestantes en fin de période de lutte en particulier. De plus, chez la chèvre, même lorsque les chaleurs sont induites par des traitements hormonaux, il a été montré qu'une détection des chaleurs améliore la fertilité. Enfin, lorsque les traitements hormonaux sont interdits (AB, certaines AOC) la détection demeure la seule solution pour pratiquer l'insémination sur des femelles, éventuellement synchronisées par un effet mâle (pour plus de détail, cf. la pratique élémentaire suivante).

Un détecteur électronique de chevauchement porté par les mâles (généralement munis d'un tablier pour empêcher l'accouplement) et associé à une identification électronique des femelles a été mis au point dans ce but (Bocquier et *al*., 2006). Son efficacité a été démontrée par suivi des chaleurs spontanées chez des brebis en monte naturelle, mais également par suivi des chaleurs induites chez des brebis synchronisées par des traitements hormonaux, y compris sur des effectifs importants et sur plusieurs cycles successifs (Viudes et *al*., 2012).

Chez les ruminants, et en particulier les vaches laitières, filière de loin la plus concernée :

- Une meilleure détection des chaleurs évite de rallonger l'intervalle entre cycles de production, ce qui a pour effet d'améliorer la production à qualité de produit constant ;
- Le recours aux nouvelles technologies de détection des chaleurs devra être raisonné par l'éleveur en termes de rapport coût / avantages :
  - ✓ si les performances de détection par l'éleveur sont clairement insuffisantes, ou si l'investissement en temps doit être mis en en balance avec l'investissement financier, ces outils présentent de l'intérêt ; dans ce cas, le niveau d'endettement sera accru ;
  - ✓ par contre, quand le niveau de détection est acceptable et la main d'œuvre non limitante, l'investissement ne se justifie plus ;
- Les charges variables n'étant pas ou peu affectées (dans les limites de la maintenance s'il y a eu investissement), la rentabilité, les soldes de gestion intermédiaires, l'autonomie et la dépendance sont améliorés ; seul le RCAI est susceptible de stagner s'il y a eu investissement ;
- Du fait des gains d'efficacité alimentaire au niveau du cheptel, la consommation d'énergie directe et indirecte ainsi que les rejets de nitrate, de GES et de NH3 sont diminués :
- Le temps de travail sera réduit en cas de recours aux dispositifs de détection de chaleurs, augmenté dans le cas contraire, davantage de temps devant être passé à surveiller les animaux ;
- La sensibilité aux aléas tend à s'améliorer, la fertilité étant une composante majeure de la gestion des troupeaux.

B1.2 - Utiliser des alternatives aux traitements d'induction et/ou de synchronisation des chaleurs

La reproduction chez les ovins et les caprins est saisonnée (revue de Pellicer-Rubio et *al*., 2009). Au cours de l'année, les deux sexes connaissent une période d'activité sexuelle maximale (saison sexuelle, en général d'août à janvier) et une autre d'activité minimale ou de repos sexuel (contre-saison, en général de février à juillet). La durée de la saison sexuelle varie cependant beaucoup selon les races. En élevage ovin allaitant, la conduite de la reproduction la plus fréquente est basée sur une mise-bas par brebis et par an (avec une seule période de mise-bas annuelle par troupeau, éventuellement par lot). Cependant, pour améliorer la productivité numérique par brebis, il est possible d'augmenter le nombre de portées par an (3 agnelages en 2 ans, notamment), ce qui nécessite la mise à la reproduction à plusieurs périodes de l'année. La conduite de la reproduction des ovins laitiers, par contre, est caractérisée par une mise-bas par campagne avec un saisonnement marqué à très marqué selon les régions. La mise à la reproduction a lieu en fin de printemps et en début d'été pour caler le début de la lactation avec la date d'ouverture des laiteries (de décembre à

août). Chez la chèvre laitière, le cycle de production est d'un an, ce qui implique également une mise à la reproduction une seule fois par an. L'éleveur peut alors choisir une seule période de mise-bas par an pour l'ensemble du troupeau (cas le plus fréquent) sauf à mettre en place plusieurs lots de mise-bas.

Les stratégies de maîtrise de la reproduction mises en place par les éleveurs ovins et caprins ont comme objectifs principaux l'obtention d'une plus grande souplesse dans le choix des périodes de mise-bas (livraisons de lait et d'agneaux), la réduction des périodes improductives et le groupage des mises-bas (rationalisation de la gestion du troupeau) *via* la synchronisation des fécondations (facilitant le recours à l'IA donc la diffusion du progrès génétique). Pour atteindre ces objectifs, les traitements hormonaux pour l'induction et la synchronisation des chaleurs et des ovulations sont les plus fréquemment utilisés. Ils sont très efficaces, tant à contre-saison (femelles en anœstrus) qu'en saison sexuelle. Toutefois, outre qu'il est conseillé d'en raisonner le nombre au cours de la carrière des animaux (production d'anticorps à l'encontre d'une des hormones administrées), ces traitements hormonaux présentent des limites. D'une part, ils ne permettent pas d'induire une activité cyclique soutenue en contre-saison. D'autre part, ils sont susceptibles d'être remis en question à l'échelle des filières et de la société (du fait notamment des rejets générés dans l'environnement et de l'image négative véhiculée) ainsi qu'à l'échelle des exploitations (recherche de réduction des coûts). Des alternatives ont donc été recherchées.

L'effet mâle (Chanvallon et *al*., 2011) consiste à introduire des mâles dans un troupeau de femelles en repos saisonnier. Cette pratique induit chez une partie d'entre elles la reprise de la cyclicité permettant un accouplement fertile 3 à 4 semaines plus tard. Cet effet du mâle est très efficace dans certaines races (Mérinos d'Arles, Ile de France…) mais les réponses sont plus variables dans d'autres (Romane) ou faibles (Moutons Vendéens). Il est également très variable entre élevages et entre années. L'effet mâle seul ne permet pas la synchronisation des ovulations chez des femelles cycliques, et par conséquent n'est pas efficace en saison sexuelle. Il constitue néanmoins une alternative à l'utilisation d'hormones pour obtenir un bon groupage de mises-bas à faible coût hors période sexuelle.

La manipulation de la photopériode (Chemineau et *al*., 1992) permet de maîtriser la saisonnalité et de rendre possible la reproduction hors de la période sexuelle. Les traitements photopériodiques sont basés sur la perception par les animaux d'une alternance de jours longs (plus de 12h de lumière/jour suite à des jours courts) et de jours courts (moins de 12h de lumière suite à des jours longs) induisant la production d'une hormone responsable de la reprise du cycle, la mélatonine. En pratique, des jours longs ou jours courts « artificiels » peuvent être facilement appliqués dans des bâtiments étanches à la lumière, puisqu'il suffit de contrôler la durée d'éclairement journalière des animaux, mais de telles installations sont coûteuses. En outre, aucune intervention des éleveurs ne peut être réalisée pendant les heures d'obscurité, lesquelles ne sont pas toujours compatibles avec les heures de traite et/ou chez des animaux sortant au pâturage. Le traitement photopériodique est donc plus difficile à mettre en place quand des périodes d'obscurité totale de 16h doivent être appliquées à des moments de l'année où, naturellement, la durée journalière d'éclairement est supérieure à 12h. Dans des bâtiments ouverts, et pour des mises à la reproduction printanières, les jours longs sont administrés en hiver en éclairant les animaux avec de la lumière artificielle. Ce traitement doit se terminer au plus tard en mars, la photopériode étant encore de courte durée ce qui stimule l'activité sexuelle (perception de jours plus courts). Pour une mise à la reproduction plus tardive, par contre, le recours à des périodes d'obscurité en bâtiment étanche à la lumière est impératif, sauf à poser des implants de mélatonine, ce qui revient à utiliser des hormones sous une autre forme. En résumé, le principal avantage des traitements photopériodiques est d'induire l'activité sexuelle à contre saison dans les deux sexes, avec reprise de l'activité cyclique (permettant le rattrapage des échecs de fécondation lors des cycles suivants). Par contre, cette pratique utilisée seule ne permet pas le groupement des chaleurs, les ovulations induites s'étalant sur 2 à 3 semaines ce qui rend plus difficile le recours à l'IA. Celui-ci peut être obtenu simultanément en combinant le traitement photopériodique avec l'effet mâle.
Les traitements photopériodiques sont surtout utilisés par les éleveurs caprins (1/4 des élevages environ ; protocole majoritaire : jours longs avec éclairement artificiel en hiver suivis de jours naturels). A ce jour, ils le sont peu en filière ovine allaitante, pas du tout en filière ovine laitière.

Des traitements hormonaux sont également utilisés chez le porc pour induire la synchronisation des chaleurs des femelles du pré-troupeau (cochettes) mais peu d'alternatives efficaces sont disponibles. Dans la filière bovine, leur utilisation est très marginale en élevage laitier, un peu plus importante en élevage allaitant (l'objectif étant dans ce cas de faciliter le recours à l'IA, peu développée dans cette filière pour des raisons d'accès aux animaux, en période de pâturage en particulier).

- Chez les petits ruminants, quand les pratiques alternatives aux traitements d'induction et/ou de synchronisation de chaleurs sont maîtrisées, la production n'est pas affectée, ni la qualité des produits ;
- Les charges étant globalement réduites (malgré l'éclairement artificiel associé à certains protocoles), la rentabilité, la valeur ajoutée et l'autonomie sont améliorées ;
- L'effet mâle utilisé seul ne génère pas d'investissement significatif ; par contre, le choix du protocole de photopériodisme (incluant celui de la saison de reproduction visée) constitue un paramètre majeur influant sur l'importance des investissements requis, donc de l'endettement ; il sera toujours supérieur à celui de la situation référence (l'utilisation d'hormones), mais l'écart fluctuera d'autant plus en défaveur des pratiques alternatives que l'investissement sera élevé (simple équipement d'éclairage artificiel de bâtiments ouverts *vs* bâtiments étanches à la lumière) ;
- De ce fait, l'EBE, le RCAI et la dépendance aux aides sont susceptibles de fluctuer fortement, à la hausse comme à la baisse ;
- La consommation d'énergie directe (électricité) est accrue ;
- Par contre, les rejets (vers l'eau, l'air et l'écosystème) liés à l'utilisation de produits vétérinaires sont réduits ;
- Le temps de travail est globalement augmenté, les opérations de conduite de la reproduction étant moins systématiques et planifiables que lors du recours aux traitements hormonaux (variabilité de l'effet mâle notamment).

B1.3 - Pratiquer des mises-bas saisonnières

Les mises-bas saisonnières correspondent à un regroupement plus ou moins prononcé sur une période de l'année (ou plus rarement deux, largement espacées). Chez les bovins, cet étalement a lieu sur une période plutôt longue, en particulier chez les vaches laitières du fait de la difficulté d'assurer leur fécondation dans les 3 mois suivant la mise-bas. Ainsi, les vêlages dit « d'automne » s'étalent communément de septembre à février, et dans nombre de troupeaux à forte productivité laitière (Holstein surtout), ils sont désormais répartis sur la plus grande partie de l'année, contrairement à la situation des bovins allaitants dont la reproduction reste fortement saisonnée. Chez les petits ruminants dont la reproduction est conditionnée par la saison sexuelle, les mises-bas sont saisonnées de fait (à contre-saison, le cas échéant).

Un des principaux avantages de la pratique des mise-bas saisonnières est d'assurer une meilleure adéquation entre les besoins des animaux et l'offre alimentaire. Chez les vaches laitières en zones herbagères, notamment d'altitude, le regroupement des vêlages au début du printemps plutôt qu'en fin d'hiver permet de faire coïncider les plus forts besoins des vaches avec le début de la pousse de l'herbe, mais la production annuelle de matières utiles du lait n'est pas significativement modifiée. Par contre, le saisonnement permet de maximiser l'ingestion annuelle d'herbe, dans une perspective de réduction de la distribution d'aliment concentré (Dillon et *al*., 1995 ; Steinwidder et *al*., 2010). Un cycle de production strictement annuel apparait toutefois difficile à mettre en place puis à maintenir du fait des difficultés de fécondation des vaches. Un modèle de simulation à l'échelle de l'exploitation a été récemment élaboré pour optimiser l'adéquation entre les dynamiques des productions d'herbe et de lait dans un contexte de fermes laitières herbagères de zone de montagne (Jacquot et *al*., 2012).

Le regroupement des vêlages sur une période courte constitue également une alternative pour réduire le travail d'astreinte en élevage laitier (Brocard et *al*., 2007). Un objectif de fermeture momentanée de

la salle de traite ne semble toutefois pas atteignable, le regroupement des vêlages ne pouvant être maintenu sur un intervalle inférieur à 3 mois, sauf à pratiquer des taux de réforme incompatibles avec le renouvellement du troupeau. Le travail a cependant été fortement rationnalisé. Dans un contexte de niveau de production élevé assuré par des ressources fourragères abondantes (maïs, pâturage à base de ray-grass anglais) mais à faible niveau de concentré, le regroupement des vêlages sur deux périodes courtes distinctes (automne *vs* fin d'hiver) n'a toutefois pas mis en évidence d'avantage technique ou économique net en faveur d'une saison de vêlage ou de l'autre malgré la forme très différente des courbes de lactation obtenues.

Chez les bovins allaitants où les mises-bas ont très majoritairement lieu l'hiver avec un fort regroupement sur 2 à 3 mois, la période de reproduction a lieu au pâturage, ce qui limite les possibilités de surveillance et de recours à l'IA. Le décalage des vêlages à l'automne peut permettre de bénéficier d'une période de reproduction en bâtiment. Si l'objectif est de réguler la production tout en maitrisant mieux la reproduction, les vêlages peuvent être répartis sur deux périodes. A titre d'illustration, dans un contexte de zone humide favorable à la pousse de l'herbe estivale, l'intérêt d'une répartition du cheptel entre des périodes de vêlage d'automne et de printemps a été démontré. Toutefois, une différence de croissance significative conjuguée à une plus grande variabilité a été mise en évidence sur les génisses d'élevage en faveur du vêlage d'automne (Basset et *al*., 2001). Ainsi, lors du suivi ultérieur de ces mêmes animaux, selon les modalités de conduite alimentaire propres à chacun des lots, une prise de poids supérieure a eu lieu suite au 1er vêlage et l'écart s'était résorbé en grande partie chez les vaches abattues après 3 cycles de production (Offredo, 2005).

En filière ovine allaitante, le regroupement des mises-bas à des périodes spécifiques peut être recherché. A titre d'illustration, un déficit de production d'agneaux jeunes sur une période s'étendant de novembre à février a été observé. Il affecte plus particulièrement les filières engagées dans des signes de qualité pour lesquelles l'âge des agneaux est un élément constitutif des cahiers des charges. Répondre à cette demande oblige à des agnelages de fin d'été nécessitant la maitrise de la reproduction à contre-saison sexuelle, mais permet par contre d'envisager une conduite des brebis en lactation sur pâturages d'automne. Les croissances des agneaux sous la mère, proches de celles obtenues en bergerie, permettent de réaliser d'importantes économies de fourrages et de concentrés, au prix d'un allongement de l'ordre d'un mois de la période de production (Pottier et *al*., 2007).

Chez la chèvre, les mises-bas qualifiées de tardives (mars majoritairement mais s'étalant jusqu'à juin) représente un peu moins d'un tiers des mises-bas annuelles (Bossis et *al*., 2008a). Cette pratique permet de maximiser le lait d'automne pour bénéficier d'un prix du lait intéressant sans faire intervenir des traitements de désaisonnement du troupeau. Plus les mises-bas sont tardives, plus l'intérêt économique s'accroît. Cette pratique est également très adaptée au pâturage et à l'affouragement en vert, permettant de valoriser pleinement l'herbe de printemps. A l'inverse, trop tardives, elles auront des incidences plutôt négatives sur le niveau de production, la gestion des chevreaux et la croissance des chevrettes. Des mises bas entre le 15 avril et le 30 mai semblent un bon compromis. Par ailleurs, le recours à des lactations longues (supérieures à 300 jours) est également associé au désaisonnement puisqu'il permet l'étalement de la production laitière (Bossis et *al*., 2008b).

- La pratique des mises-bas saisonnières n'affecte pas la production ni la qualité des produits (rapportée au niveau d'une lactation entière dans le cas des bovins laitiers) ;
- Les effets sur les performances économiques sont très fluctuants car ils vont dépendre :
  - ✓ du surcoût (davantage de fourrages récoltés nécessaires) ou au contraire du moindre coût alimentaire (davantage de pâturage) associés à la nouvelle saison de mise bas,
  - ✓ ainsi que du devenir et de la valorisation des produits en fonction de la saison à laquelle ils seront mis en marché (lait, broutards mâles, agneaux) ;
- L'adéquation entre les besoins des animaux et les ressources fourragères disponibles étant une des motivations majeures du saisonnement des mises-bas, l'efficacité alimentaire tend à s'améliorer, induisant une réduction de la consommation d'énergie indirecte et des émissions de nitrate et de

GES ; le temps de pâturage étant généralement accru en cas de saisonnement des mises-bas, l'émission de NH3 est réduite.

- L'impact sur le travail et sa pénibilité sera lui aussi fonction des situations induites par la saison de mises-bas choisie ;
- Le recours à une plus grande proportion de ressources alimentaires à moindre coût réduit la sensibilité aux aléas.

B1.4 - Utiliser des semences sexées

Le tri des spermatozoïdes par cytométrie en flux, développé initialement par l'USDA (*Beltsville Sperm Sexing Technology)*, est la seule technique ayant démontré son efficacité à ce jour, avec des taux de succès de l'ordre de 90 %, tant pour le sexe mâle que femelle, dans de nombreuses espèces de mammifères d'élevage ou non (Johnson., 2000). Chez les bovins laitiers où elle a été le plus utilisée (pour la procréation de femelles), le *sex ratio* constaté lors de la naissance des produits est conforme à ces proportions. Le pouvoir fécondant du sperme est réduit par le processus de tri, mais reste compatible avec un usage en élevage sous forme congelée, compte tenu des avantages procurés. Le débit des dispositifs de tri a longtemps été, et reste encore, un premier facteur limitant de sa diffusion. Chez les bovins, pour rendre acceptable le coût des doses sexées, la concentration a été réduite à 2 x 10^6 spermatozoïdes, soit le 1/10ème seulement d'une dose commerciale normale. Avec l'amélioration au fil du temps des dispositifs de tri, les débits se sont néanmoins accrus, passant de 0,4 x 10^6 spermatozoïdes par heure lors des débuts à 6 x 10^6 /h dans les années 90, pour atteindre 15 à 20 x 10^6 /h à ce jour. La réduction du pouvoir fécondant des doses congelées constitue le second facteur limitant. Elle résulte à la fois d'une moindre fécondance intrinsèque (suite au tri) et de la réduction de la concentration en spermatozoïdes. De ce fait, chez les bovins, leur usage est plutôt préconisé chez les génisses dont la fécondité est supérieure à celle des vaches.

De nombreuses comparaisons ont été réalisées en conditions expérimentales ou commerciales, sur des effectifs variables mais parfois très importants, tant en races laitières qu'allaitantes (méta-analyse de Seidel et *al*., 1999 ; Bodmer et *al*., 2005 ; Andersson et *al*., 2006 ; revue de Garner et Seidel, 2008). Chez les génisses, le taux de conception varie fortement selon les dispositifs évalués (les modalités de conduite différant parfois fortement), mais l'efficacité relative des doses sexées reste élevée, de l'ordre de 70 à 90 % du taux de fertilité obtenu avec des doses commerciales. Concernant les modalités de mise en place des doses, il n'a pas été observé de différence significative (constante et/ou notable) entre IA classique (intra-utérus) et profonde (intra cornes utérines, plus difficile à mettre en place) bien que cette dernière technique soit considérée *a priori* comme mieux adaptée aux faibles concentrations en spermatozoïdes. Chez les vaches, par contre, l'efficacité relative des doses sexées est beaucoup plus faible, de l'ordre de 40 à 50 % seulement du taux de fertilité obtenu avec des doses commerciales, sans variations notables entre dispositifs évalués. Dans certaines comparaisons, des doses de semence non sexée mais à concentration en spermatozoïdes réduite ont été utilisées simultanément. Ces dispositifs ont mis en évidence qu'une fraction variable mais très significative (de l'ordre de la moitié) du déficit d'efficacité par rapport aux doses commerciales résultait de la faible concentration imposée pour des raisons de coût aux doses sexées. Pour autant, les essais réalisés sur génisses n'ont pas montré de différence significative entre des concentrations faibles de 1,5 *vs* 3 x 10^6 spermatozoïdes par dose, l'ordre de grandeur de l'écart entre doses sexées et commerciales restant de 1 à 10, sans possibilité de le réduire franchement. La mise en évidence de facteurs techniques et biologiques influençant le potentiel de fertilisation intrinsèque des spermatozoïdes soumis au processus de tri (Rath et *al*., 2009) constitue une autre voie d'amélioration pour réduire le déficit d'efficacité de la semence sexée.
En dépit de ces performances que l'on pourrait juger médiocres, la demande en semence sexée bovine est croissante dans le monde (en France, deux sites de production de semence sont désormais équipés de ces dispositifs sous licence). Cette technique permet en effet aux entreprises de sélection de procréer des mâles futurs reproducteurs à la demande pour optimiser le fonctionnement de leur schéma de sélection. Son utilisation par les éleveurs favorise l'obtention de femelles de renouvellement

en troupeau laitier et la production de mâles en élevage allaitant, le cas échéant sous forme de produits de croisement.

Chez le porc, le sexage de la semence par cette technique est également possible, mais son utilisation au niveau commercial se heurte à de nombreuses difficultés pratiques. D'une part, le nombre de spermatozoïdes requis pour inséminer une truie selon la méthode conventionnelle utilisée par les éleveurs est de 2 à 3 x 10^9 (soit environ 100 fois plus que pour l'espèce bovine). Des réductions au 1/50ème de la concentration des doses ont donc été appliquées, mais les besoins générés pour une seule IA (50 x 10^6 spermatozoïdes) restent encore trop élevés en regard du débit des dispositifs de tris. A cette concentration, seule une insémination profonde intra-corne utérine, réalisée avec un cathéter spécifique, permet d'obtenir une fertilité et une prolificité normales (Vasquez et *al*., 2009). En cas d'insémination utérine simple, la fertilité ainsi que la prolificité sont très réduites, du fait notamment d'une forte mortalité embryonnaire. Encore ces résultats étaient-ils obtenus avec du sperme sexé frais. Après congélation, seule l'insémination chirurgicale a permis l'obtention de gestations. Les protocoles de congélation couplés au processus de tri devraient donc être grandement améliorés. Toutefois, on ne peut perdre de vue que dans la filière porcine, l'IA n'est réalisée qu'en semence fraiche et par l'éleveur, ce qui contribue à réduire les coûts. La gestion en flux tendu du parc de verrats est en effet compatible avec la conduite de la reproduction en bandes des truies, d'une part, la pratique de l'IA (conventionnelle ou post-cervicale) aisée à mettre en place par l'éleveur d'autre part. De ce fait, la diffusion de semence de porc sexée au niveau des élevages de production semble improbable et pourrait tout au plus trouver quelques application au niveau des cheptels de sélection. Chez les volailles, enfin, la technique de tri par cytométrie en flux est inapplicable puisque c'est le sexe femelle qui est hétérogamétique (déterminisme du sexe du type ZZ / ZW).

- Chez les bovins, l'utilisation de semence sexée restreinte aux seules génisses permet d'accroitre la production des cheptels en accroissant la part d'animaux les plus productifs : femelles renouvellement plutôt que veaux mâles à performances bouchères limitées en filière lait, mâles destinés à l'engraissement en filière viande ; la qualité des produits reste inchangée ;
- De ce fait, malgré l'augmentation significative du prix des doses et donc des charges variables, la rentabilité, les autres soldes de gestion, l'autonomie et la dépendance sont améliorés ;
- L'allocation des ressources disponibles sur l'exploitation au profit du sexe le plus efficient pour la production choisie (femelles pour lait, mâles pour viande) améliore les performances liées à l'efficacité de transformation : consommation énergie indirecte et de P, réduction des émissions de nitrate et de GES ;
- Le travail est rendu plus efficace par une meilleure maîtrise et la possibilité de planifier des opérations d'élevage telles que la gestion des élèves ou des mâles à engraisser ; la sensibilité aux aléas s'en trouve améliorée.

B1.5 - Accroître l'efficience de l'accouvage

En filière volaille de chair, l'alimentation représente 60 % environ du coût de production du kg vif de poulet, le poussin constituant le second poste de coût pour un peu moins de 20 % (Van Horne, 2009). Améliorer l'efficience de l'accouvage permet donc tout d'abord de déduire le coût de production du poussin en accroissant le nombre de poussins commercialisables obtenus à partir d'un cheptel reproducteur donné. Celui-ci dépend :

- du nombre d'œufs fertiles obtenus, résultant de l'intensité de ponte des poules reproductrices, d'une part, et de la proportion d'œufs fertiles d'autre part ; ces paramètres sont conditionnés par la conduite des futurs reproducteurs puis du cheptel reproducteur : conduite alimentaire, programme lumineux de stimulation photopériodique, renouvellement des coqs, notamment ;
- de la proportion de poussins éclos à partir des œufs fertiles incubés (les œufs non fécondés n'étant détectables qu'au stade de l'incubation et donc mis en incubateurs eux aussi) ainsi que de la proportion de poussins de qualité jugée satisfaisante parmi ceux éclos ; ces paramètres sont

conditionnés par la conduite de l'accouvage proprement dit : stockage des œufs à couver, allotement (lors du chargement des incubateurs), incubation, éclosion, notamment.

Un accouvage plus efficient permet d'autre part d'améliorer, de manière indirecte, les performances ultérieures du poulet de chair. La qualité du poussin (caractéristiques qualitatives, poids à l'éclosion…) conditionne en effet pour partie la croissance et la consommation alimentaire des poulets, en particulier au début de la période d'élevage (Tona et *al*., 2003 ; Ulmer-Franco et *al*., 2010), les poussins sans anomalies morphologiques (vésicule vitelline bien résorbée, notamment) et/ou plus lourds étant avantagés.

En amont de la conduite d'élevage, on notera que chez les poulets de chair, des choix génétiques particuliers permettent de réduire le coût de production du poussin en recourant à des reproductrices nanifiées dont le poids vif, inférieur de presque 1/3 à celui de reproductrices non porteuses du gène de nanisme *dw* (Mérat, 1984), permet de réduire les besoins alimentaires de 20 à 25 %. Ce choix, autrefois majoritaire en France, est cependant remis en question dans la mesure où il réduit légèrement le poids du poussin, lequel est conditionné par le poids d'œuf, lui-même corrélé au poids adulte.

Dans les souches lourdes en particulier, la fertilité des cheptels reproducteurs est conditionnée par deux facteurs majeurs : la conduite alimentaire, impliquant un rationnement pour éviter les surpoids, et la gestion du parc de coqs, nécessitant un renouvellement progressif pour prendre en compte la baisse de leur libido résultant d'un cycle de reproduction plus court que celui des poules (Briere et *al*., 2011).

De nombreux travaux (Ulmer-Franco et *al*., 2010 ; Tona et *al.*, 2003 ; Tona et *al.*, 2004) ont été consacrés aux effets des différents paramètres qui affectent les résultats techniques du processus d'accouvage proprement dit, ainsi qu'à leurs interactions :

- L'accroissement de la durée du stockage préalable des œufs à couver tend à accroitre la durée d'incubation et à réduire le taux d'éclosion, la proportion de poussins sans anomalies morphologiques et leur croissance, notamment lors des 7 premiers jours ; ces effets sont d'autant plus importants que les reproductrices sont âgées ;
- L'avancement en âge des reproductrices tend à réduire la durée d'incubation et à accroitre la consommation précoce et la croissance des poulets ;
- L'accroissement du poids des œufs à âge des reproductrices constant tend à accroitre la durée d'incubation et à réduire le taux d'éclosion, ainsi qu'à accroitre la croissance des poulets ; le gain de croissance est cependant plus modeste que lorsque le poids d'œuf est considéré indépendamment de l'âge des reproductrices, le poids de l'œuf s'accroissant régulièrement au cours de la saison de ponte.

La qualité des poussins, en termes d'absence d'anomalies morphologique, est particulièrement importante. Leur mise en élevage entrainerait une forte dégradation de la croissance et de l'efficacité alimentaire de ces lots, et surtout un accroissement de la mortalité en cours d'élevage d'un facteur supérieur à x 3. Quand les œufs non éclos sont remis en éclosoirs pour 24h, la consommation alimentaire et la croissance précoces des poussins obtenus sont réduites, mais une compensation a lieu en fin de période de croissance. La mortalité s'accroit cependant d'un facteur x 2 (Bergoug, 2013).

La plupart des mesures qui peuvent être prises pour améliorer l'efficience de l'accouvage reposent sur un préalable : l'existence de volumes importants d'œufs à couver à traiter au niveau des couvoirs.

- La durée de stockage des œufs sera d'autant plus aisément réduite que la capacité des couvoirs permettra de démultiplier le nombre des incubateurs (à défaut, le stockage pourra concerner préférentiellement les œufs issus de cheptels jeunes.
- De surcroît, l'ensemble des œufs produits par le cheptel sur la totalité de la saison de ponte devant être utilisé (quel que soit leur poids et l'âge du cheptel au moment de la ponte), la disponibilité

d'importants volumes à traiter permet de constituer des lots d'œufs homogènes, au moins en termes de durée de stockage et d'âge des cheptels. Cette homogénéisation des lots présente de nombreux avantages :

- ✓ conduite plus aisée de l'incubation : réglage de l'hygrométrie (liée à la proportion d'albumen, corrélée à l'âge des reproductrices), retrait des œufs non fécondés puis de ceux affectés par la mortalité embryonnaire (corrélé à l'âge des reproductrices) ; le taux d'éclosion en sera légèrement amélioré ;
- ✓ réduction de la durée de la fenêtre d'éclosion (corrélé à la durée de stockage et à l'âge des reproductrices) d'où une moindre proportion de poussins déshydratés (éclos trop tôt) ou à contrario d'œufs encore non éclos ;
- ✓ amélioration corrélative de l'homogénéité des poussins en termes d'anomalies morphologiques et de poids à l'éclosion (corrélé à la durée de stockage et à l'âge des reproductrices) ;
- ✓ par suite, réduction des phénomènes de compétition alimentaire (résultant des différences de poids initial) et amélioration de l'homogénéité de la consommation alimentaire précoce et de la croissance des poulets ; cette dernière est particulièrement importante en filière volailles de chair où les lots sont abattus en une seule fois à âge fixe pour un objectif de poids donné.

En filière volailles de chair, accroitre l'efficience de l'accouvage :

- améliore les performances de croissance (voire l'indice de consommation) donc la production quantitative, à qualité de produits constante ;
- impacte favorablement la plupart des performances économiques de l'atelier avicole du fait de la réduction du coût des poussins, d'une part, et de l'amélioration de leurs performances en période de croissance d'autre part ; il convient cependant de noter que les éventuels surcoûts liés à l'amélioration de l'efficience de l'accouvage se trouvent ici supportés par l'amont, i.e. les accouveurs eux-mêmes ; toutefois, il s'agit avant tout d'économies d'échelles supposant un accroissement des volumes à traiter ou une plus grande concentration des entreprises du secteur, et non de charges opérationnelles supplémentaires à proprement parler ;
- du fait de la meilleure vitalité des poussins produits, les rejets liés aux produits vétérinaires sont réduits et le bien-être des jeunes animaux amélioré.

B2 - Elevage des élèves

B2.1 - Ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation

La pratique consistant à ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation reste assez peu répandue mais ne manque pas d'intérêt dans certaines situations (L'éleveur laitier, 2013). C'est le cas lorsque la main-d'œuvre ou les capacités des bâtiments sont limitantes. En régions à forte densité d'élevages, les contraintes environnementales peuvent également inciter à réduire le chargement, en recentrant l'élevage sur le seul cheptel de production. Les besoins de trésorerie sont cependant accrus. Dans les situations où la surface n'est pas limitante, contrairement à la main-d'œuvre, le développement de cultures de vente peut permettre d'y pallier en partie.

Cette pratique nécessite une grande vigilance sur le plan sanitaire, le renouvellement du troupeau n'étant plus réalisé de manière autonome. La délégation de l'élevage des génisses à des tiers, sous une forme contractuelle, peut permettre de prévoir des dispositions plus contraignantes que la simple réglementation sanitaire. Elle limite de fait le nombre de troupeaux d'origine des génisses élevées simultanément par le prestataire, ce qui contribue également à réduire les risques sanitaires par rapport au recours au marché. En outre, cette formule permet de conserver la maitrise de la génétique du troupeau de vaches laitières en produisant les jeunes génisses qui seront reprises quelques mois avant vêlage.

- Ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation permet d'augmenter les volumes de lait produit, la totalité des ressources de l'exploitation étant affectée aux seules vaches laitières ; la qualité du lait n'est pas impactée ;
- Les charges variables sont accrues, les génisses de renouvellement étant achetées (ou reprises auprès de l'éleveur à façon) au prix du marché ;
- L'accroissement des ventes de lait et recettes annexes (davantage de vaches de réforme et de veaux mâles, veaux femelles cédés à 8 jours au lieu d'être mis en élevage) compense néanmoins le surcoût induit par le rachat des génisses de renouvellement ; en outre, l'endettement est réduit, des installations et équipements spécifiques au pré-troupeau n'étant plus nécessaires ; de ce fait, la rentabilité et les soldes de gestion s'améliorent, de même que la transmissibilité de l'exploitation ;
- Le fait de ne disposer sur l'exploitation que des seuls animaux productifs réduit la consommation de ressources naturelles : énergie directe et indirecte, eau, phosphore ; les rejets dans l'environnement sont diminués : nitrate, phosphore, GES, NH3 ;
- Par contre, l'utilisation donc les rejets de produits vétérinaires sont accrus, une majorité de problèmes sanitaires concernant les vaches laitières (pathologies du vêlage, de production, de la reproduction) et non les génisses en cours d'élevage ;
- Les surfaces semi-naturelles sont défavorablement impactées par l'absence du pré-troupeau qui valorise préférentiellement des parcelles enherbées éloignées et/ou à faible productivité ;
- Le temps de travail est réduit du fait de la plus grande rationalisation du travail dans l'élevage (recentrage sur une seule catégorie d'animaux) ; par contre, la sensibilité aux aléas est accrue du fait de l'accroissement des flux financiers et des risques inhérents aux fluctuations de cours du lait, des matières premières et des génisses de renouvellement elles-mêmes.

B2.2 - Avancer l'âge à la première mise-bas

L'avancement de l'âge à la première mise-bas permet de réduire la durée de la période improductive des femelles productrices et/ou reproductrices, rapportée à l'ensemble de la carrière. En pratique, l'objectif sera de faire vêler à 2 ans ou agneler à 10 mois, ce qui permet d'accroitre production par UGB.

En filière bovine laitière, l'âge au premier vêlage reste étroitement centré sur 36 mois dans les races tardives que sont la Normande et la Montbéliarde, mais d'avère beaucoup plus étalé entre 24 et 36 mois, avec un pic à 24 mois suivi d'un plateau, chez la race Holstein beaucoup plus précoce (Institut de l'Elevage, 2011). Les itinéraires techniques associés à différents objectifs d'âge au vêlage sont connus (Le Cozler, 2009). Dans le cas d'un vêlage à 24 mois d'âge, une puberté acquise précocement, une cyclicité maintenue, un bon état d'engraissement et un bon développement aux différents stades sont des objectifs à atteindre dans les meilleures conditions possibles pour le succès de cette pratique. Ceux-ci dépendent grandement des programmes alimentaires et des races, mais il est important d'éviter un engraissement excessif qui pourrait être pénalisant pour la suite de la carrière. Dans le cas d'un vêlage à 30 ou 36 mois des rythmes de croissance plus modérés, notamment en période de stabulation, sont possibles, à condition de ne pas descendre trop bas en terme de croissance journalière, pour ne pas affecter la reproduction et la carrière des vaches. Les régimes alimentaires à base d'herbe et exploitant les capacités de croissance compensatrice des animaux permettent de réduire significativement et efficacement les coûts d'élevage.

En conditions expérimentales, les génisses Holstein vêlant à 24 mois sont plus légères, consomment moins et produisent moins de lait en première lactation que celles vêlant à 33 mois (Brunschwig et *al*., 2012). L'écart de poids vif est compensé à partir du 3ème vêlage et la longévité n'est pas affectée. Rapportée à leur durée de carrière respective, soit un rang moyen de vêlage de 2,9 et 2,7 pour un premier vêlage à 24 ou 33 mois, la quantité de lait produite suite à un vêlage précoce est identique par jour de vie productive, mais supérieure par jour de vie, par rapport à un vêlage plus tardif.

Des résultats dans le même sens, quoique moins systématiquement favorables, ont été obtenus en conditions expérimentales sur génisses normandes vêlant à 25 ou 35 mois (Houssin et *al*., 2012). Les génisses vêlant précocement ont un poids au premier vêlage plus faible et produisent nettement moins de lait en première lactation, la somme des trois premières lactations restant inférieure à celle des génisses ayant vêlé tardivement. Par contre, la longévité des génisses ayant vêlé précocement est au moins aussi bonne. Ayant fait en moyenne un peu plus de lactations, elles produisent davantage de lait par jour de vie, malgré une production par jour de vie productive inférieure à celle des génisses ayant vêlé tardivement.

En filière allaitante où les races, tant à viande que rustiques, sont tardives, l'âge au premier vêlage reste étroitement centré sur 36 mois (Institut de l'Elevage, 2011). En race Charolaise, caractérisée par une fréquence élevée de vêlages difficiles, la pratique du vêlage à deux ans a longtemps été considérée comme trop risquée et ne concerne encore que quelques pour cent des animaux. L'augmentation constante du poids moyen du cheptel reproducteur conjuguée à l'amélioration des itinéraires de conduite des génisses d'élevage ont cependant minimisé ces risques. En conditions expérimentales, l'alimentation des génisses destinées à vêler 2 ans a été renforcée lors de certaines étapes clés de leur croissance et leurs veaux ont été complémentés au pré. Le taux moyen de gestation de ces génisses a été réduit par rapport à celui des contemporaines devant vêler à 3 ans, la différence s'expliquant par la moindre fertilité celles qui n'atteignaient pas le poids minimum escompté à l'âge de 15 mois (Farrié et *al*., 2008). Le poids au vêlage est réduit par rapport à celui des contemporaines vêlant à 3 ans, sans rattrapage ultérieur lors des cycles successifs (Pierret et *al*., 2009). Lors du premier vêlage, le taux de vêlages à problème n'a pas été affecté par l'âge au premier vêlage. Par contre, le poids des veaux a été réduit et leur taux de mortalité s'est fortement accru, d'où certaines réformes prématurées pour cause de perte de veau. Cette surmortalité tend à subsister après le second vêlage mais disparait au-delà. La croissance des veaux nés de génisses est réduite, cet effet étant plus marqué dans les tous premiers mois du fait d'une moindre production laitière des mères. La carrière des reproductrices n'est pas affectée, le taux de réforme par rang de vêlage et le rang moyen de vêlage à la réforme étant comparables. Les simulations économiques réalisées montrent que malgré des performances individuelles réduites en début de carrière, le vêlage à 2 ans permet d'augmenter le nombre de vêlages de l'ordre de 5 à 10 %, voire plus selon la proportion de génisses pouvant être mises à la reproduction à 15 mois, sans impact sur le fonctionnement du système fourrager.

- Avancer l'âge à la première mise-bas accroit la production à qualité de produit inchangée ;
- La part du pré-troupeau se réduit par rapport au cheptel total, ce qui diminue les charges proportionnelles à l'effectif ; par contre le niveau alimentaire des génisses doit être accru, ce qui entraine un surcoût alimentaire (concentré notamment) ; les charges variables sont donc susceptibles de fluctuer, de même que l'autonomie ;
- La rentabilité et les autres soldes de gestion restent dépendants du niveau de charges supplémentaires mais tendent à s'améliorer du fait de l'accroissement de la production ;
- La diminution de la part d'animaux improductifs réduit ou tend à réduire la consommation de ressources naturelles : énergie directe et indirecte, eau, phosphore ; les rejets dans l'environnement sont diminués : nitrate, phosphore, GES, NH3 ; par contre, l'utilisation (donc les rejets) de produits vétérinaires fluctue en fonction des problèmes sanitaires susceptibles d'être induits par une mise-bas plus précoce ;
- Les surfaces semi-naturelles tendent à être défavorablement impactées, car le pré-troupeau, dont l'effectif se réduit, les utilise préférentiellement ;
- Le temps de travail fluctue selon la difficulté de maîtrise de l'avancement de l'âge à la première mise-bas ; le bien-être animal tend à se dégrader (selon la recrudescence des problèmes sanitaires), de même que la résistance aux aléas (absence de marges de manœuvre dans la conduite des génisses).

B3 - Conduite de la carrière

B3.1 - Augmenter le nombre de cycles de production des animaux reproducteurs

En élevage, augmenter le nombre de cycles de production des animaux reproducteurs permet d'accroitre leur production sur l'ensemble de leur carrière, tant en produits animaux (lait) qu'en animaux (jeunes) destinés à la consommation de viande. Dans les faits, cette pratique revient à abaisser le taux de réforme des femelles et donc à réduire corrélativement le taux de renouvellement par des jeunes femelles élevées (ou non) sur l'exploitation.

Dans les troupeaux bovins laitiers, le remplacement des vaches réformées par des génisses génère des coûts d'élevage représentant 15 à 20 % du coût total de production du lait après prise en compte de l'ensemble des charges y compris de structure (Heinrichs, 1993 ; Brisson, 2006). Ce coût est directement influencé par l'importance du taux de renouvellement des vaches, la proportion de génisses présentes s'accroissant de 40 à 50 % (pour des vêlages à 24 ou 30 mois, respectivement) quand le taux de renouvellement s'accroit de 25 à 35 % (Brisson, 2006). Avec l'augmentation du potentiel laitier et de la production des vaches, la fertilité s'est dégradée. Dans un échantillon d'élevages irlandais étudié sur un intervalle de temps de 13 ans, la proportion de vaches réformées pour cause d'infertilité s'est fortement accrue, entrainant l'augmentation du taux de réforme qui est passé de 16 à 27 % (Evans et *al*., 2006). Des simulations économiques ont montré que les paramètres impactant le plus les performances économiques (marge par vache, par kg de lait produit et au niveau de l'exploitation) étaient le prix du lait, suivi du taux de renouvellement, amenant les auteurs à recommander de ne pas dépasser un taux de 25 %. Dans les conditions françaises actuelles, ce taux atteint désormais 35 % dans les systèmes laitiers intensifs de plaine (Institut de l'élevage, 2012).

En élevage caprin laitier, les pratiques de réforme et de renouvellement ont été étudiées dans un échantillon d'élevages de l'Ouest de la France (Malher et *al*., 1999). Elles s'avèrent particulièrement variables entre élevages et années, les taux médians de réforme et de renouvellement s'établissant à 24 % et 35 % respectivement, compte tenu des variations d'effectifs des cheptels sur la période. Quatre motifs de réforme ont été distingués : trouble de la santé, incluant les morts ; infertilité ; production insuffisante ; autres causes, incluant les chèvres trop âgées (6 ans apparaissant comme un seuil implicite, en pratique). Ils représentent respectivement 38 %, 16 %, 37 % et 9 % du total des réformes de l'échantillon, illustrant la faible importance des réformes liées à l'âge. Le principal enjeu du renouvellement est son regroupement dans le temps et sa proximité par rapport aux mises-bas des adultes, afin de faciliter la conduite en lots et une remise à la reproduction groupée en vue de la campagne suivante. L'orientation de la jeune chevrette vers un élevage de jeune reproductrice est très précoce : de quelques jours à quelques semaines d'âge, selon que l'éleveur engraisse ou non les chevreaux. Le coût de production de la chevrette mettant bas a été déterminé : hors variations d'inventaire, il est constitué à 80 % de coûts alimentaires dont 2/3 de poudre de lait et de concentrés, mais les variations entre élevages sont également considérables, du simple au triple dans le cas du concentré, par exemple. Le coût du renouvellement a ensuite été exprimé en proportion du prix du lait, dans une démarche d'analyse économique du coût de production du lait au cours d'une campagne, en intégrant les données économiques liées aux sorties de chèvres adultes et le cas échéant la variation d'inventaire. Le coût du renouvellement apparaît élevé et très variable, la différence moyenne observée entre élevages des 1er et 3ème quartiles (plus faibles taux de réforme et de renouvellement *vs* plus fort taux, respectivement) équivalant à 10 % environ de la marge brute moyenne réalisée par les élevages en suivi technico-économique dans le Grand-Ouest. Compte tenu de la faible valeur de la chèvre de réforme et du coût de production élevé de la chevrette, on pourrait penser que la carrière de la chèvre devrait être allongée par rapport à celle d'une vache laitière. Pourtant, la structure du troupeau caprin français au contrôle laitier est tout à fait comparable à celle du troupeau bovin laitier en ce qui concerne les fréquences d'animaux par rang de lactation. Dans l'échantillon étudié, le taux de réforme est apparu très variable (entre élevages et entre années) et dépendant de la proportion de réformes pour cause de santé, suggérant que celles-ci ne sont pas, ou que très partiellement,

compensées par un éventuel report des réformes envisagées initialement. De ce fait, les taux annuels de réforme et de renouvellement en élevage caprin apparaissent plus variables que ceux du troupeau bovin laitier.

En filière bovine allaitante, les groupements de producteurs incitent de plus en plus les éleveurs à augmenter leur taux de renouvellement afin d'accroître le volume de jeunes vaches commercialisables dans des filières sous signe de qualité. Les changements induits chez les éleveurs au niveau des pratiques de réforme et de renouvellement ont été analysés dans un échantillon de troupeaux de race Limousine (Roche et *al*., 2001). Les taux de renouvellement pratiqués sont élevés et varient plus que du simple au double, le taux minimal de 15 % correspondant à la moyenne des exploitations suivies en réseau d'élevages. Trois types de réforme ont été distingués : involontaires, liées à des accidents ou maladies ; volontaires systématiques, répondant à une règle de décision (par ex. un âge butoir ou un seuil minimum de performance) ; volontaires optionnelles, permettant de compléter, le cas échéant, les effectifs de vaches à vendre. Ces trois types de réforme représentent respectivement 9 %, 62 % et 29 % du total des réformes de l'échantillon. Ainsi, la part des réformes optionnelles apparait significative et se révèle en outre très variable : de 7 à 53 % selon les élevages. Elle est très liée au taux de renouvellement du troupeau : plus il est élevé, plus les éleveurs ont recours à des critères optionnels pour choisir leurs réformes. A contrario, les taux de renouvellement faibles correspondent à des exploitants qui réforment essentiellement des vaches âgées et pour la majorité de façon systématique. L'émergence de la vache de réforme comme produit viande en tant que tel, et non plus comme simple coproduit de l'activité de reproduction, conduit donc à réduire la longévité des vaches allaitantes et à accroitre d'autant la part des génisses entrant en reproduction plutôt qu'en filière viande.

Chez les ovins allaitants, une étude a permis de couvrir une diversité de situations d'élevage de brebis de race rustiques dans un contexte d'effectifs qualifiés de stables, avec auto-renouvellement en agnelles (Moulin et *al*., 2000). Le choix du nombre d'entrées et de sorties, déterminante de la structure démographique du troupeau, ne mobilise pas un processus uniforme : parfois le nombre de réformes dicte celui des agnelles, parfois c'est l'inverse, ou les deux sont définis conjointement par routine ou par calcul.

En filière porcine, compte tenu du coût de renouvellement des femelles reproductrices (par le biais de cochettes achetées à l'extérieur ou le cas échéant produite sur l'exploitation) et de la moindre prolificité des jeunes truies, un point mort de rentabilité se situerait aux environs de la troisième portée, un profit étant ensuite dégagé pour rémunérer le travail de l'exploitant et s'accroissant avec le rang de portée (Morin et Thériault, 2005). Dans les conditions françaises, une étude réalisée à partir des bases de données nationales de gestion technique et technico-économique des troupeaux de truies a montré que la longévité moyenne des truies, appréciée par le nombre de portées sevrées par truie réformée, était élevée, mais montrait une forte variabilité entre élevages : si ¼ d'entre eux ne réforment qu'au-delà de la 6ème portée en moyenne, 1/5ème d'entre eux le font à un rang de portée inférieur à 4,5, pour des tailles d'élevage, âges au sevrage et conduites en bande similaires. Le niveau de longévité impacte bien évidemment les taux de réforme et de renouvellement, mais aussi les performances de production : les troubles de reproduction et problèmes locomoteurs sont moindres, la productivité numérique (portées sevrées, porcs produits par truie présente et par an) augmente et se maintient mieux au cours de la carrière des truies (davantage de sevrées par portées à rang de portée intermédiaire identique). A charges alimentaires identiques par kg de porc produit, le niveau de longévité exerce un effet favorable sur la marge sur coût alimentaire, renouvellement et dépenses de santé. Cet effet est plus marqué dans les élevages Bretons à forte longévité, caractérisés par des performances techniques souvent meilleures. Globalement, les résultats économiques sont pénalisés en cas de renouvellement excessif et s'améliorent avec l'accroissement du taux de portées de rangs 4 à 6, la longévité apparaissant sous-optimale dans près de 20 % des élevages.

Chez la poule, engager un deuxième cycle de reproduction après mise en mue des animaux est très rare car peu rentable. Cette pratique n'est mise en œuvre que dans le cas des cheptels de sélection pour des

raisons liées à la gestion du programme génétique. Par contre, trois cycles sont habituels chez l'oie, la production en cycles 2 et plus étant supérieure à celle du cycle 1.

- L'augmentation du nombre de cycles de production des animaux reproducteurs accroit la production des cheptels du fait de la production supérieure des reproductrices de rang de mise-bas intermédiaire d'une part, et de la réduction de la part d'animaux improductifs (renouvellement) d'autre part ; la qualité des produits tend à s'améliorer (les taux du lait s'accroissent avec le rang de mise-bas) et n'est susceptible d'être affectée que dans les situations où la physiologie des animaux commencerait à être altérée du fait de l'âge (une situation rarement atteinte, en pratique) ;
- Les charges variables étant globalement réduites du fait d'une incidence moindre du coût du renouvellement, les performances économiques s'améliorent : rentabilité, soldes de gestion, autonomie et dépendance aux aides ;
- L'amélioration de la productivité globale du cheptel (pré-troupeau inclus) conjuguée à la capacité d'ingestion plus élevée des ruminants adultes réduit la consommation des ressources naturelles (énergie directe et indirecte, phosphore, eau) ainsi que les rejets de nitrate, phosphore et GES ; l'émission de NH3 dépendra du temps passé par le cheptel en bâtiment : dans les filières laitières, il est généralement plus important pour le cheptel reproducteur, mais c'est moins le cas en filières allaitantes ;
- La consommation (donc les rejets) de produits vétérinaires sont susceptibles de fluctuer : le pré-troupeau, dont la part se réduit, est généralement moins concerné par les traitements que le cheptel de production ; toutefois, les cheptels à forte longévité se caractérisent souvent par de moindres problèmes sanitaires ;
- Le temps de travail est également susceptible de fluctuer : à nombre d'unités de gros bétail identiques, cette pratique entraine plus de travail car davantage d'animaux sont en production ; par contre, à production identique, elle réduit le travail car le nombre d'animaux de renouvellement est moindre ;
- Le bien-être animal tend à s'améliorer dans les situations où le début de carrière des animaux est assorti de difficultés spécifiques (problème de vêlage dans certaines races à viande, par ex.) ; la résistance aux aléas tend également à s'améliorer, l'ajustement de taux élevés de réforme et de renouvellement étant parfois difficile à réaliser.

B3.2 - Pratiquer le plein-air intégral

Le plein-air intégral permet de diminuer les charges de structure (bâtiment) en élevage ruminant. Il est pratiqué de longue date dans les zones où le climat et la portance des sols le permet (Limousin, notamment). Par contre, il est très difficile à mettre en œuvre quand la portance des sols est insuffisante et présente des risques d'érosion et de pollution. Une innovation en cours permet de lever en partie cette difficulté : les parcs stabilisés d'hivernage (PSH), au fond étanche recouvert de litière (copeaux), parfois associés à un tunnel (Note et *al.*, 2012). La concentration en charge polluante est faible, comparable à celle d'effluents peu chargés du type eaux brunes. Quand la portance devient insuffisante (pluie, neige), les animaux sont cantonnés sur le PSH et sont affouragés. Ils peuvent l'être également, à titre de complément, quand leur état corporel devient insuffisant, le plein-air intégral étant généralement associé au pâturage hivernal sous forme d'herbe préalablement stockée sur pied (Note et *al.,* 2010) ou par exploitation d'une pousse rase. Ce dernier est également bien adapté aux petits ruminants (Solas et *al.*, 2012), les brebis étant capables de maintenir une ingestion satisfaisante jusqu'à des hauteurs d'herbe relativement basses et donc de couvrir leurs besoins alimentaires, pour autant que le chargement reste faible.

- Chez les bovins (allaitants), la production n'est pas affectée en termes de productivité numérique ; par contre, la croissance des animaux dépend étroitement de la qualité des rations distribuées en période hivernale (distribution systématique de fourrages conservés *vs* limitation aux seules journées où le pâturage d'herbe stockée sur pied est impossible du fait des conditions météorologiques, neige en particulier) ; il en va de même chez les ovins (allaitants), outre que dans

cette filière, cette pratique peut conduire à un surcroît de mortalité (jeunes et adultes) et se heurte à la prédation des jeunes agneaux par les corneilles, renards, voire loups (Sud-Est), ce qui réduit la productivité numérique effective ; la qualité des produits n'est pas affectée ;

- L'absence de bâtiments d'élevage (parfois remplacés par de simples parcs stabilisés) réduit très significativement l'endettement et dans une moindre mesure les charges variables (malgré la surconsommation de fourrages résultant de gâchis au râtelier ainsi que des besoins supplémentaires de thermorégulation) ; la rentabilité, la valeur ajoutée et l'EBE fluctuent notamment en fonction du chiffre d'affaires lié aux croissances obtenues, mais le RCAI, l'autonomie et la dépendance tendent à s'améliorer ; la transmissibilité est facilitée ;
- La consommation d'énergie directe diminue du fait de la simplification du logement, et ce malgré l'accroissement des temps d'utilisation de tracteurs dû à l'éloignement des parcs ;
- Le plein-air intégral (ou en simple parc aménagé) étant généralement associé à une période plus longue de pâturage (gain de un à deux mois, voire plus), la part de fourrages conservés et d'aliments concentrés se réduit ; la consommation d'énergie indirecte tend donc à diminuer, de même que l'émission de GES (le stockage carbone du sol compensant la production plus importante de méthane entérique) ; les rejets de polluants organiques sont réduits ;
- Les émissions de NH3, très liées à la présence en bâtiment, sont réduites, de même que les odeurs ; les rejets de nitrate, par contre, restent fortement dépendants du type de sol du parc d'hivernage utilisé et de la portance des parcelles adjacentes ; le compactage et le risque d'érosion des herbages pâturés dépend de la situation pédologique locale ; le plein-air intégral favorise les surfaces semi-naturelles (prairies, espaces arborés…) ;
- Le temps de travail est réduit mais devient un travail d'extérieur ; sa pénibilité est conditionnée à l'aménagement des parcs mais aussi aux conditions climatiques ; il en va de même du bien-être des animaux ; la résistance aux aléas est donc dégradée.

B4 - Cycle de production

B4.1 - Allonger la durée d'engraissement

Globalement les filières de production de masse cherchent à raccourcir la durée d'engraissement et à standardiser les produits. La pratique de l'allongement de la durée d'engraissement est donc peu répandue, sauf quand elle conduit à l'obtention de produits spécifiques mieux valorisés, en particulier sous signes de qualité.

C'est en filière avicole que des durées d'élevage longues se rencontrent le plus fréquemment. L'émergence des poulets Label Rouge remonte aux années 60, dans l'objectif d'obtenir une qualité organoleptique des viandes (texture et flaveur, notamment) supérieure à celle des poulets standard, jugée insuffisante. Les facteurs qui influencent le plus ces critères étant l'âge à l'abattage et l'origine génétique des animaux, des types génétiques spécifiques dits à croissance lente ont été produits pour permettre d'atteindre l'âge à l'abattage requis (81 jours minimum, soit environ le double de celui d'un poulet standard) au poids attendu par le marché (Sauveur, 1997). Dans les conditions fixées par les cahiers des charges Label Rouge, les types génétiques utilisés pour la production de poulet standard conduisent en effet à des poids excessifs assortis de problèmes pathologiques (mortalité, boiteries…) sans atteindre le niveau de qualité organoleptique recherché pour la viande. La mise en œuvre du cahier des charges Label Rouge conduit toutefois à une augmentation très significative de l'indice de consommation et du coût de production par rapport à la production de poulet standard. Le taux de pertes en cours d'élevage est cependant réduit.

Avec la montée en puissance de la découpe, la part du poulet Label Rouge (majoritairement commercialisé en poulet prêt à cuire) a toutefois beaucoup régressé au profit du poulet Certifié

(Taconet et Magdelaine, 2009), obtenu par croisement entre des coqs de souche standard et des femelles Label Rouge et abattu à un âge intermédiaire. Le poulet AB et quelques marchés de niche (AOC Bresse, par ex.) complètent la gamme des produits sous signe de qualité, pour une part de marché totale de l'ordre de ¼ de la production.

Plus récemment, le développement des préparations à base de volailles (poulet, et dans une moindre mesure dinde) mais également du niveau de découpe (filets de poulet escalopés comme dans le cas de la dinde, au lieu d'être commercialisés entiers) a accru l'utilisation de lignés lourdes avec augmentation corrélative de l'âge à l'abattage. Entre les âges de 35 et 63 jours, le poids de poulets mâles de souche lourde a été multiplié par 2,5 et le rendement en viande s'est amélioré, avec une tendance à l'accroissement du pH (donc du rendement de transformation technologique) jusqu'à 49 jours, stable au-delà, sans impact sur les caractéristiques sensorielles et nutritionnelles (Beaza et *al*., 2011). Dans une perspective de transformation d'une partie des viandes par l'industrie, l'allongement de la durée d'élevage des poulets de souche lourde peut donc être envisagé.

En filière porcine, la production sous signe de qualité (Label Rouge, AB) reste minoritaire et ne se singularise pas par des âges à l'abattage (182j requis) ou des types génétiques spécifiques.

En filière bovine, l'allongement de l'engraissement correspond aux itinéraires d'élevage spécifiques aux mâles castrés (bœuf stricto sensu) abattus en moyenne vers 30-36 mois. La part du bœuf, qui représentait encore 20 % de la production totale de viande bovine dans les années 80, a été plus que divisée par deux dans les années 90 (Bastien et Mourier, 2000) au profit du développement de l'engraissement de jeunes bovins mâles abattu en moyenne vers 18-20 mois. Leur contribution respective à la production totale de viande bovine s'établissait à 7 % et 32 % respectivement en 2010 (Institut de l'Elevage, 2011). Le mode de conduite des bœufs, majoritairement axé sur l'herbe, est cependant très diversifié, de même que les races ou croisement utilisés (55 % de races laitières), ce qui induit une grande hétérogénéité d'âge à l'abattage, de rendement et de poids de carcasse, de conformation et d'état d'engraissement, souvent excessif. La couleur de la viande est intermédiaire entre jeunes bovins et vaches de réforme, avec un persillé comparable à celui des génisses et le goût d'une viande de gros bovin (Bastien et Mourier, 2000). A ce jour, les bœufs restent majoritairement produits dans des ateliers de petite taille, à titre d'activité d'élevage complémentaire d'exploitations le plus souvent laitières et disposant de surfaces conséquentes de prairies. De ce fait, la production de bœuf résiste mieux en races laitières (ou croisements issus de races laitières) qu'en races allaitantes (Institut de l'Elevage, 2011). Cette production valorise l'herbe disponible, nécessite peu de main-d'œuvre (conduite mixte fréquente avec des génisses) et d'investissements en bâtiments, mais induit de longs cycles de trésorerie nécessitant un fonds de roulement important.

Les carcasses produites à partir de races laitières étant souvent légères, assez mal conformées et trop grasses, il a été préconisé de repousser l'âge à la castration (pratiquée habituellement avant l'âge d'un an) pour bénéficier partiellement de la supériorité de croissance du mâle entier et améliorer la qualité commerciale de ces animaux. Toutefois, le report de la castration jusqu'à 16 mois a eu peu d'effet sur la croissance, le poids de carcasse, sa composition tissulaire et sa conformation (Parrassin et *al*., 1999).

Face à la régression du bœuf en races à viande, des itinéraires techniques herbagers conduisant à la production d'animaux castrés abattus plus jeunes (moins de 30 mois) ont été recensés et évalués dans une région de production traditionnelle de viande (Dumont et *al*., 2006). Certains de ces itinéraires permettent de maximiser l'apport en herbe dans l'alimentation. La castration précoce peut aider à la réalisation de l'objectif, sans préjudice sur le produit et sans perturber l'animal. Au final, ces jeunes bœufs produisent des carcasses de 400 à 440 kg proches de celles des vaches de réforme (à l'exception d'une couleur parfois plus claire), suffisamment engraissées à la fois dans les conditions de plaine ou de montagne. La filière régionale se montre toutefois peu intéressée par ce type de produit sauf peut-être en complément des vaches, au printemps en « soudure » ou pour renforcer l'offre de bœufs croisés ou encore dans le cadre d'une marque régionale. Selon les

simulations économiques, cette production apporte pourtant la même marge au niveau de l'exploitation que le jeune bovin ou le maigre vendu tardivement (plutôt qu'au stade du broutard).

- L'allongement de la durée d'engraissement réduit dans tous les cas la production, mais avec des impacts très diversifiés sur la qualité des produits obtenus : généralement supérieure au plan organoleptique en filière avicole sous signe de qualité, elle fluctue dans le cas de la production de bœufs selon la race utilisée et la maitrise de l'itinéraire technique de production ;
- Les charges sont accrues en filière avicole du fait d'une moindre efficacité alimentaire, mais tendent par contre à se réduire en production de bœufs du fait de la proportion importante d'herbe consommée ;
- La rentabilité et les autres soldes de gestion fluctuent en fonction de la valorisation des produits obtenus : généralement élevée en production avicole sous signe de qualité, elle se différencie beaucoup moins dans le cas des bœufs par rapport aux autres viandes de gros bovins ;
- L'endettement, et corrélativement la transmissibilité, dépendent de la filière considérée : si l'investissement en bâtiment est plus élevé en filière avicole sous signe de qualité, rapporté aux quantités produites, il tend à se réduire dans le cas de la production de bœufs ;
- La consommation d'énergie directe et indirecte fluctue également selon la filière en fonction des itinéraires techniques, de même que les rejets de nitrate et de produits vétérinaires ; l'émission de GES est accrue du fait de la moindre efficacité alimentaire (filière avicole) ou de la consommation accrue d'herbe (bœufs) ; par contre, les émissions de NH3 diminuent du fait d'une moindre présence en bâtiments ;
- Le temps de travail fluctue selon la filière, plutôt accru dans le cas des volailles et diminué dans celui des bœufs ; la résistance aux aléas tend à se réduire du fait d'une moindre incidence des maladies d'élevage résultant d'un cycle d'engraissement moins intensif.

B4.2 - Allonger la durée de la lactation

L'augmentation du potentiel des vaches laitières (Holstein en particulier) a induit des difficultés de fécondation accroissant progressivement l'intervalle entre vêlages. Toutefois, la persistance des lactations ayant augmenté, certaines vaches produisent encore plus de 20 kg de lait après 10 mois de lactation. Les éleveurs sont donc amenés à différer leur tarissement pour limiter la proportion de vaches improductives, dans l'attente du vêlage suivant ou à défaut de la réforme en cas d'échec des tentatives de fécondation.

Les lactations dites longues (plus de 395 j) représentent environ 1/5ème des lactations dans les systèmes de production intensifs. Le profil des lactations longues suivies d'un vêlage a été caractérisé récemment (Trou et *al*., 2010). Il montre d'une part qu'une fois ramenée à l'année, la quantité de lait produite n'est inférieure que de 3 % par rapport à la moyenne des vaches contemporaines, les taux butyreux et protéique s'établissant à un niveau légèrement supérieur. L'index des vaches concernées est cependant supérieur à la moyenne des contemporaines, tant pour le lait que pour les taux. L'analyse du profil montre d'autre part que dans 80 % des cas, la longueur de ces lactations résulte de difficultés de fécondation plus ou moins accusées après mise à la reproduction dans les délais usuels. Il s'agit donc de lactations longues subies. 20 % seulement résultent d'une mise à la reproduction tardive, donc plutôt volontaire et caractérisée par une fécondation plus aisée, du moins dans les délais usuels.

Une expérimentation (toujours en cours) réalisée avec des vaches Holstein à haute production (1/2 supérieure des index du troupeau) et en système intensif (maïs toute l'année en complément du pâturage, apport de concentré à niveau intermédiaire) a permis de comparer deux modes de conduite en vêlages groupés avec des objectifs délibérés de 12 *vs* 28 mois d'intervalle entre vêlages (Brocard et *al*., 2010). Ramenée à l'année, la production de lait des vaches multipares en conduite 18 mois était inférieure de 5 % à celle des contemporaines en conduite 12 mois, avec amélioration des taux butyreux et dans une moindre mesure protéique. Par contre, chez les primipares dont la

persistance des lactations est plus élevée, l'allongement des lactations s'est traduit par un gain de 11 % ramené à l'année, à taux protéique plus élevé mais à taux butyreux constant. En élevage, cette technique pourrait être compatible avec 2 périodes de vêlages groupés à 6 mois d'écart, avec allongement de 6 mois des lactations pour les vaches non gestantes dans la première période. Cette conduite permettrait de conserver l'avantage des vêlages groupés et réduirait le taux de réforme. Pour la filière, cette conduite en 2 lots pourrait permettre un meilleur étalement de la production.

Chez la chèvre, dont la durée moyenne de lactation (contrôle laitier) est d'environ 9 mois, les lactations longues (supérieures à 300 j) semblent à la fois moins fréquentes (non incluses dans la durée moyenne publiée) et subies. Elles constituent avant tout un outil de gestion de la reproduction en facilitant le regroupement des chèvres décalées sur le reste du troupeau (notamment les primipares, dont les mises-bas sont habituellement plus tardives), le maintien de chèvres bonnes laitières mais avec des problèmes de reproduction, ainsi que l'étalement de la production laitière (Bossis et *al*., 2008b).

En station expérimentale, des lactations très longues (22 mois, soit l'équivalent de deux cycles de production usuels entrecoupés d'un tarissement) ont été produites à partir de chèvres non gestantes en fin de lactation et de niveau laitier plus élevé que la moyenne du troupeau (Chastin et *al*., 2001). Malgré de fortes disparités entre animaux, la production de lait a été en moyenne identique à la somme des deux lactations des contemporaines, avec en seconde moitié de lactation des taux butyreux et protéique supérieurs, malheureusement assortis de forts taux cellulaires. Ces résultats ne militent pas pour la mise en place d'une conduite systématique de ce type.

- L'allongement de la durée de la lactation réduit la production, de lait d'une part (du moins chez les multipares), mais aussi de veaux (ou chevreaux) d'autre part ce qui impacte le potentiel de renouvellement du cheptel ; les taux du lait sont néanmoins améliorés ;
- Les charges variables sont réduites, le niveau de production moindre durant la période d'allongement de la lactation nécessitant moins de concentrés, notamment ;
- Par contre, les autres performances économiques fluctuent fortement selon l'importance relative de la baisse de chiffre d'affaires par rapport aux économies générées ;
- La réduction des besoins alimentaires durant la période d'allongement de la lactation diminue la consommation d'énergie indirecte (moins de concentrés) et de phosphore ; les émissions de GES et de NH3 fluctuent respectivement selon la proportion d'herbe consommée et le temps passé en bâtiment ;
- La consommation donc les rejets de produits vétérinaires diminuent en proportion du temps passé en début de lactation (traitements liés au vêlage, à la fécondation, au pic de lactation) ;
- La pénibilité du travail est réduite, de même que la sensibilité aux aléas.

B4.3 - Ne pas exploiter la totalité du potentiel génétique laitier de l'animal

En filière bovine laitière, le choix d'une race à haut potentiel correspond généralement à des conditions d'élevage intensives, en matière d'alimentation notamment. Certains éleveurs recourent néanmoins à une race très productive comme la Holstein sans exploiter la totalité de son potentiel laitier, du moins continuellement. Ce choix, en apparence paradoxal, permet de limiter les conséquences résultant de l'expression de la totalité du potentiel laitier, la fertilité et la longévité des vaches, notamment, étant altérées par un haut niveau de production (McCarthy et *al*., 2007). D'autre part, dans un contexte de prix fluctuant, il permet d'ajuster rapidement le niveau de production des troupeaux pour bénéficier des embellies ponctuelles du prix du lait (Peyraud et *al*., 2010). Chez des Holstein alimentées en deçà de leur potentiel, la réponse au concentré est en moyenne élevée et atteint 1 kg de lait par kg de concentré, contre 0,7 à 0,9 chez des Normandes, bien que ces différences s'atténuent en prenant en compte les variations de taux butyreux, contrairement au cas du taux protéique (Delaby et *al*., 2003). La complémentation est alors un moyen aisé pour aider à s'adapter à la fluctuation des marchés. Ainsi, des animaux Holstein de type

Néo-Zélandais, très adaptés à une alimentation à l'herbe à très faible apport de concentré, ne sont pas nécessairement à rechercher dans nos conditions car leur réponse au concentré est très faible : 0,4 kg de lait /kg, contre 1,1 pour des Holstein de type Nord-Américain, en moyenne sur la lactation (Horan et *al.*, 2005). Disposer d'animaux exprimant un haut potentiel (principalement par une très bonne persistance des lactations) permettrait de limiter les pathologies associées au fort déficit énergétique de début de lactation et contribuerait en outre à réguler les livraisons de lait tel que souhaité par les transformateurs.

A notre connaissance, la sous expression du potentiel laitier n'est pas documentée chez les petits ruminants laitiers.

- Ne pas exploiter la totalité du potentiel génétique laitier de l'animal réduit la production, avec des effets variables sur la qualité du lait (impact plutôt positif sur le taux butyreux, plutôt négatif sur le taux protéique) ;
- Les charges variables sont réduites, la valeur ajoutée et l'autonomie sont améliorées en conséquence, mais les autres performances économiques fluctuent fortement en fonction du cout marginal des derniers gains de production et des charges de structure de l'exploitation ;
- A même niveau global de production mais pour un effectif animal supérieur, la consommation d'énergie directe est accrue ; la moindre ingestion de concentrés améliore la consommation d'énergie indirecte et les rejets de nitrate, mais dégrade les émissions de GES du fait de rejets accrus de méthane entérique ; les émissions de NH3 fluctuent en fonction du temps de présence en bâtiment, qui a néanmoins tendance à se réduire ;
- Avec la réduction des pathologies associées à une forte production, les rejets de produits vétérinaires sont réduits, le bien-être animal et la sensibilité aux aléas sont améliorés ;
- Le temps de travail et sa pénibilité tendent à se réduire, la conduite des animaux étant facilitée.

C - Eléments-clefs à retenir

Les pratiques élémentaires de la MP Conduite d'élevage se scindent en trois sous-ensembles relativement distincts quant à leurs impacts sur les performances.

Le plus important est constitué de pratiques élémentaires relevant de la reproduction (améliorer la détection des chaleurs, utiliser des semences sexées, accroître l'efficience de l'accouvage), de l'élevage des élèves (ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation, avancer l'âge à la première mise bas) et de la conduite de la carrière (augmenter le nombre de cycles de production des animaux reproducteurs).

- Toutes sans exception ont un impact favorable sur la production, à qualité de produit généralement identique ;
- Leur impact sur l'économie :
  - ✓ est toujours favorable pour la rentabilité, les soldes de gestion, l'autonomie et la dépendance aux aides, malgré l'accroissement des charges variables constaté pour le sexage de la semence et l'élevage des génisses hors de l'exploitation ;
  - ✓ plutôt neutre pour l'endettement et la transmissibilité, sauf dans le cas de l'élevage des génisses hors exploitation pour lequel ces performances sont améliorées ;
- La consommation de ressources fossiles est le plus souvent réduite, neutre dans le cas contraire, de même que la majorité des rejets dans l'eau (N, P) et dans l'air (GES, NH3) ; par contre, l'utilisation et donc les rejets de produits vétérinaires fluctuent plus largement selon les pratiques élémentaires (réduite pour l'accroissement de l'efficience de l'accouvage, augmentée pour l'élevage des génisses hors exploitation) ;

- La biodiversité est impactée défavorablement mais à la marge, pour deux pratiques élémentaires réduisant l'importance du pré-troupeau de génisses, donc les surfaces éloignées plus facilement valorisables en pâturage par ce type d'animaux ;
- Selon les pratiques élémentaires, le temps de travail et/ou sa pénibilité se réduisent (sexer la semence, ne pas élever les, génisses laitières sur l'exploitation) ou fluctuent à la hausse comme à la baisse selon le degré de maîtrise par l'éleveur de l'allongement de la carrière des animaux (avancement de l'âge au premier vêlage, augmentation du nombre de cycles) ou la voie choisie (technologie ou supplément de travail) pour améliorer la détection des chaleurs ;
- Le bien-être animal se maintient ou se trouve plutôt favorablement impacté ; seules les conditions dans lesquelles le vêlage précoce est mis en œuvre sont susceptibles de le dégrader (la vitesse de croissance des animaux devant être plus soutenue) ;
- Par contre, la résistance aux aléas varie plus fortement d'une pratique à l'autre, certaines d'entre elles, en lien avec l'allongement de la carrière des animaux, étant susceptibles de la dégrader du fait d'une moindre marge de manœuvre dans la gestion d'animaux produisant à un âge plus jeune ou plus avancé.

Ces pratiques peuvent donc être recommandées, sans réserves (ou peu s'en faut) pour celles relatives à une meilleure gestion de la reproduction et à l'allongement de la carrière des animaux. L'élevage des génisses laitières hors de l'exploitation présente également de l'intérêt mais nécessite une organisation collective entre exploitations aux activités complémentaires. Son extension devrait donc être considérée en prenant en compte cette dimension organisationnelle.

Un second sous ensemble relativement homogène quant à ses performances (quoiqu'à un moindre degré) comporte les trois pratiques élémentaires relatives à des modifications du cycle de production (allonger la durée d'engraissement, allonger la durée de la lactation, ne pas exploiter la totalité du potentiel génétique laitier de l'animal).

- Contrairement aux pratiques élémentaires du sous ensemble précédent, toutes réduisent la production, avec une incidence variable sur la qualité des produits, susceptible de fluctuer à la hausse comme à la baisse pour deux d'entre elles, à effet favorable néanmoins pour l'allongement de la durée de la lactation ;
- L'impact sur la rentabilité, les soldes de gestion et la dépendance fluctue en fonction de la filière (allongement de la durée d'engraissement favorable chez les ruminants, défavorable chez les monogastriques) ou selon les conditions de mise en œuvre (part relative de concentrés et de fourrages dans la ration des vaches laitières, malgré les économies réalisées de ce fait sur les charges variables) ; dans les filières monogastriques, volailles en particulier, l'allongement de l'engraissement induit par ailleurs un accroissement de l'endettement lié à celui des surfaces de bâtiment, impactant défavorablement la transmissibilité ; la situation est inversée dans le cas des ruminants ;
- La consommation de ressources fossiles varie fortement d'une pratique élémentaire à l'autre, avec une incidence néanmoins plutôt favorable sur la consommation d'énergie indirecte, du moins chez les ruminants, en lien avec la moindre proportion de concentrés dans les rations ;
- Les rejets d'azote ont tendance à se réduire du fait de la moindre productivité des animaux, de même que l'utilisation et donc les rejets de produits vétérinaires ; par contre, les émissions de GES s'en trouvent aggravées ; les rejets de NH3 fluctuent en fonction du temps de présence des animaux en bâtiments, lequel a tendance à se réduire dans le cas des ruminants (davantage de pâturage) ;
- Du fait du caractère moins intensif des conduites qu'elles impliquent, ces pratiques élémentaires impactent favorablement le temps de travail et sa pénibilité ainsi que le bien-être des animaux ; la résistance aux aléas s'en trouve nettement améliorée.

Ces pratiques ne doivent donc être mises en œuvre que dans la mesure où la technicité de l'éleveur permettra de compenser la baisse de chiffre d'affaires par un surcroît d'économies, concentrés notamment, ce qui peut être attendu dans les filières ruminants. L'allongement de la durée

d'engraissement n'est pas à recommander en filières monogastriques, sauf valorisation des produits à un prix plus élevé ; outre que dans ce cas, les performances environnementales tendent à se dégrader.

Les performances du dernier sous ensemble sont plus disparates. Il regroupe des pratiques élémentaires liées de manière directe ou indirecte à la saisonnalité (utiliser des alternatives aux traitements de synchronisation des chaleurs, pratiquer des mises-bas saisonnières) ainsi qu'au (non) logement (pratiquer le plein air intégral).

- La production, tant en quantité qu'en qualité, n'est pas affectée (sauf manque de maîtrise du plein-air intégral) ;
- Les performances économiques sont influencées par des facteurs plus ou moins spécifiques à chacune des pratiques élémentaires :
  - ✓ valeur des produits conditionnée par la période de mise en marché à qualité intrinsèque identique (mises-bas saisonnières), une offre étalée étant généralement favorisée par rapport à une offre exagérément saisonnière,
  - ✓ pour les deux autres pratiques élémentaires (alternative aux traitements, plein-air intégral), réduction des charges variables mais surtout fort contraste au niveau des investissements requis, accrus dans le premier cas si le désaisonnement de la période de reproduction est recherché, minimisés dans le second, avec fort impact sur le niveau d'endettement, et à un moindre degré sur la transmissibilité ;
- La rentabilité, les soldes de gestion, l'autonomie productive et la dépendance sont fluctuants, avec une tendance à l'amélioration ;
- Fort contraste au niveau de la consommation d'énergie directe, accrue (alternative aux traitements) ou réduite (plein-air intégral) ;
  - ✓ Impacts environnementaux tendant à l'amélioration pour des motifs et/ou des performances plus ou moins spécifiques à chacune des pratiques élémentaires :
  - ✓ réduction des rejets de produits vétérinaires (alternative aux traitements),
  - ✓ meilleure adéquation entre disponibilités fourragères et besoins des animaux (mises-bas saisonnières),
  - ✓ valorisation de surfaces semi-naturelles et moindre stockage d'effluents (plein-air intégral) ;
- Le temps de travail fluctue ou s'accroit (alternative aux traitements) ;
- La sensibilité aux aléas contraste elle aussi fortement d'une pratique élémentaire à l'autre : réduite dans le cas des mises-bas saisonnières du fait d'une moindre dépendance aux intrants, accrue au contraire dans le cas du plein-air intégral du fait de la plus grande difficulté de conduite des troupeaux en cas de situation climatique extrême en particulier.

L'intérêt de mise en œuvre de ces pratiques doit donc être considéré au cas par cas malgré leurs potentialités pour améliorer certaines performances.

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique

			Production		Economie									
					Rentabilité	Soldes de Gestion				Robustesse				Transmissibilité
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Augmenter le rendement	Améliorer la qualité de la production	Augmenter la rentabilité	Diminuer les charges variables	Augmenter la Valeur ajoutée	Augmenter l'Excédent brut d'exploitation	Augmenter le Résultat courant avant impôt	Augmenter l'Autonomie productive	Diminuer la dépendance aux aides	Diversifier les productions	Diminuer l'endettement	Améliorer la Transmissibilité
Conduite d'élevage	Reproduction	Améliorer la détection des chaleurs	+	=	+	+	+	+	=/+	+	+	=	=/-	=
		Utiliser des alternatives aux traitements d'induction et/ou de synchronisation des chaleurs	=	=	+	+	+	+/-	+/-	+	+/-	=	=/-	=
		Pratiquer des mises-bas saisonnières	=	=	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Utiliser des semences sexées	+	=	+	-	+	+	+	+	+	=	=	=
		Accroître l'efficience de l'accouvage	+	=	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=
	Elevage des élèves	Ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation	+	=	+	-	+	+	+	+	+	=	+	+
		Avancer l'âge à la première mise bas	+	=	=/+	+/-	=/+	=/+	=/+	+/-	=/+	=	=	=
	Conduite de la carrière	Augmenter le nombre de cycles de production des animaux reproducteurs	+	+/-	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=
		Pratiquer le plein air intégral	=/-	=	+/-	+	+/-	+/-	=/+	=/+	=/+	=	+	+
	Cycle de production	Allonger la durée d'engraissement	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	+/-	+/-
		Allonger la durée de la lactation	-	+	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	=	=	=
		Ne pas exploiter la totalité du potentiel génétique laitier de l'animal	-	+/-	+/-	+	+	+/-	+/-	+	+/-	=	=	=

			Ressources naturelles fossiles				Environnement							
			Energie		Quantité d'eau	Phosphore	Sol				Qualité de l'eau			
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Réduire la consommation d'énergie directe totale (hors électricité)	Réduire la consommation d'énergie indirecte (hors électricité)	Réduire la consommation d'eau (irrigation, bâtiments)	Réduire la consommation de P (fertilisation, alimentation)	Limiter le Compactage	Réduire les risques d'érosion	Augmenter le taux de MO	Limiter la teneur en ETM	Réduire les émissions de nitrates	Réduire les utilisations de produits phytosanitaires	Réduire les émissions de phosphore	Réduire les utilisations de produits vétérinaires
Conduite d'élevage	Reproduction	Améliorer la détection des chaleurs	+	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=
		Utiliser des alternatives aux traitements d'induction et/ou de synchronisation des chaleurs	-	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+
		Pratiquer des mises-bas saisonnières	=	+	=	=	=	=	=	=	=/+	=	=	+/-
		Utiliser des semences sexées	=	+	=	+	=	=	=	=	=/+	=	=	=
		Accroître l'efficience de l'accouvage	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+
	Elevage des élèves	Ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation	+	+	+	+	+	=	=	=	+	=	+	-
		Avancer l'âge à la première mise bas	+	+	+	=/+	=	=	=	=	+	=	+	+/-
	Conduite de la carrière	Augmenter le nombre de cycles de production des animaux reproducteurs	+	+	=/+	+	=	=	=	=	+	=	+	+/-
		Pratiquer le plein air intégral	+	=/+	=	=	+/-	+/-	=	=	+/-	=	=	=
	Cycle de production	Allonger la durée d'engraissement	+/-	+/-	-	=	=	=	=	=	+/-	+/-	=	+/-
		Allonger la durée de la lactation	=	+	=	=/+	=	=	=	=	=	=	=	+
		Ne pas exploiter la totalité du potentiel génétique laitier de l'animal	-	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=	+

			Environnement								Dimensions sociales			
			Air				Biodiversité				Travail	Santé	Bien être animal	
Métapratique	**Pratique**	**Sous- pratique**	Diminer les emissions de GES	Diminer les emissions de NH3	Diminuer les emissions d'odeurs	Diminuer les rejets de polluants organiques	Augmenter les surfaces semi-naturelles	Diversifier les cultures	Réduire la taille des parcelles en cultures homogènes	Réduire la perturbation de l'écosytème	Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité	Diminuer l'exposition aux risques	Améliorer le bien être animal	Moindre sensibilité aux aléas
Conduite d'élevage	Reproduction	Améliorer la détection des chaleurs	+	+	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=/+
		Utiliser des alternatives aux traitements d'induction et/ou de synchronisation des chaleurs	=	=	=	+	=	=	=	+	-	=	=	=
		Pratiquer des mises-bas saisonnières	+	+	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	+
		Utiliser des semences sexées	=/+	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	+
		Accroître l'efficience de l'accouvage	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=
	Elevage des élèves	Ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation	+	+	=	=	-	=	=	=	+	=	=	-
		Avancer l'âge à la première mise bas	+	+	=	=	=/-	=	=	=	+/-	=	=/-	=/-
	Conduite de la carrière	Augmenter le nombre de cycles de production des animaux reproducteurs	+	+/-	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=/+	=/+
		Pratiquer le plein air intégral	=/+	+	=/+	=/+	+	=	=	=	+/-	=	+/-	-
	Cycle de production	Allonger la durée d'engraissement	-	+	=	=	=	=	=	=	+/-	=	=	=/+
		Allonger la durée de la lactation	+/-	+/-	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=/+
		Ne pas exploiter la totalité du potentiel génétique laitier de l'animal	-	=/+	=	=	=	=	=	=	=/+	=	+	+

E - Références bibliographiques

ANDERSSON M, TAPONEN J, KOMMERI M, DAHLBOM M. 2006. Pregnancy rates in lactating Holstein-Friesian cows after artificial insemination with sexed sperm. *Reprod Domest Anim*., 41, (2), 95-97

BAEZA E., MAAAMER J., CHARTRIN P., GIGAUD V., MERCERAND F., DURAND C., METEAU K., LE BIHAN-DUVAL E., BERRI C. 2011. Augmentation de l'âge à l'abattage d'une souche lourde de poulet et conséquences sur le rendement et la qualité de la viande. 9èmes J. Rech. Avicole, 714-717

BASSET J. 2001. Journée Rég. Viande, Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor.

BASTIEN D., MOURIER C. 2000. Le boeuf en France. Institut de l'Élevage, 89p.

BERGOUG H., BUREL C., TONG Q., ROULSTON N., ROMANINI BITES C.E., ETERRADOSSI N., MICHEL V., GUINEBRETIERE M. 2013. Effet du temps d'éclosion et de la qualité des poussins sur les performances, la croissance et la mortalité des poulets de chair. 10èmes Journées Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, 248-251

BLANC F., PACCARD P., GATIEN J., DE LA TORRE A., PONSART C., EGAL D., KRAUSS D., DELVAL E., AGABRIEL J. 2010. Caractérisation de l'œstrus chez la vache allaitante : quantification des manifestations comportementales et facteurs de variation. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 121-124

BOCQUIER F., GAUBERT J.L., BLANC F., VIUDES V., MATON C., DEBUS N., TEYSSIER J. 2006. Utilisation de l'identification électronique pour la détection automatisée du comportement sexuel chez les ovins : perspectives pour la détection des chaleurs chez la brebis. *Renc. Rech. Ruminants*, 13, 155-158

BODMER M., JANETT F., HÄSSIG M., DEN DAAS N., REICHERT P., THUN R. 2005. Fertility in heifers and cows after low dose insemination with sex-sorted and non-sorted sperm under field conditions. *Theriogenology*, 64, (7), 1647–1655

BOSSIS N., GUINAMARD C., CARAMELLE-HOLTZ E., CREMOUX R. 2008a. Les mises-bas tardives : un nouvel itinéraire pour gérer la saisonnalité : incidences techniques et économiques. Collection Résultats, Institut de l'élevage, 46 p.

BOSSIS N., CARAMELLE-HOLTZ E., CREMOUX R., GUINAMARD C. 2008b. Maîtrise de la saisonnalité : Produire du lait au bon moment pour répondre aux attentes des entreprises et des éleveurs. Collection Résultats, Institut de l'élevage, 47 p.

BOULOT S., BADOUARD B., SCHETELAT E. 2012. Quel est l'impact de la longévité des truies sur les performances techniques et économiques des élevages ? *J. Rech. Porc. en France*, 44, 267-268

BRIERE S., BRILLARD J.P., PANHELEUX M., FROMENT P. 2011. Alimentation, fertilité et bien-être des oiseaux domestiques : des liens complexes. *Inra Prod. Anim*., 24 (2), 171-180

BRISSON J. 2006. Le remplacement stratégique des vaches dans le troupeau. 30ème Symp. sur les bovins laitiers. CRAAQ. St-Hyacinthe (Québec, Canada), 12/06, 19p.

BROCARD V., PORTIER B., LE MEUR D., PORHIEL J.Y., LOPEZ C. 2007. Traire les vaches une fois par jour ou grouper les vêlages : deux techniques pour réduire le travail d'astreinte en élevage. *Renc. Rech. Ruminants*, 14, 393-396

BROCARD V., TROU G., PORTIER B., FRANÇOIS J., LE GUENIC M., JOUANNE D., DISENHAUS C., LARUE A. 2010. En vêlages groupés, allonger la lactation pour un vêlage tous les 18 mois : quelles conséquences sur les performances laitières ? *Renc. Rech. Rum*., 17, 164 p.

BRUNSCHWIG P., PLOUZIN D., LEBLAY A. 2012. Carrière et performances de génisses laitières vêlant à 24 ou 33 mois. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 295 p.

CHANVALLON A., SAGOT L., POTTIER E., DEBUS N., FRANCOIS D., FASSIER T.,SCARAMUZZI R.J., FABRE-NYS C. 2011. New insights into the influence of breed and time of the year on the response of ewes to the 'ram effect'. *Animal*, 5 (10), 1594-1604

CHANVALLON A., GATIEN J., LAMY J.M., PHILIPOT J.M., GIRARDOT J., DAVIERE J.B., RIBAUD D., SALVETTI P., 2012. Evaluation de la détection automatisée des chaleurs par différents appareils chez la vache laitière. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 397 p.

CHASTIN P., MARTIN J., MONOD F., MANFREDI E. 2001. Les lactations longues à la station caprine de Moissac. *Renc. Rech. Rum*., 8, non paginé.

CHEMINEAU P., MALPAUX B., GUERIN Y., MAURICE F., DAVEAU A., PELLETIER J. 1992. Lumière et mélatonine pour la maîtrise de la reproduction des ovins et des caprins. *Ann. Zootech*., 41, 247-261

DELABY L., PEYRAUD J.L., DELAGARDE R. 2003. Faut-il complémenter les vaches laitières au pâturage ? *Inra Prod. Anim*., 16 (3), 183-195

DILLON P., CROSSE S. STAKELUM G., FLYNN F. 1995. The effect of calving date and stocking rate on the performance of spring-calving dairy cows. *Grass Forage Sci*., 50, 3, 286-299

DISENHAUS C., CUTULLIC E., FRERET S., PACCARD P., PONSART C. 2010. Vers une cohérence des pratiques de détection des chaleurs : intégrer la vache, l'éleveur et le système d'élevage. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 113-120

DUMONT R., AGABRIEL J., BECHEREL F., DURAND Y., FARRRIE J.-P., MICOL D., PICHEREAU F., PIERRET P., RENON J., ROUDIER J. 2006. Le jeune bœuf Charolais à l'herbe : une voie de développement de la production de viande finie en Bourgogne. *Inra Prod. Anim*., 19(5), 381-392

EVANS R. WALLACE M. SHALLO L., GARRICK D., DILLON P. 2006. Financial implications of recent declines in reproduction and survival of Holstein-Friesian cows in spring-calving Irish dairy herds. *Agric.Systems*, 89, 165-183

FARRIE J-P., RENON J., BOURGE C., GROS J-M., LAHEMADE T., MURON G., ROUDIER J. 2008. Conditions et conséquences de la mise en place du vêlage à deux ans dans un troupeau charolais. Renc. Rech. Ruminants, 15, 147-150

GARNER D.L., SEIDEL G.E. JR. 2008. History of commercializing sexed semen for cattle. *Theriogenology*, 69 (7), 886–895

GRIMARD B., FRERET S., SEEGERS H., PONSART C., CHEVALLIER A. ET HUMBLOT P. 2005. Sensitivity and Specificity of Visual Oestrus Detection 3 Weeks after first AI in Low Fertility Dairy Herds in France. *Reprod. in Dom. Anim*., 40 (4), 358 p.

HEINRICHS, A.J. 1993. Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *Journal of Dairy Science* 76, 3179-3187

HOLMAN A., THOMPSON J., ROUTLY J. E., CAMERON J., JONES D. N., GROVE-WHITE D., SMITH R. F., DOBSON H. 2011. Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. *Veterinary Record*, 169, 47 p.

HORAN B., DILLON P., FAVERDIN P., DELABY L., BUCKLEY F., RATH M. 2005. The interaction of strain of Holstein-Friesian cows and pasture based feed systems on milk yield, body weight and body condition score. *J. Dairy Sci.*, 88, 1231-1243

HOUSSIN B., HARDY A., HAMEL E. 2012. Incidence de l'itinéraire technique d'élevage et de l'âge au vêlage des génisses normandes sur les performances zootechniques et la carrière des vaches. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 299 p.

INSTITUT DE L'ELEVAGE, 2011. La production de viande bovine en France. Qui produit quoi, comment et où ? Dossier économie de l'élevage, n° 415, 60 p.

INSTITUT DE L'ÉLEVAGE. 2012. Synthèse annuelle des données des Réseaux d'élevage. Résultats 2010 et estimations 2011 pour les exploitations bovins lait. 51 p.

JACQUOT A.L., BAUMONT R., DELABY L., POMIES D., LAMADON A., BRUNSCHWIG G. 2012. Dynamilk : un modèle à l'échelle de l'exploitation bovine laitière herbagère pour explorer l'adéquation entre les dynamiques des productions d'herbe et de lait. *Ren. Rech. Ruminants*, 19, 265-268

JOHNSON L.A. 2000. Sexing mammalian sperm for production of offspring: the state-of-the-art. *Anim.Reprod.Sci*., 60-61, 93-107

LE COZLER Y., PECCATTE J.-R., PORHIEL J.-Y., BRUNSCHWIG P., DISENHAUS C. 2009. Pratiques d'élevages et performances des génisses laitières : état des connaissances et perspectives. *Inra Prod. Anim*., 22 (4), 303-316

L'ELEVEUR LAITIER, 2013. Renouvellement : la gestion après 2015. L'éleveur laitier n° 212, Dossier, 29-37

MCCARTHY S., HORAN B., DILLON P., O'CONNOR P., RATH M., SHALLOO L. 2007. Economic Comparison of Divergent Strains of Holstein-Friesian Cows in Various Pasture-Based Production *Systems. J Dairy Sci*. 90, 1493-1505

MÉRAT P. 1984. The sex-linked dwarf gene in the broiler chicken industry. *World's Poultry Sci*., 40, 10-18

MORIN M., THERIAULT P. 2005. Impact de la longévité des truies sur la rentabilité. *Techni-porc*, 28, (4), 21-26

MOULIN C.H., DEDIEU B., PASSELAIGUES C. 2000. Renouvellement, réforme et gestion des effectifs du troupeau : exemples en élevage ovin viande. *Renc. Rech. Ruminants*, 7, 141 p.

NOTE P., EGAL D., CASTELLAN E., D'HOUR P. 2010. Utilisation hivernale d'un stock d'herbe sur pied par des bovins au pâturage. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 62 p.

N**OTE P., COIFFARD J.-B., EGAL D., CHAUVET R., D'HOUR P.** 2012. Quel dispositif d'hivernage alliant logement simplifié et pâturage hivernal ? Présentation des résultats du CASDAR SALINOV, Satellite des journées 3R, 06/12/2012, Paris (France), 1 p.

OFFREDO T. 2005. Périodes de vêlage en vaches allaitantes. Incidences sur le gabarit du cheptel et les poids de carcasse. *Renc. Rech. Ruminants*, 12, 211 p.

PARRASSIN P.R., THENARD V., DUMONT R., GROSSE M., TROMMENSCHLAGER J.M., ROUX M. 1999. Effet d'une castration tardive sur la production de bœufs Holstein et Montbéliards. *Inra Prod. Anim.,*12 (3), 207-216

PELLICER-RUBIO M.-T., FERCHAUD S. FRERET S., TOURNADRE H., FATET A., BOULOT S., PAVIE J., LEBOEUF B., BOCQUIER F. 2009. Les méthodes de maîtrise de la reproduction disponibles chez les mammifères d'élevage et leur intérêt en agriculture biologique. *Inra Prod. Anim*., 22 (3), 255-270

P**EYRAUD J.L., DUPRAZ P., SAMSON E., LE GALL A., DELABY L.** 2010. Produire du lait en maximisant le pâturage pour concilier performances économiques et environnementales. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 17-24

PHILIPOT JM., KRAUSS D., TROU G., PONSART C., VINET A., NOEL T., PERY C., DESCOMBES M., LE GUENIC M., JOUANNE D., CHEVALLIER A., GATIEN J., PACCARD P. 2010. Essai d'un système novateur de détection des chaleurs des femelles bovines par mesure de l'activité. Renc. Rech. Ruminants, 17, 137-140

PIERRET P., FARRIE J.P., RENON J. 2009. Impact d'une conduite en vêlage à deux ans en race Charolaise sur la morphologie et la réforme des vaches, la mortalité et la morbidité des veaux. *Renc. Rech. Ruminants*, 16, 383 p.

POTTIER E., SAGOT L., FERRAND M. 2007. Produire de l'agneau d'herbe en automne ou comment concilier conduite économe et besoins de la filière. Renc. Rech. Ruminants, 14, 417-420

RATH D., MOENCH-TEGEDER G., TAYLOR U., JOHNSON L.A. 2009. Improved quality of sex-sorted sperm: A prerequisite for wider commercial application. *Theriogenology*, 71, (1), 22-29.

ROCHE B., DEDIEU B., INGRAND S. 2001. Taux de renouvellement et pratiques de réforme et de recrutement en élevage bovin allaitant du Limousin. *Inra Prod. Anim*., 14 (4), 255-26

SAUVEUR B. 1997. Les critères et facteurs de la qualité des poulets Label Rouge. *Inra Prod. Anim*., 10 (3), 219-226

SEEGERS H., BILLON D., BOSSARD-APPER E., PONSART C., BAREILLE N. 2010. Impact économique d'une qualité non optimale de détection des chaleurs en troupeaux laitiers à fort niveau de production. *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 146 p.

SEIDEL GE JR, SCHENK JL, HERICKHOFF LA, DOYLE SP, BRINK Z, GREEN RD, CRAN DG, 1999. Insemination of heifers with sexed sperm. *Theriogenology*, 52(8), 1407-1420

SOLAS L., POTTIER E., GOUJEON J.-B. 2012. CASDAR SALINOV : le pâturage hivernal des ovins. Les conférences de l'Institut de l'élevage : Combiner logements économes et pâturage hivernal, Sommet de l'Elevage, 4/10/2012, diaporama

STEINWIDDER A., STARZ W., PODSTATZKY L., KIRNER L., PÖTSCH E.M., PFISTER R., GALLNBÖCK M. 2010. Changing towards a seasonal low-input pastoral dairy production system in mountainous regions of Austria - results from pilot farms during reorganization. Grassland Science in Europe 15, 1012-1014

TACONET A.E., MAGDELAINE P. 2009. Segmentation du marché de la volaille par les modes de valorisation. Etat des lieux et perspectives. *8èmes J. Rech. Avicole*, 22-26

TONA K., BAMELIS F., DE KETELAERE B., BRUGGEMAN V., MORAES V. M. B., BUYSE J., ONAGBESAN O., DECUYPERE E, 2003. Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry Sci*., 82: 736-741

TONA K., ONAGBESAN O., DE KETELAERE B., DECUYPERE E., BRUGGEMAN V. 2004. Effects of age of broiler breeders and egg storage on egg quality, hatchability, chick quality, chick weight, and chick posthatch growth to forty-two days. *J. Appl. Poult. Res*., 13, 10-18

TROU G., PIQUEMAL B., LE GUENIC M., JOUANNE D., HERISSET R., BROCARD V., DISENHAUS C. 2010. Caractérisation de 90 000 lactations « longues » de vaches de race Prim Holstein. *Renc. Rech. Rum*., 17, 166 p.

ULMER-FRANCO A.M., FASENKO G.M., O'DEA CHRISTOPHER E.E. 2010. Hatching egg characteristics, chick quality, and broiler performance at 2 breeder flock ages and from 3 egg weights. Poult Sci. (12), 2735-2742

VAN HORNE P.L.M. 2009. Coût de production des poulets de chair dans divers pays d'Europe et du monde : étude comparative et perspectives. *8èmes Journées Rech. Avicole*, 1-4

VAZQUEZ J.M., PARRILLA I., ROCA J., GIL M.A., CUELLO C., VAZQUEZ J.L., MARTINEZ E.A. 2009. Sex-sorting sperm by flow cytometry in pigs: Issues and perspectives. *Theriogenology*, 71, (1), 80–88

VI**UDES G., LURETTE A., DEBUS N., CAPRON J.M., BOCQUIER F.** 2012. Détection automatisée des chaleurs de brebis Mérinos d'Arles pendant 4 cycles successifs. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 363 p.

CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

Cette analyse exhaustive a permis de documenter en détail les performances permises par un vaste ensemble de pratiques élémentaires mobilisables par les exploitations agricoles en productions animales et/ou végétales, et de produire des séries d'enseignements relatifs à ce vaste périmètre.
Ceci a permis d'illustrer que de nombreuses pratiques pouvaient permettre d'améliorer les différentes performances relatives à la production, l'économie, l'utilisation des ressources, l'environnement et la dimension sociale. Pour poursuivre cette analyse, une étude transversale permet de documenter les variations simultanées des différentes pratiques et d'identifier celles qui tendent à varier conjointement. Ceci sera documenté dans le Volume 2, Partie 1, Chapitre 3 du présent rapport.

L'analyse des méta-pratiques a aussi mis en avant des relations fonctionnelles entre différentes pratiques élémentaires, en soulignant l'intérêt de mettre en œuvre ensemble certaines pratiques, alors que d'autres pouvaient être antinomiques. Ceci conduit à la construction d'une matrice de relations entre les 203 pratiques. Cette matrice a également été complétée dans le cadre du présent travail. La présentation et l'utilisation potentielle en sont également détaillées dans le Volume 2, Partie 2, Chapitre 1 de cette étude.

A ce stade de nos travaux, il convient de souligner les forces, limites et potentiels de l'étude sur les méta-pratiques, telle que nous l'avons réalisée et présentée ici :

- **Les forces principales** résident dans l'approche et dans la ressource mobilisée.
  L'approche a été conduite sans *a priori*, en s'appuyant sur une représentation théorique d'une exploitation agricole resituée dans une filière de production et un territoire agricole. Ceci conduit à ne négliger aucun compartiment de l'exploitation et à pouvoir resituer l'ensemble des pratiques dans un ensemble cohérent. Cette représentation théorique assure que les méta-pratiques permettent de couvrir de façon exhaustive tout le champ de la production au niveau de l'exploitation agricole.
  La seconde force est assurée par la ressource cognitive mobilisée pour documenter la matrice Pratique x Performance. En s'appuyant sur la littérature publiée, soit dans des revues scientifiques, soit dans des revues techniques, les informations s'appuient sur des corpus de données consolidées et ayant fait l'objet d'une analyse critique. Ceci assure une validité très forte des résultats mis ici en avant, et permet aussi de qualifier les réserves éventuelles vis à vis de ces résultats et les besoins d'étude complémentaires.
- **Les limites** de ces travaux sont pour partie la conséquence directe des forces identifiées ci-dessus. Le choix ayant été fait de s'appuyer sur des travaux publiés, il devenait *de facto* difficile de capturer des démarches exploratoires en cours chez les agriculteurs. Ces démarches exploratoires ne font que rarement l'objet d'une consolidation dans un document publié, et ceci quel que soit le type de supports. Il existe aussi des situations où seule une partie des performances est documentée. Dans ce cas, il n'était également pas possible de valoriser ces informations. Quand de telles situations se sont présentées, à savoir que nous avions connaissance d'une pratique élémentaire originale et prometteuse, nous avons exploré de façon aussi exhaustive que possible la littérature dite grise, mais aussi les sources internationales susceptibles de conforter une analyse.
  Au-delà de cette limite liée à la ressource disponible, il est évident que la liste des pratiques élémentaires étudiées est restreinte et ceci pour trois raisons essentielles.
  - ✓ Un choix a été fait de privilégier les pratiques susceptibles de concilier performances économiques et environnementales. De ce fait, certaines pratiques qui, par exemple, auraient eu des impacts positifs majeurs sur les performances sociales peuvent avoir été omises dans cette analyse.

- ✓ De même, certaines innovations techniques extérieures à l'exploitation, par exemple en provenance des équipementiers, ont pu être omises ou ont ici été regroupées dans un ensemble large qui ne permet pas de préciser en détail toutes les performances permises.
- ✓ Enfin, le corpus de pratiques élémentaires ne reprend pas toutes les pratiques courantes que met en œuvre un agriculteur et s'est concentré sur le champ des innovations.

L'analyse de la liste des pratiques élémentaires montre que nous nous sommes concentrés sur les grandes filières agricoles et qu'un petit nombre seulement de pratiques élémentaires est dédié aux productions spécialisées. Parmi ces filières faiblement explorées, on peut identifier l'arboriculture et la viticulture ou les productions de monogastriques. Les productions sous serre, horticoles ou ornementales n'ont quant à elles pas été prises en compte. Toutefois, la démarche analytique entreprise selon la méthodologie proposée est directement et pleinement transposable à ces filières et pourrait aisément être mise en œuvre. Ceci est repris et détaillé dans le Volume 2, Partie 2, Chapitre 2.

Les autres fonctions de l'exploitation agricole ne font pas l'objet de caractérisation et de qualification en termes de performances. On peut par exemple citer les activités de transformation à la ferme des produits agricoles, ou l'agrotourisme qui peuvent influencer la performance économique, mais aussi l'organisation du travail et la relation entre l'exploitation et son environnement.

Enfin, ce travail est centré sur l'exploitation agricole. Il s'agissait là du périmètre défini au départ pour cette étude. Nous avons cherché à qualifier des pratiques élémentaires relatives au travail entre exploitations (assolement en commun et échange de matériel,…). Mais nous n'avons pas cherché à qualifier des pratiques propres à la filière, en amont ou en aval de l'exploitation même si de telles pratiques pourraient peser sur les performances de celles-ci. On peut par exemple penser aux innovations chez les fabricants d'aliments pour monogastriques ou encore aux aspects relatifs à la collecte et la transformation des produits de récolte végétaux (grains, fruits, raisins). Ceci représenterait un travail très différent et demanderait des développements méthodologiques propres.

- **Le potentiel** de cette approche nous semble particulièrement important. La démarche construite, sans *a priori* et s'appuyant sur la littérature, est reproductible et elle peut être étendue pour prendre en compte des indicateurs supplémentaires de performances, mais aussi pour documenter de nouvelles pratiques élémentaires et les intégrer dans la démarche globale de conception de paquets techniques cohérents et de systèmes agricoles innovants.

  L'importance de s'appuyer sur des informations validées constitue en soi un encouragement à valoriser des initiatives chez les agriculteurs et à qualifier leurs impacts. Ceci constitue donc un défi pour les acteurs de la recherche et du développement de capturer ces pratiques innovantes et l'information afférente et de la valoriser. Une telle démarche est en cours dans le cadre des réseaux de fermes Ecophyto. C'est également le cas des réseaux de ferme de l'Institut de l'Elevage. Il faut alors sur des systèmes particulièrement innovants décrire l'ensemble des pratiques élémentaires mises en œuvre et qualifier leurs impacts sur les performances indépendamment des autres pratiques du système. Il faut aussi que cette capture de l'innovation se traduise par des écrits qualifiés, qui deviennent également une ressource pour les acteurs du développement agricole et de la formation initiale et continue.

  L'approche que nous avons mise en œuvre constitue une consolidation et une compilation de savoirs scientifiques et techniques mobilisables pour la conception de pratiques nouvelles. Combinée à la matrice de relations évoquées ci-dessus, la matrice « Pratiques x performances » constitue les prémices d'une bibliothèque des savoirs. D'autres initiatives du même ordre existent et ont d'ailleurs été mobilisées dans le travail conduit ici. Il convient par exemple de souligner l'information disponible dans le projet AgroPeps[92] construit dans le cadre du RMT (Réseau Mixte Technologique) Systèmes de Culture Innovants porté par la Chambre d'Agriculture de Bourgogne, l'Inra et l'Irstea.

[92] http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Accueil

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 3
SOMMAIRE 5

INTRODUCTION 7

CHAPITRE 1 TRAVAIL DU SOL ET GESTION DE L'ÉTAT DE SURFACE 11
A - Introduction 12
B - Description par pratique élémentaire 13
B1 - Travail du sol 13
B1.1 - Labourer systématiquement à une fréquence supérieure ou égale à 1 an sur 2 13
B1.2 - Travailler superficiellement et labourer à une fréquence inférieure à 1 an sur 2 14
B1.3 - Pratiquer le non labour avec travail superficiel du sol (< 15 cm) 14
B1.4 - Pratiquer le semis direct sans labour 16
B1.5 - Pratiquer le sous-solage ou décompactage occasionnel 19
B2 - Couverture du sol 20
B2.1 - Laisser les résidus de récolte à la surface du sol 20
B2.2 - Laisser les repousses du précédent 20
B2.3 - Implanter des couverts végétaux d'interculture à fonction agroécologique 21
B2.4 - Implanter une culture dérobée 21
B2.5 - Enherber les inter-rangs 22
C - Eléments-clefs à retenir 22
C1 - Vis-à-vis des performances productives : des classements variables 22
C2 - En corollaire, une forte variabilité des classements des performances économiques en fonction des types de sol et des cultures implantées 23
C3 - Impacts sur la consommation de ressources naturelles 24
C4 - Impacts sur les performances environnementales 24
C5 - Impacts sur les performances sociales 25
C6 - Synthèse 25
C6.1 - Pratique Travail du sol 25
C6.2 - Pratique Couverture du sol : 26
C6.3 - Des pratiques élémentaires aux systèmes : 26
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 27
E - Références bibliographiques 28
F - Glossaire 30

CHAPITRE 2 GESTION DE L'EAU ET DE SA QUALITÉ 33
A - Introduction 34
A1 - La gestion quantitative de la ressource en eau 34

A1.1 - Place dans l'exploitation ... 35
A1.2 - Place au sein du territoire ... 36
A2 - La gestion qualitative de l'eau ... 36
B - Description par pratique élémentaire ... 36
B1 - Choix des cultures ... 36
B1.1 - Choisir des assolements et des successions de cultures plus économes en eau ... 36
B1.2 - Choisir des variétés plus économes en eau ... 37
B2 - Pilotage de l'irrigation et gestion de la ressource eau ... 38
B2.1 - Construire des retenues collinaires (ou bassines) ... 38
B2.2 - Utiliser des Outils d'Aide à la Décision pour le raisonnement des stratégies d'irrigation ... 39
B2.3 - Utiliser des outils de diagnostic et de pilotage de l'irrigation ... 39
B2.4 - Pratiquer l'irrigation localisée ... 39
B3 - Couverture du sol ... 40
B4 - Gestion de la succession des cultures pour la qualité de l'eau d'infiltration ... 40
B4.1 - Adapter l'ordre des cultures au piégeage des nitrates ... 40
B4.2 - Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agroécologique) ... 41
B5 - Lutter contre le ruissellement et la pollution des eaux de surface ... 41
B5.1 - Travailler selon les courbes de niveau ... 41
B5.2 - Maintenir un état de surface rugueux ... 42
B6 - Gestion des intrants (engrais et produits phytosanitaires) pour la qualité de l'eau ... 43
B6.1 - Utiliser des buses anti-dérive ... 43
B6.2 - Raisonner et adapter les doses appliquées ... 43
B6.3 - Utiliser des matières actives à risque écotoxicologique plus faible ... 43
B7 - Aménagement du foncier et du paysage pour la qualité de l'eau ... 44
B7.1 - Implanter des haies en bordure de parcelle ... 44
B7.2 - Développer les zones humides ... 45
B7.3 - Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle ... 45
B7.4 - Implanter des bassins de rétention ... 46
C - Eléments-clefs à retenir ... 46
C1 - Gestion quantitative de l'eau ... 46
C2 - Gestion qualitative de l'eau ... 48
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique ... 49
E - Références bibliographiques ... 50

CHAPITRE 3 GESTION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX (AZOTE, PHOSPHORE, POTASSIUM ET AUTRES) ET DU STATUT ORGANIQUE DES SOLS ... 53
A - Introduction ... 54
B - Description par pratique élémentaire ... 58
B1 - Réaliser des apports organiques pour la nutrition minérale ... 58
B1.1 - Apporter des effluents organiques issus de l'élevage en substitution aux engrais minéraux ... 58
B1.2 - Apporter des effluents organiques d'origine urbaine ou industrielle en substitution aux engrais minéraux ... 59
B2 - Raisonner et ajuster la fertilisation ... 60
B2.1 - Réaliser des apports d'éléments fertilisants localisés ... 60
B2.2 - Fractionner les apports ... 60
B2.3 - Utiliser des OAD pour le raisonnement des apports (N, P, K et autres éléments) ... 62
B2.4 - Utiliser des outils de pilotage de la nutrition en cours de campagne ... 62
B3 - Utiliser la fixation symbiotique comme source d'azote ... 63
B3.1 - Introduire des légumineuses à graines dans la rotation ... 63
B3.2 - Cultiver des légumineuses en association avec des cultures annuelles ... 65

B3.3 - Introduire des légumineuses comme cultures intermédiaires, en culture pure ou en mélange ... 67
B3.4 - Introduire des légumineuses comme couvert associé (non récolté) d'une culture de rente .. 68
B4 - Introduire des légumineuses en système de polyculture-élevage ... 69
B4.1 - Introduire de la luzerne dans la succession de cultures ... 69
B4.2 - Introduire des légumineuses fourragères en association dans les prairies ... 70
B5 - Amender le sol pour améliorer ses propriétés physico-chimiques ... 71
B5.1 - Pratiquer le chaulage raisonné ... 71
B5.2 - Enfouir les résidus de récolte ... 72
B5.3 - Insérer des prairies temporaires de longue durée dans la rotation ... 73
C - Eléments-clefs à retenir ... 73
C1 - Utilisation d'apports organiques pour la nutrition minérale des plantes ... 74
C2 - Raisonnement et ajustement de la fertilisation ... 75
C3 - Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique ... 76
C4 - Amélioration des propriétés physico-chimiques du sol par amendement ... 76
C5 - Un fort besoin de connaissances et donc de recherches ... 77
C6 - Principaux enseignements ... 77
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique ... 79
E - Références bibliographiques ... 80

CHAPITRE 4 CHOIX DES VARIÉTÉS ET DES SEMENCES ... 83
A - Introduction ... 84
B - Description par pratique élémentaire ... 85
B1 - Choix des variétés ... 85
B1.1 - Choix des variétés améliorées pour le rendement ... 85
B1.2 - Choix de variétés améliorées pour la qualité des produits ... 86
B1.3 - Choix de variétés dont l'architecture est améliorée pour la régularité de production ... 87
B1.4 - Choix de variétés améliorées pour la tolérance aux stress abiotiques ... 88
B1.5 - Choix de variétés améliorées pour une meilleure valorisation des engrais ... 88
B1.6 - Choix de variétés améliorées pour la résistance aux bioagresseurs ... 89
B1.7 - Choix de variétés tolérantes aux herbicides ... 89
B1.8 - Choix de variétés adaptées au changement climatique ... 90
B1.9 - Cultiver des mélanges de variétés sur une même parcelle ... 90
B1.10 - Cultiver différentes variétés de la même espèce sur l'exploitation ... 91
B2 - Choix des semences ... 92
B2.1 - Utiliser des semences de ferme ... 92
B2.2 - Utiliser des semences certifiées traitées et enrobées ... 92
C - Eléments-clefs à retenir ... 93
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique ... 96
E - Références bibliographiques ... 97

CHAPITRE 5 PROTECTION PHYTOSANITAIRE DES CULTURES ... 99
A - Introduction ... 100
B - Description par pratique élémentaire ... 102
B1 - Mesures prophylactiques ... 102
B1.1 - Nettoyer et désinfecter les matériels de culture et de récolte ... 102
B1.2 - Eliminer sélectivement les premiers foyers de bioagresseurs ... 103
B1.3 - Eliminer ou enfouir les résidus contaminés ... 103
B1.4 - Raisonner l'ordre de passage dans les parcelles pour limiter les contaminations ... 104

B2 - Mesures agronomiques préventives 104
B2.1 - Adapter les dates de semis 104
B2.2 - Adapter les densités et/ou les écartements de semis 105
B2.3 - Réaliser des faux-semis 106
B2.4 - Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce 107
B2.5 - Augmenter le nombre d'espèces et/ou variétés cultivées au sein d'un espace donné 107
B3 - Lutte chimique 108
B3.1 - Utiliser des outils de raisonnement du déclenchement d'un traitement phytosanitaire 108
B3.2 - Réduire les quantités totales de substances actives par unité de surface en réduisant le nombre de traitements 109
B3.3 - Réduire les doses de substances actives par traitement 109
B3.4 - Ne pas utiliser des substances actives de synthèse 110
B3.5 - Mieux régler le matériel de traitement existant 111
B3.6 - Réaliser les traitements en conditions climatiques optimales 111
B3.7 - Améliorer la répartition des produits dans la végétation 112
B3.8 - Utiliser des adjuvants ou des produits alternatifs à moindre risque écotoxicologique 112
B4 - Lutte physique 113
B4.1 - Pratiquer la solarisation 113
B4.2 - Utiliser le désherbage mécanique 114
B4.3 - Utiliser le désherbage thermique 114
B4.4 - Utiliser des barrières physiques : filets, bâches, etc. 115
B5 - Lutte biologique et mesures de bio-contrôle 115
B5.1 - Utiliser des Préparations Naturelles Peu Préoccupantes (PNPP) 115
B5.2 - Utiliser des Stimulateurs de Défense Naturelle (SDN) 116
B5.3 - Mettre en place des méthodes de confusion sexuelle 117
B5.4 - Utiliser les lâchers d'auxiliaires 118
B5.5 - Implanter des infrastructures agroécologiques pour favoriser la lutte biologique 119
C - Eléments-clefs à retenir 120
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 124
E - Références bibliographiques 125

CHAPITRE 6 CHOIX DES SUCCESSIONS DE CULTURES ET DES ASSOLEMENTS 129
A - Introduction 130
B - Description par pratique élémentaire 132
B1 - Choix des successions de cultures 132
B1.1 - Pratiquer des associations de cultures sur une même parcelle 133
B1.2 - Implanter des couverts d'interculture à fonction agroécologique 134
B1.3 - Diversifier les périodes d'implantation des cultures 135
B1.4 - Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans la succession et allonger les délais de retour d'une même espèce 137
B2 - Choix de l'assolement 137
B2.1 - Augmenter le nombre d'espèces cultivées de l'assolement 137
B2.2 - Mettre en place des assolements en commun 137
B2.3 - Cultiver des plantes de service pour la biodiversité 138
C - Eléments-clefs à retenir 139
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 142
E - Références bibliographiques 143

CHAPITRE 7 CONDUITE DES PLANTES ET DES PEUPLEMENTS VÉGÉTAUX 145

A - Introduction 146

B - Description par pratique élémentaire 146

B1 - Implantation des cultures et structure des peuplements 146

B1.1 - Adapter densité et structure du peuplement pour éviter les stress biotiques et abiotiques ... 147

B1.2 - Adapter la structure du peuplement pour améliorer la qualité des produits 148

B1.3 - Adapter la structure du peuplement pour diminuer les temps de travaux 148

B2 - Maîtrise de la forme et de la croissance des plantes 149

B2.1 - Se passer des régulateurs de croissance 149

B2.2 - Pratiquer un éclaircissage alternatif à l'éclaircissage chimique 149

B2.3 - Mécaniser la taille 150

B3 - Gestion des opérations de récolte 151

B3.1 - Améliorer l'organisation des chantiers de récolte 152

B3.2 - Mécaniser la récolte en viticulture et arboriculture 152

B4 - Gestion du pâturage 153

B4.1 - Alterner pâturage et fauche pour réduire les pertes de nitrate 153

B4.2 - Mettre en défens des parcelles pour les laisser fleurir et favoriser la biodiversité 154

B4.3 - Pratiquer le stockage sur pied 155

C - Eléments-clefs à retenir 156

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 158

E - Références bibliographiques 159

CHAPITRE 8 AMÉNAGEMENT FONCIER 161

A - Introduction 162

B - Description par pratique élémentaire 163

B1 - Adaptation du parcellaire 163

B1.1 - Modifier la taille et/ou la forme des parcelles pour mieux les adapter au sol et diminuer les risques phytosanitaires 163

B1.2 - Regrouper les parcelles pour améliorer l'organisation du travail et/ou la localisation des systèmes de culture 164

B2 - Gestion des Infrastructures Agro-Ecologiques (IAE) 165

B2.1 - Implanter une haie en bordure de parcelle 165

B2.2 - Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle 166

B2.3 - Implanter des arbres à faible densité dans les parcelles 167

B2.4 - Diversifier les espèces végétales des IAE 168

B2.5 - Valoriser la biomasse des IAE 169

B2.6 - Entretenir les éléments fixes du paysage : murets, talus, mares, ripisylves, etc. 169

B3 - Aménagements hydrauliques 170

B3.1 - Implanter une haie en bordure de parcelle 170

B3.2 - Réaménager les zones humides 170

B3.3 - Implanter des bandes enherbées en bordure de parcelle 170

B3.4 - Implanter des bassins de rétention 170

B3.5 - Drainer les parcelles 171

B3.6 - Construire des retenues collinaires (ou bassines) 171

C - Eléments-clefs à retenir 172

C1 - La MP en un clin d'œil 172

C2 - Cinq enseignements et une recommandation de politique publique 173

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 175

E - Références bibliographiques 176

CHAPITRE 9 CHOIX ET GESTION DES AGROÉQUIPEMENTS 179

A - Introduction 180

B - Descriptif par pratique élémentaire 181

B1 - Maîtriser les charges de mécanisation 181

B1.1 - Recourir à l'extérieur pour des travaux agricoles 181

B1.2 - Recourir à l'entraide 181

B1.3 - Recourir à du conseil pour le choix des équipements et/ou d'organisation du travail 182

B1.4 - Allonger la durée d'utilisation du matériel 182

B1.5 - Utiliser de l'huile végétale pure dans les moteurs en substitution au fioul 182

B1.6 - Entretenir et réparer soi-même le matériel 183

B2 - Moderniser le matériel pour améliorer son rendement d'utilisation 184

B2.1 - Moderniser le matériel de traction 184

B2.2 - S'équiper d'un matériel de travail du sol adapté 184

B2.3 - Moderniser le matériel d'épandage et de traitements phytosanitaires 185

B2.4 - Moderniser le matériel de récolte 185

B2.5 - Utiliser des pneus basse pression 185

B2.6 - Moderniser le matériel de distribution des rations animales 186

B2.7 - Supprimer les fuites d'eau en élevage 186

B3 - Utiliser l'agriculture de précision 186

B3.1 - Moduler la fertilisation au sein des parcelles 186

B3.2 - Localiser les traitements phytosanitaires sur les rangs 187

B3.3 - Moduler la répartition des phytosanitaires selon la répartition des bioagresseurs 187

B3.4 - Utiliser un système de guidage automatique 188

B3.5 - Installer des dispositifs de monitoring pour gérer l'alimentation des animaux 189

B3.6 - Installer des dispositifs de monitoring pour gérer la conduite de l'élevage 189

C - Eléments-clefs à retenir 189

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 192

E - Références bibliographiques 193

CHAPITRE 10 GESTION DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE 195

A - Introduction 196

B - Descriptif par pratique élémentaire 198

B1 - Traite 198

B1.1 - Optimiser le système de traite pour économiser l'énergie (pré-refroidisseur de lait, récupérateur de chaleur du tank à lait, etc.) 198

B1.2 - Utiliser un robot de traite 199

B2 - Litières 200

B2.1 - Utiliser des bâtiments sur litière paillée en élevage porcin 200

B2.2 - Utiliser des bâtiments sur paille en élevage de gros ruminants 201

B3 - Eau 202

B3.1 - Supprimer les fuites d'eau dans les bâtiments d'élevage 202

B3.2 - Utiliser des abreuvoirs économes en eau 202

B4 - Energie 202

B4.1 - Utiliser des bâtiments et des équipements producteurs d'énergie (hors méthanisation) 202

B4.2 - Utiliser des bâtiments et des équipements permettant des économies d'énergie (isolation, étanchéité, échangeurs de chaleur, etc.) 203

B5 - Ambiance 204

B5.1 - Utiliser des outils de lavage de l'air en élevage porcin 204

B5.2 - Installer des rampes de brumisation 204

B5.3 - Améliorer la ventilation et la température des bâtiments d'élevage (monogastriques) par la maîtrise des débits d'air 205

B5.4 - Améliorer la ventilation par des rénovations dans les bâtiments 206
B5.5 - Maitriser la durée d'éclairage en bâtiment pour stimulation photopériodique 206
C - Eléments-clefs à retenir 207
C1 - La MP en huit enseignements 207
C2 - Trois enseignements transversaux 208
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 210
E - Références bibliographiques 211

CHAPITRE 11 GESTION DES EFFLUENTS 213
A - Introduction 214
A1 - Une très grande variété d'effluents rendant complexe leur bonne valorisation agronomique 215
A2 - Réglementations et incitations liées à l'utilisation des déjections animales 218
A3 - Présentation de la Méta-pratique 220
B - Description par pratique élémentaire 221
B1 - Stockage 221
B1.1 - Couvrir les fosses et les fumières 221
B1.2 - Avoir une capacité de stockage permettant de mieux piloter la fertilisation 222
B2 - Collecte et traitement 223
B2.1 - Evacuer rapidement les déjections hors des bâtiments 223
B2.2 - Pratiquer la séparation de phases 224
B2.3 - Pratiquer la méthanisation dans un cadre individuel 225
B2.4 - Pratiquer la méthanisation au niveau collectif 226
B2.5 - Pratiquer le traitement aérobie 227
B2.6 - Acidifier les lisiers 228
B2.7 - Pratiquer le compostage 228
B3 - Epandage 229
B3.1 - Utiliser des pendillards 230
B3.2 - Injecter les effluents dans le sol 230
B4 - Gestion collective 231
B4.1 - Réaliser des échanges d'effluents entre exploitations voisines 231
B4.2 - Réaliser un plan d'épandage collectif 232
B4.3 - Produire des engrais organiques standardisés dans un cadre collectif 232
B5 - Eau 234
B6 - Equarrissage 234
C - Eléments-clefs à retenir 235
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 241
E - Références bibliographiques 242

CHAPITRE 12 GESTION DE LA SANTÉ ET DU BIEN-ÊTRE ANIMAL 247
A - Introduction 248
B - Description par pratique élémentaire 249
B1 - Mesures préventives 249
B1.1 - Réduire les mouvements d'animaux entre élevages 249
B1.2 - Pratiquer la vaccination préventive 251
B1.3 - Supprimer les traitements systématiques par des médicaments vétérinaires 251
B1.4 - Utiliser des probiotiques et autres additifs (tanins, huiles essentielles, etc.) en préventif ... 253
B2 - Traitements curatifs 254
B2.1 - Réduire les traitements curatifs par utilisation de médicaments vétérinaires 254

B2.2 - Utiliser des traitements alternatifs à des fins curatives 255
B3 - Relation Homme-Animal 256
B4 - Bien-être animal 257
B4.1 - Supprimer l'écornage 257
B4.2 - Supprimer la castration physique 258
B4.3 - Accroître la surface disponible par animal pour l'expression des comportements naturels (activités physique et sociale) 259
B4.4 - Aménager le milieu de vie pour permettre l'expression des comportements naturels 260
B4.5 - Limiter les mélanges d'animaux issus de bandes différentes 261
C - Eléments-clefs à retenir 262
C1 - Performances productives 263
C2 - Performances économiques 263
C3 - Performances sociales et sociétales 263
C4 - Que retenir en conclusion ? 264
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 265
E - Références bibliographiques 266
F - Annexes 269

CHAPITRE 13 GESTION DE L'ALIMENTATION ANIMALE 273
A - Présentation de la méta-pratique 274
B - Description par pratique élémentaire 277
B1 - Rejets par l'alimentation 277
B1.1 - Limiter les teneurs en protéines des aliments 277
B1.2 - Utiliser des acides aminés de synthèse 278
B1.3 - Utiliser des phosphates alimentaires hautement digestibles et des phytases 279
B1.4 - Utiliser des additifs pour réduire les rejets de CH_4 280
B2 - Autonomie alimentaire 281
B2.1 - Augmenter l'utilisation des espaces sylvo-pastauraux 281
B2.2 - Augmenter la part des prairies dans la sole 282
B2.3 - Augmenter la part de prairies permanentes dans la sole fourragère 284
B2.4 - Réduire la surface en cultures annuelles 285
B2.5 - Augmenter la fertilisation azotée pour augmenter la productivité des prairies 285
B2.6 - Semer des prairies multi spécifiques pour augmenter la productivité des prairies 287
B2.7 - Augmenter la pratique du pâturage 289
B2.8 - Réduire le chargement animal sur les surfaces fourragères 290
B2.9 - Améliorer la qualité des fourrages conservés (accroitre la valeur alimentaire et réduire les pertes à la conservation) 292
B2.10 - Produire des aliments à la ferme ou issus de fermes voisines 294
B3 - Ressources non concurrentes des autres productions 295
B3.1 - Accroître l'utilisation de matières premières à moindre concentration énergétique et/ou protéique 295
B3.2 - Produire et valoriser par les animaux des cultures intermédiaires 296
B4 - Conduite de l'alimentation 297
B4.1 - Diminuer la fréquence de distribution des rations 297
B4.2 - Automatiser la distribution des rations 298
B4.3 - Distribuer l'alimentation par groupes d'animaux homogènes 298
B4.4 - Ajuster la distribution de l'aliment à chaque individu par automates (alimentation de précision) 299
B5 - Améliorer la qualité nutritionnelle 299
C - Éléments-clefs à retenir 300
D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 306

E - Références bibliographiques **307**

CHAPITRE 14 GÉNÉTIQUE ANIMALE **313**

A - Introduction **314**

B - Description par pratique élémentaire **316**

B1 - Amélioration génétique 316

B1.1 - Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal 316

B1.2 - Choisir la génétique pour améliorer la performance productive de l'animal en régime de quota 317

B1.3 - Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux 318

B1.4 - Choisir la génétique pour accroître la robustesse des animaux en régime de quota . 318

B1.5 - Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits 319

B1.6 - Choisir la génétique pour améliorer la qualité des produits en régime de quota 320

B2 - Pratique du croisement entre races ou lignées 320

B2.1 - Utiliser le croisement rotatif 320

B2.2 - Augmenter la fréquence du croisement industriel 321

C - Eléments-clefs à retenir **322**

C1 - Une génétique sur trois cibles (production, robustesse et qualité) difficilement conciliables 322

C2 - Avantages et inconvénients d'une génétique ciblée sur la fonction productive 322

C3 - Avantages et inconvénients d'une génétique ciblée sur la robustesse 322

C4 - Avantages et inconvénients d'une génétique ciblée sur la qualité 323

C5 - La sélection génomique 323

C6 - Le croisement entre races et lignées 324

C7 - Le croisement rotatif 324

C8 - Le croisement industriel 324

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique **326**

E - Références bibliographiques **327**

CHAPITRE 15 GESTION DE LA CONDUITE D'ÉLEVAGE **331**

A - Introduction **332**

B - Description par pratique élémentaire **333**

B1 - Reproduction 333

B1.1 - Améliorer la détection des chaleurs 333

B1.2 - Utiliser des alternatives aux traitements d'induction et/ou de synchronisation des chaleurs 335

B1.3 - Pratiquer des mises-bas saisonnières 337

B1.4 - Utiliser des semences sexées 339

B1.5 - Accroître l'efficience de l'accouvage 340

B2 - Elevage des élèves 342

B2.1 - Ne pas élever les génisses laitières sur l'exploitation 342

B2.2 - Avancer l'âge à la première mise-bas 343

B3 - Conduite de la carrière 345

B3.1 - Augmenter le nombre de cycles de production des animaux reproducteurs 345

B3.2 - Pratiquer le plein-air intégral 347

B4 - Cycle de production 348

B4.1 - Allonger la durée d'engraissement 348

B4.2 - Allonger la durée de la lactation 350

B4.3 - Ne pas exploiter la totalité du potentiel génétique laitier de l'animal 351

C - Eléments-clefs à retenir **352**

D - Tableau synthétique des résultats de la Méta-Pratique 355
E - Références bibliographiques 356

CONCLUSIONS 361

TABLE DES MATIÈRES.....365

Les Études du Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP) sont des travaux de recherche commandés par le CGSP à un organisme extérieur. Elles n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du CGSP. L'objet de leur diffusion est de susciter le débat et d'appeler commentaires et critiques.

Directeur de la publication : Hervé Guyomard
Inra - 147, rue de l'Université - 75338 Paris cedex 07 - France

ISBN 13 : 978-2-7380-1340-8
Dépôt légal – Septembre 2013

Photo : © Fotolia

INRA
SCIENCE & IMPACT

147, rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07
France

Tél. : + 33 1 42 75 90 00
www.inra.fr