

## **Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires**

Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques

# **3. Les itinéraires techniques des cultures intermédiaires**

**Auteurs :**

**Raphaël Charles**

**Carolyne Dürr**

**Alexandre Joannon**

avec la collaboration de Thomas Henry  
(stagiaire Ecole Ingénieurs de Purpan)

Juin 2012

## Sommaire

3.1. Les techniques d'implantation des couverts intermédiaires .....	65
3.1.1. Les techniques abordées dans les publications scientifiques .....	65
3.1.2. Variantes décrites dans les documents techniques .....	67
3.1.3. Conclusion .....	68
3.2. Les techniques de destruction des couverts intermédiaires .....	69
3.2.1. Modalités techniques de destruction .....	69
3.2.2. Conclusion .....	70
3.3. Les contraintes d'organisation du travail et économiques à l'échelle de la parcelle.....	70
3.3.1. L'organisation du travail : facteur de constitution des systèmes de culture à l'échelle de l'exploitation agricole...	71
3.3.2. Evaluer les contraintes d'organisation du travail par une analyse des jours disponibles.....	71
3.3.3. Temps de travail et coût économique liés à l'implantation et la destruction de CIPAN .....	72
3.3.4. Bilan.....	76
Références bibliographiques citées .....	77

Relecteur externe du chapitre : Bernard Nicoullaud.

L'analyse des pratiques mises en œuvre en France par les agriculteurs (Chapitre 2) a révélé une grande diversité, que ce soit des pratiques d'implantation ou de destruction. Ce sont les deux phases essentielles de l'itinéraire technique des cultures intermédiaires, dont les dates et conditions de réalisation sont déterminantes pour les différentes fonctions visées par ces cultures (piège à nitrate, prévention de l'érosion, gestion des mauvaises herbes, installation et effet sur la culture suivante...). Dans ce troisième chapitre, nous examinons ce que dit la bibliographie sur ces différents types d'itinéraires techniques. Dans les deux premières sections, nous nous intéressons successivement aux techniques d'implantation et de destruction des CIPAN. Il s'agit d'identifier les différentes modalités de ces techniques, et si possible leur efficacité quant à la réussite du semis et de la destruction des CIPAN. Puis dans une troisième section, nous abordons la question de la mise en œuvre de ces techniques par les agriculteurs, au travers d'une analyse des contraintes d'organisation du travail et des coûts de mise en œuvre.

La bibliographie scientifique de ce chapitre s'est révélée très peu abondante. Les techniques de conduite de l'interculture en tant que telles font en effet peu l'objet de recherches dans le domaine scientifique, et ce sujet est essentiellement traité par les instituts techniques et les Chambres d'agriculture, poussé par un important mouvement d'innovation technique dans ce domaine. Nous n'avons pas retenu dans le cadre de cette étude les travaux portant sur le matériel agricole, le machinisme et les innovations techniques et mécaniques. Pour plus d'informations sur l'éventail des solutions techniques qui sont en train de se mettre en place, le lecteur pourra se référer aux parutions de ces organismes. Par ailleurs, ce chapitre est complété par un travail de simulation en particulier de la phase semis-levée (Chapitre 8) et des jours disponibles pour la destruction des couverts hivernaux (Chapitre 9).

## 3.1. Les techniques d'implantation des couverts intermédiaires

Carolynne Dürr

Cette partie porte sur l'analyse bibliographique des différentes modalités d'implantation des cultures intermédiaires afin :

- d'une part de les connaître et de les décrire, d'évaluer les recherches dont elles font l'objet ;
- d'autre part, d'alimenter la partie sur les simulations des levées des cultures intermédiaires, en donnant la gamme des modalités d'implantation à tester.

### 3.1.1. Les techniques abordées dans les publications scientifiques

#### **Peu de références bibliographiques portant spécifiquement sur l'étude de variantes de techniques d'implantation**

Malgré plusieurs centaines de références obtenues au départ par la recherche sur mots-clés appropriés dans les bases de données bibliographiques, seules finalement 22 publications ont été retenues car comportant des variantes expérimentales sur les techniques d'implantation dans des systèmes de culture voisins de ceux sur lesquels porte l'étude. De très nombreux articles portent sur des systèmes de culture et des espèces très différents, étudiés en Asie, Amérique latine et Afrique. Cette littérature témoigne de l'importante diversité des systèmes de culture possibles utilisant différents couverts, mais dans des contextes agricoles toutefois très différents, et ils ont été éliminés de notre étude. Il s'avère par ailleurs que dans la plupart des papiers, les techniques d'implantation sont mentionnées car elles contribuent à la description expérimentale de la situation étudiée, mais elles ne sont pas l'objet central de l'étude.

La plupart de ces références date des années 1990, avec un renouveau de publications plus récentes, après 2000. L'objectif des études présentées dans la plupart de ces articles est d'identifier différents effets possibles de ces cultures de couverture sur le milieu et sur le rendement de la culture suivante. Stenberg (1995, Suède) mentionne explicitement des préoccupations réglementaires à l'origine de son étude.

Les grandes régions agricoles d'où proviennent ces études sur l'implantation des cultures intermédiaires dans des systèmes de culture relativement voisins de la France (et les publiant dans des revues scientifiques) sont assez logiquement le nord de l'Europe (Suisse, Belgique, Angleterre, France, Suède : Matthews 1983 ; Mouraux et al., 1992 ; Ammon et al., 1994 ; Richard et al., 1995 ; Stenberg et al., 1998) et l'Amérique du Nord, avec le Canada (Alberta, Québec, côte atlantique : Pierce et Burpee, 1994 ; Abdin et Gill, 1997, 1998 ; Edwards 1998) et les USA (Ohio, Dakota, Minnesota, Kentucky, Oregon, autres références de la liste).

### **Des études souvent motivées par la maîtrise de problèmes d'érosion, mais dont on analyse les possibles effets sur la culture suivante**

Ce sont en premier lieu et majoritairement des implantations de couvert avant culture de printemps qui sont étudiées : maïs, soja, betterave, pommes de terre, tournesol.

L'objectif principalement mentionné est la lutte contre l'érosion, et aussi la possibilité d'un semis plus précoce de la culture principale au printemps en assurant un meilleur état structural du profil grâce à une meilleure portance du sol au moment de la réalisation des travaux du sol. Ces points *a priori* en faveur des cultures intermédiaires sont toutefois associés à une diminution de la température du sol et à une interrogation sur le rendement de la culture suivante.

Les résultats sont parfois contradictoires pour ce qui est des effets de la présence de la culture de couverture sur l'humidité et de la température au semis de la culture suivante, sans que les raisons de ces différences d'effets ne soient faciles à établir. La tendance est une augmentation de l'humidité dans l'horizon de surface (Richard et al., 1995 ; Griffin et al., 2009), mais Osborne et al. (2008) mentionnent une diminution. Pour ce qui est de la température, Richard et al. n'observent que des différences très faibles et non systématiques de la somme de températures cumulées de 5 à 30 jours après semis de la culture suivante (betterave) pour deux types de sol très contrastés, alors que Mouraux et al. (1992) mentionnent une diminution de la température ralentissant le démarrage du maïs.

Richard et al. (1995) évoquent aussi le fait que le rendement peut être diminué par des attaques de ravageurs parce que le semis est plus précoce (rongeurs ou oiseaux). Mais ce problème n'est pas en soi attribuable à la culture intermédiaire : il existe sur tous les premiers semis précoces de printemps. Enfin, cette étude mentionne que le semis direct de la culture suivante réalisé dans un couvert permet de reporter une partie des travaux de printemps à l'automne, ce qui serait un des intérêts importants de l'emploi de ces techniques avec semis sous couvert pour des exploitations au calendrier de printemps chargé.

### **D'autres types de semis sont étudiés, mais souvent plus proches de ceux de cultures associées**

Les études précédemment mentionnées correspondent à des types de cultures intermédiaires analysés proches de ceux utilisés comme CIPAN en France, bien que d'autres objectifs soient recherchés. Un second ensemble de cas de figures, mis en évidence dans cette analyse des références bibliographiques, regroupe des semis plus complexes pour lesquels il y a, au moins temporairement, association sur une partie du cycle des deux cultures, l'une jouant le rôle de couvert associé, l'autre étant la culture principale.

Il peut s'agir :

- d'une implantation au printemps entre les rangs de la culture principale semée elle aussi au printemps. Dans ce cas, il s'agit souvent de lutter aussi contre les mauvaises herbes. Cette culture de couverture peut être utilisée ensuite en tant que culture fourragère (Abdin et al., 1997 ; Kandel et al., 1997 ; Edwards, 1998) ;
- d'une implantation à l'automne ou au printemps entre les rangs d'une céréale d'hiver ou de printemps. Dans ce cas, la culture non productive est souvent une légumineuse pour apporter de l'azote à la culture en cours ou à la culture suivante (Edwards, 1989 ; Frye et Blevins, 1989 ; Kandel et al., 1997 ; Henry et al., 2010).
- l'implantation peut aussi avoir lieu avant la récolte de la culture précédente pour que le couvert s'installe vite et pour limiter le travail du sol : semis à la volée, éventuellement par avion au-dessus de la céréale qui sera récoltée après. Cette installation avant récolte du précédent est utilisée dans les pays froids, y compris avant semis d'une céréale d'hiver, et correspond aussi à l'implantation de futures cultures fourragères (Edwards, 1989, 1998 ; Steinberg, 1998).

Enfin une étude porte sur le maintien d'un couvert permanent par re-semis naturel après une première culture de céréales, dans une monoculture de maïs, à des fins de lutte contre l'érosion (Oregon, Singer et al., 2007).

## Les variantes techniques d'implantation des cultures intermédiaires

Dans les diverses études recensées, les techniques d'implantation sont des variantes expérimentales pour le semis d'une culture intermédiaire dont on évalue l'impact sur la vitesse de couverture, la fourniture d'azote si c'est une légumineuse, la diminution des adventices, la structure du sol, la biodiversité... et le rendement de la culture.

Ces variantes portent :

- sur le travail du sol précédant le semis de la culture intermédiaire, avec très souvent deux ou trois des modalités suivantes : labour ou travail profond au chisel (*conventionnal tillage*), travail du sol réduit, de profondeur limitée, < 10cm (*reduced tillage*), ou absence complète de travail du sol avec seulement action du semoir quand celui-ci est utilisé (*no tillage*), semis sous couvert du précédent. Lorsque le labour est réalisé, il s'agit d'une variante expérimentale de contrôle, et sont analysés les effets sur l'état structural du profil, son humidité et la quantité de mauvaises herbes par rapport à une implantation de la culture principale sans labour avec couverture du sol. Dans tous ces cas, le labour a un effet important sur ces variables. Les semis sous couvert, le plus souvent implantés sans labour, sont comparés à ce traitement de référence qui a en général pour objectif d'améliorer l'état structural en profondeur et d'enfouir profondément les graines de mauvaises herbes ;
- la densité de semis, avec deux densités en général, voire pas de graines semées du tout : graines des céréales tombées lors de la récolte (repousses) ;
- la date de semis : souvent deux modalités concernant le décalage avec le semis de la culture précédente lorsque ce sont des couverts associés (10 ou 20 jours après le semis de la culture quand l'étude porte sur un semis dans une culture de printemps). Dans les autres cas, cette variante pour les semis de fin d'été n'est pas mentionnée.

Parmi les références analysées, seule l'étude de Dorsainvil et al. (2005) en France décrit précisément les variations du résultat obtenu en terme d'implantation de la culture intermédiaire (taux et vitesses de levée, causes de non-levée, conditions physiques au moment du semis). Les études de Richard et al. (1995) et Dorsainvil et al. (2005) indiquent une grande variabilité d'état hydrique au moment du semis de la culture intermédiaire selon les lieux et les années, avec de fréquentes séquences de conditions très sèches. Par contre, Dorsainvil et al. indiquent le peu de différences, entre types de préparation du sol, des températures (généralement élevées, autour de 20°C) et des teneurs en eau du lit de semences, sauf dans le cas d'un mulch de paille qui maintient une humidité un peu plus élevée. Cette étude indique aussi que les variations des temps mis pour lever sont plus larges (quelques jours à quelques semaines), que celles des taux de levée, toujours relativement élevés (>85%) quels que soient le lieu, la date de semis et les techniques utilisées.

Au bilan, cette analyse bibliographique permet de décrire différentes variantes techniques de semis de cultures intermédiaires, ou de cultures plus ou moins longuement associées à la culture principale. Elle permet d'avoir une indication sur les raisons pour lesquelles elles sont implantées et sur les effets qui sont évalués pour la culture suivante, dans un contexte plus large que celui strictement français. Mais elle ne donne que très rarement des résultats en termes de conditions dans le lit de semences au moment de l'implantation de la culture intermédiaire et de maîtrise de son résultat en termes d'homogénéité et de densité du couvert obtenu.

### 3.1.2. Variantes décrites dans les documents techniques

La majeure partie des références décrivant les pratiques, leurs effets et différentes tentatives d'innovation en matière d'implantation des couverts végétaux est produite par les instituts techniques. Ces pratiques font l'objet d'études expérimentales et de démonstrations conduites par ces instituts.

Les techniques actuelles sont décrites dans différents documents des instituts techniques, notamment Arvalis (2011) et l'Institut Technique de la Betterave (par exemple, Betteravier Français, 2010), des Chambres d'agriculture, et dans différents journaux techniques dont Perspectives agricoles et TCS. Les différents documents recensent les techniques utilisées actuellement en France. Sont mentionnées essentiellement quatre techniques d'implantation :

- semis dans la culture précédente, assez longtemps avant sa récolte (maximum 2 mois), souvent implantation de cultures fourragères avec légumineuses, ou pour un démarrage plus précoce lorsque la récolte de la culture libérant la parcelle est tardive (par exemple, maïs) ;

- semis juste avant la récolte sous chaume ou au moment même de la récolte ;
- semis sur chaume ;
- semis sur sol déchaumé.

Différents outils de déchaumage peuvent être utilisés, et selon cet outil et son réglage, la profondeur de travail est plus ou moins importante. Par contre, le labour avant semis de la culture intermédiaire n'est pas évoqué. Différentes méthodes de semis sont aussi utilisées, allant du semis à l'aide d'épandeurs à engrais (centrifuge ou à rampes), à l'utilisation de semoirs SD (semis direct) à dents ou à disques, combinés ou non à un outil animé. Différentes variantes correspondent à la recherche d'une implantation à moindre coût de ces cultures qui n'ont pas une fonction de production : travail du sol limité voire absent, parfois utilisation des repousses de la culture précédente, semences éventuellement non traitées.

Les effets de différentes dates de semis sont présentés avec des dates limites à ne pas dépasser par grandes régions climatiques françaises pour avoir un couvert suffisant (en particulier pour les légumineuses, mais aussi d'autres espèces), ou au contraire de date minimale à respecter pour ne pas aboutir à la floraison (cas des moutardes) et à un couvert trop difficile à détruire.

Les taux de levée obtenus sur ces différents essais peuvent être assez variables entre années, et techniques de travail du sol et semis. Les choix d'espèces et de variétés sont discutés selon les régions et les périodes de semis. Par contre, en dehors des effets de la taille de la semence (qui varie beaucoup selon l'espèce) sur le contrôle de la répartition des graines (en surface et en profondeur), les éventuels effets des caractéristiques germinatives et sanitaires des semences ne sont pas évoqués.

### **Cas particulier des repousses de céréales ou de colza**

La documentation technique indique qu'une moissonneuse bien réglée perd au minimum 50 kg de grains de blé par hectare (grains petits, soit de l'ordre de 150 grains par mètre carré). A condition que la moissonneuse soit équipée d'un éparpilleur de menues pailles qui permet de répartir ces grains, cette quantité permettrait que les repousses de céréales assurent un couvert suffisant (Arvalis, 2011). Le document Chambre d'agriculture Pays de la Loire (2003) indique qu'un minimum de 100 kg par hectare de grains perdus à la récolte est nécessaire.

Pour ce qui est du colza, les pertes à la récolte sont assez importantes et pourraient varier en particulier avec l'humidité de la paille (effets de la date de récolte, de la variété). Une moyenne de pertes de 2,5 quintaux par hectare (Sausse et al., 2011) conduirait à environ 6-7000 graines répandues par m<sup>2</sup> sur le sol après récolte, ce qui correspond à une densité extrêmement élevée.

En ce qui concerne la levée de ces grains perdus à la récolte, les grains de céréales peuvent être temporairement dormants après récolte pendant quelques semaines (cela dépend des variétés) et donc leur levée peut être un peu plus lente. Pour ce qui est du colza, la levée dépendra des conditions hydriques et thermiques, comme pour toutes les autres espèces. On peut penser que la compétition entre plantes finira par éliminer un certain nombre de plantules si le taux de levée était très élevé.

### **3.1.3. Conclusion**

Au bilan, l'étude bibliographique menée permet de décrire les différentes techniques d'implantation mais ne donne pas d'indication précise sur la variabilité des résultats de levée et l'évaluation des risques d'échecs des semis. Nous avons donc réalisé une étude par simulation, à l'aide du modèle SIMPLE, de la variabilité des résultats d'implantation des couverts selon les conditions pédoclimatiques et les techniques de semis (Chapitre 8). Compte-tenu des informations collectées dans cette analyse bibliographique, nous avons retenu, dans l'étude des variations des résultats de levée, de simuler :

- un semis en surface avant ou après récolte du précédent sans travail du sol ;
- un travail du sol plus ou moins profond (5 ou 10 cm) ; un passage de cover-crop ou d'outils à dents pour déchaumer et enfouir les graines semées, après récolte du précédent ;
- le même type de travail du sol, suivi du passage d'un semoir.

Nous avons retenu de simuler les levées pour une gamme d'états structuraux de l'épaisseur travaillée en cas de travail du sol, ces résultats dépendant de l'humidité du sol après récolte et du type d'outils utilisés.

## 3.2. Les techniques de destruction des couverts intermédiaires

Raphaël Charles

Les modalités de destruction des couverts végétaux ne font pas l'objet d'une recherche spécifique, sinon en termes de conséquences de différentes modalités de destruction sur l'efficacité des cultures intermédiaires par rapport à leurs fonctions attendues. Les textes consacrés à ces fonctions intègrent ces connaissances en particulier lorsque les modalités de destruction sont un facteur important. La présente section donne un bref aperçu des principaux points critiques relevant des modalités de destruction. Ils concernent principalement les risques liés à la destruction chimique et les moyens d'y remédier par des moyens techniques ou naturels.

### 3.2.1. Modalités techniques de destruction

La date de destruction du couvert est déterminante par rapport aux fonctions attendues. Elle détermine également l'efficacité du moyen de contrôle engagé. Elle doit également tenir compte des exigences de la culture suivante en termes d'état physique du sol, de disponibilité en éléments nutritifs (azote en particulier) et de présence de substance inhibitrice (allélopathie). Les modalités et dates de destruction des couverts végétaux déterminent la biomasse produite, la quantité d'azote absorbée, le rapport C/N des résidus. Les modalités de gestion des résidus déterminent les propriétés du mulch, l'humidité du sol, sa concentration en azote. Finalement, l'ensemble de ces facteurs influence les performances de la culture suivante. La synchronisation entre la libération de l'azote des résidus et les besoins de la culture suivante constitue un facteur prépondérant pour la gestion des couverts végétaux en fin de cycle. La régulation des couverts est donc un élément important. Elle nécessite l'usage de moyens chimiques ou mécaniques ou repose sur des mécanismes naturels comme la sénescence ou le gel.

#### Destruction chimique

La culture de couverts végétaux persistants peut conduire à l'utilisation d'herbicides non sélectifs, particulièrement lors de travaux réduits du sol. Il en va de même lors d'une présence élevée d'adventices dans le couvert vivant ou ses résidus.

Le 2,4D a été l'une des premières substances disponibles. Actuellement, le glyphosate s'impose comme la principale possibilité de destruction chimique, en combinaison possible avec le 2,4D. Les quantités d'herbicide nécessaires varient fortement selon les couverts à détruire et la flore adventice. Par exemple pour certains couverts comme le ray-grass, la destruction peut nécessiter des doses élevées de substance sans parvenir à un contrôle complet ou exiger plusieurs interventions pour se révéler efficace.

Les conséquences d'une utilisation systématisée et répandue du glyphosate sont largement documentées dans des articles de synthèse récents. Toutefois, l'impact de l'introduction de couverts végétaux sur l'utilisation de cette substance est peu documenté. Entre 1992 et 2004 en Suisse, la fréquence d'application de glyphosate par parcelle de terre assolée est passée d'une application tous les 20 ans à une application tous les 7 ans, en relation avec la simplification des travaux du sol et l'introduction systématique des couverts végétaux. Il n'existe pas de chiffres disponibles après 2004. D'autre part, de nombreux travaux décrivent l'utilisation mixte de couverts végétaux et d'herbicides dans des systèmes de culture simplifiés basés sur des cultures tolérantes à un herbicide non sélectif. Dans la mesure où ces pratiques culturales ne sont pas autorisées en France, les résultats de ces travaux ne sont pas considérés ici.

#### Moyens mécaniques

Les moyens de destruction des couverts végétaux comprennent également des mesures mécaniques. Le labour du couvert constitue un moyen traditionnel. Le broyage ou le passage de rouleaux à lames sont également utilisés. La littérature technique fait largement mention de ces différents moyens. Le passage d'un rouleau à lames représente un moyen efficace pour établir une couche de mulch par le couvert, pour se passer de glyphosate ou comme seul moyen en l'agriculture biologique. L'efficacité de cette intervention mécanique est variable et dépend également de la quantité de biomasse de couvert. La durée de protection d'un couvert est

plus longue lorsqu'il est roulé plutôt que broyé, et explique l'intérêt pour des systèmes de rouleaux à lames. Une biomasse de 0,9 et 1,1 tMS/ha de seigle préalablement roulé pour établir une couche de mulch a permis d'obtenir une efficacité de réduction des adventices suffisante pour n'avoir aucun effet sur le rendement d'un soja suivant, alors que 0,44 et 0,66 tMS/ha ne suffisaient pas. L'efficacité de destruction mécanique sans enfouissement dépend du stade phénologique du couvert. L'utilisation d'un rouleau à lames était aussi efficace qu'un herbicide au stade laiteux sur du seigle, du blé et de l'avoine rude, l'efficacité de destruction atteignant 95%. Par contre, seule 19% de la biomasse était détruite au stade d'apparition de la dernière feuille. La combinaison d'un outil avec une dose réduite d'herbicide peut être une solution à des stades où le couvert est plus résistant à l'effet mécanique (anthèse). Une expérimentation (Carrera et al., 2004) a permis de comparer trois modalités de destruction (herbicide de contact, broyage, roulage) d'engrais verts (vesce velue, seigle, mélange) et n'a pas montré d'effet de la méthode de destruction ou d'interaction avec le type de couvert sur le rendement de la culture suivante de maïs. D'autre part, la présence de couvert durant l'interculture permettait une réduction des adventices dans le maïs, que celui-ci soit traité ou non, offrant des perspectives de réduction des herbicides dans la culture.

### **Destruction par le gel**

Dans les régions propices, la possibilité de destruction naturelle par le gel mérite également d'être considérée dans le choix des couverts cultivés. La littérature technique fournit des références sur la tolérance au froid des espèces (Besnard et al., 2011), qui varie toutefois aussi selon les variétés.

Le choix de maintenir le couvert végétal persistant dans la culture suivante modifie plus considérablement encore le système de culture et l'usage des herbicides. Son contrôle peut intervenir par la suite mécaniquement ou à l'aide d'herbicides appliqués en bande ou en surface selon leur sélectivité ou des choix techniques.

## **3.2.2. Conclusion**

Les itinéraires techniques décrits dans la littérature examinée comportent le plus souvent une modalité de destruction des couverts d'interculture par des moyens chimiques. Cependant, les pratiques observées en 2006 (cf. Chapitre 2) montrent qu'en général la destruction chimique ne concerne que 10 à 20% des surfaces selon les régions. Elle peut atteindre 50% de destruction chimique pour l'avoine en situation de non-labour. Le développement de couverts végétaux durant l'interculture et une évolution des techniques vers des itinéraires simplifiés sans labour pourraient conduire à une destruction plus systématique des couverts d'interculture par des moyens chimiques. La littérature relève un certain nombre de risques liés à l'utilisation systématique de glyphosate (induction de résistances chez les adventices, pollution de l'environnement). Des travaux plus récents, essentiellement présentés dans la littérature technique, font état de différentes nouvelles modalités mécaniques, qui doivent faire l'objet de plus amples essais pour mieux en apprécier la diversité d'effets et de résultats. Par ailleurs, les choix de l'espèce et de la variété peuvent faciliter une destruction non chimique par des outils mécaniques ou les effets du gel.

## **3.3. Les contraintes d'organisation du travail et économiques à l'échelle de la parcelle**

**Alexandre Joannon**

L'analyse des pratiques présentée dans le Chapitre 2 a mis en évidence une certaine diversité. Cette diversité peut en partie être due à des contraintes imposées par le fonctionnement global de l'exploitation agricole, en particulier l'organisation du travail. Par ailleurs, les choix des modes de conduite de l'interculture sont réfléchis par les agriculteurs en fonction du coût de l'itinéraire technique. Ainsi, nous présentons dans cette section une analyse de la bibliographie scientifique sur le thème de l'organisation du travail, consultation qui s'est révélée peu fructueuse. Nous avons aussi analysé la bibliographie technique à propos de ces questions d'organisation du

travail. Sur la base de références fournies par différents documents techniques, nous présentons une analyse de la variabilité des coûts économiques de différents itinéraires techniques types.

### **3.3.1. L'organisation du travail : facteur de constitution des systèmes de culture à l'échelle de l'exploitation agricole**

L'organisation du travail au sein de l'exploitation agricole est un facteur important pris en compte par l'agriculteur pour raisonner ses choix de systèmes de culture (Papy, 2001). La main d'œuvre et le matériel disponible dans une exploitation agricole fixent des limites de temps d'intervention dans les parcelles. Afin d'éviter des pointes de travail, l'agriculteur peut diversifier ses cultures et ainsi étaler les travaux sur différentes pages temporelles (Aubry et al., 1998).

Durant les années 1980, des modèles ont été développés (par exemple : Papy et al., 1988 ; Lal et al., 1991) afin d'apporter une aide au raisonnement du parc matériel d'une exploitation, des choix de cultures et d'itinéraires techniques. En France, des actions de développement ont également été initiées dans cet esprit dans les années 1990 : le programme Mécagro en Picardie (Mousset, 1996) ou la démarche utilisant le logiciel EquiPlan en Bourgogne (Guillot et al., 1995 ; Guillot et Petit, 1996). Des travaux plus récents de modélisation ont également été réalisés sur la base de nouveaux développements informatiques : l'utilisation du formalisme des réseaux de Petri pour la planification du travail appliqué à la culture de la canne à sucre (Guan et al., 2008) ; le développement d'ontologie dédiée à la simulation de systèmes de production agricole en considérant les contraintes d'organisation du travail (Martin-Clouaire et Rellier, 2009). Cette ontologie a par exemple été utilisée pour tester *ex-ante* des innovations variétales de pois (Rellier et al., 2011) ou concevoir des systèmes fourragers innovants (Martin et al., 2011).

Cependant, la communauté scientifique s'est très peu intéressée à l'étude des contraintes d'organisation du travail au sein de l'exploitation agricole en lien avec la gestion de la couverture hivernale des sols. Ceci peut être expliqué par le caractère récent du développement de cette pratique dans le but de diminuer les fuites en nitrate vers les nappes. On peut noter le travail d'Ekman (2005), qui met en évidence que diminuer les fuites d'azote durant l'hiver en diminuant la part du blé d'hiver au profit de cultures de printemps et d'une couverture hivernale des sols par des cultures intermédiaires, nécessite une modification de l'équipement de l'exploitation à cause de pointes de travail plus conséquentes au printemps.

Par ailleurs, Martin et al. (1998) et Joannon et al. (2005) montrent que dans le contexte agricole et pédoclimatique du Pays de Caux, la mise en place d'une couverture hivernale des sols efficace peut être parfois difficile à mettre en œuvre. D'une part, il existe des intercultures entre des cultures à récolte tardive (maïs ou betterave sucrière) et des cultures suivantes semées au printemps comme le pois, conduisant à des semis trop tardifs des couverts hivernaux. D'autre part, l'étude dans un bassin versant des contraintes d'organisation du travail liées à la mise en œuvre de pratiques agricoles visant à limiter l'érosion (déchaumage et semis d'une culture intermédiaire) met en évidence que toutes les exploitations d'un bassin versant ne sont pas à même de traiter l'ensemble de leur surface, compte tenu de leur charge en travail à cette saison : systèmes de culture avec une forte proportion de récoltes en fin d'été et automne (charge en travail importante), et sous un climat doux et humide qui peut diminuer fortement les jours disponibles à cette période.

Le même constat peut être fait à partir des documents issus du développement agricole et de la recherche opérationnelle française consultés pour cette étude : il n'existe pas d'étude sur une évaluation à l'échelle de l'exploitation agricole des contraintes d'organisation du travail qui pourraient se poser pour la gestion des cultures intermédiaires.

### **3.3.2. Evaluer les contraintes d'organisation du travail par une analyse des jours disponibles**

Une manière d'évaluer les contraintes d'organisation du travail de manière simplifiée, mais partielle, est de recourir à une analyse des "jours disponibles". Un jour disponible est un jour durant lequel il est techniquement possible de réaliser une opération culturale donnée. Cette définition est partielle car elle ne prend pas en compte

la disponibilité de la main d'œuvre et du matériel, mais permet une première évaluation du temps potentiellement disponible. La disponibilité d'un jour pour une opération culturale donnée est fonction du climat (du jour même, des jours antérieurs et des prévisions pour les jours suivants), du sol (texture, état structural et état hydrique) et des exigences agronomiques quant à la mise en œuvre de l'opération culturale. Des études parfois anciennes ont porté sur la modélisation des jours disponibles (par exemple : Reboul et al., 1979 ; Maton et al., 2007 ; Cerf et al., 1994). Cependant, dans la littérature scientifique, aucune référence portant sur les jours disponibles pour l'implantation ou la destruction des couverts hivernaux n'a été trouvée.

### **Jours disponibles pour l'implantation d'un couvert**

Dans les publications du développement agricole, les travaux réalisés en Seine-Maritime sur les jours disponibles peuvent nous renseigner sur l'implantation d'un couvert végétal hivernal dans ce département (Mius et al., 1994). En effet, les jours disponibles pour semer une culture intermédiaire peuvent être rapprochés de ceux pour semer du colza. A partir d'enregistrements de 30 agriculteurs sur 10 ans (1983 à 1992), le nombre de jours disponibles pour semer du colza entre le 25/08 et le 10/09 est estimé entre 10 à 15 jours, ceci 8 années sur 10. Mais pour 50% de ces années, les jours disponibles "difficiles" ou "à risques" sont importants : 4 à 7 jours.

### **Jours disponibles pour la destruction du couvert**

Concernant les jours disponibles pour la destruction des couverts hivernaux, une étude spécifique a été réalisée par Arvalis-Institut du Végétal (Labreuche et Collet, 2010) en utilisant le logiciel de simulation des jours disponibles, J.DISPO, mis au point par cet institut (Gillet, 1992). Ce modèle couple un module de simulation journalière de l'humidité du sol sur deux horizons et un module de règles de décisions déterminant la disponibilité du jour ou non pour une opération donnée, en fonction de l'humidité du sol et de paramètres climatiques. Une comparaison entre les sorties du modèle et les données issues des enregistrements des agriculteurs de Seine-Maritime a montré le réalisme des sorties du modèle J.DISPO (Desoubry et al., 1996).

Pour l'étude des jours disponibles pour la destruction des CIPAN, des simulations de jours disponibles ont été réalisées pour :

- 31 situations représentées par un couple "station météo / sols", réparties en France ; les sols couvrent une gamme allant de sols sableux (1% d'argile) à des sols très argileux (jusqu'à 55% d'argile), et présentent des profondeurs d'enracinement de 50 à 120 cm ;
- 25 années climatiques (1985 à 2009) pour chaque situation ;
- et 5 techniques de destruction : labour, travail du sol superficiel, broyage, roulage sur gel et gel seul.

Les principaux résultats de cette étude montrent que :

- la destruction par broyage mécanique est celle qui présente le plus de jours disponibles : excepté pour deux situations, il y a un nombre de jours disponibles d'au moins 10, ceci 8 années sur 10, entre le 01/02 et le 15/03, et pour deux-tiers des situations également entre le 15/11 et le 31/12 ;
- les destructions reposant sur le gel hivernal ne sont adaptées qu'au Nord-Est de la France ;
- le recours à un travail du sol est favorable dans le Sud-Est de la France. Dans les autres régions, il existe des conditions d'humidité du sol conduisant à un nombre de jours "à risque" important. Pour ces situations à risque, seul le labour est possible, le travail superficiel n'étant pas du tout adapté en raison des effets négatifs sur la structure du sol (lissage ou au contraire travail trop grossier).

On peut retenir de cette étude qu'une prise en compte des conditions locales est nécessaire pour raisonner le mode de destruction du couvert hivernal, et qu'elles sont à mettre en relation avec la nature du couvert, qui peut être plus ou moins sensible à un mode de destruction donné (Arvalis, 2011).

### **3.3.3. Temps de travail et coût économique liés à l'implantation et la destruction de CIPAN**

A partir de documents d'Arvalis et des Chambres d'agriculture, nous proposons une analyse des temps de travaux et des surcoûts entraînés par l'implantation d'une culture intermédiaire. Les sources consultées sont les suivantes : Arvalis, 2011 ; FDCUMA 37, 2011a et 2011b ; Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres, 2009 ; Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2003 ; Minette, 2005.

## Les coûts et temps de travaux unitaires

Le coût d'un itinéraire technique recouvre le coût d'achat et d'entretien du matériel, le coût du carburant, le coût de la main d'œuvre et des semences. Cependant, les coûts d'achat de machines (amortissement) ainsi que les coûts d'entretien (réparation) sont regroupés dans les coûts spécifiques de mécanisation, les autres coûts constituant les charges opérationnelles. Un coût de mécanisation est rapporté en €/ha, et permet ainsi de définir le coût unitaire de l'utilisation de chaque machine pour un hectare. Le coût de main d'œuvre sera comptabilisé indépendamment des coûts de mécanisation, car il est possible que l'agriculteur assure lui-même le travail. Le coût de la main d'œuvre salariée se situe quant à elle autour de 15 € de l'heure. Concernant les coûts liés à l'achat de semences, nous avons considéré les variétés suivantes : la moutarde blanche, le ray-grass d'Italie, la vesce commune d'hiver et la phacélie. Enfin, nous avons analysé la durée de travail. En effet, quand l'agriculteur assure lui-même les différentes opérations culturales, il est intéressant d'estimer le temps nécessaire supplémentaire à la mise en place et à la destruction d'une CIPAN.

Les opérations les plus communes lors de l'implantation et de la destruction des cultures intermédiaires sont indiquées dans le Tableau 3-1, avec les temps de travaux et les coûts hors main d'œuvre. Les différences pour une même opération peuvent parfois être importantes entre les sources de données, et ces différences ne sont pas toujours ordonnées de la même manière : le coût pour un semoir avec outil animé est nettement moins élevé dans les références Indre-et-Loire que dans les références Poitou-Charentes et Arvalis ; alors que pour le rouleau Cambridge, les références Indre-et-Loire et Poitou-Charentes sont identiques, et inférieures à celles d'Arvalis. Cependant le classement relatif entre les différentes techniques reste similaire d'une source de données à l'autre. Cela nous a conduit à retenir ces différentes sources d'information, et à définir des prix et temps de travaux minimaux et maximaux pour chacune des opérations observées sur l'ensemble des données (Tableau 3-2).

## Synthèse pour différents itinéraires techniques d'interculture

Trois types de systèmes d'interculture ont été étudiés, afin de pouvoir mettre en évidence les coûts supplémentaires liés à l'insertion d'une CIPAN entre deux cultures principales. Le premier système étudié est une interculture laissée en sol nu, le deuxième une interculture avec repousses de la culture précédente, et le dernier une interculture avec CIPAN. Nous avons scindé l'analyse en deux parties : les travaux en début d'interculture et la destruction des couverts.

En début d'interculture, dans tous les cas, nous considérons qu'il y a un passage de cover-crop. Pour un sol nu, aucun travail du sol supplémentaire n'est réalisé. Dans la modalité interculture avec repousses, l'itinéraire technique étudié associe un déchaumage superficiel après le passage d'un cover-crop, accompagné d'un passage de rouleau. Enfin, nous considérons plusieurs types de semis lors d'une implantation de CIPAN : à la volée, semoir en ligne, semis sous moissonneuse-batteuse (SMB)... L'ensemble des neuf itinéraires techniques est présenté dans le Tableau 3-3.

Pour la phase de destruction, la variable "quantité de matière sèche (MS)" entre en jeu. Ainsi, nous avons considéré que si la quantité de MS dépasse 3 t/ha dans la CIPAN, la destruction est nécessaire avant toute opération de travail du sol. Si la quantité de MS est inférieure à 3 t/ha, alors il n'y a pas d'intervention spécifique. Dans ce cas, quels que soient les itinéraires techniques (sol nu, repousses ou CIPAN), les interventions de préparation de la parcelle pour la culture suivante pourront donc être similaires (désherbage chimique, labour, etc.) et n'entraînent donc pas de surcoût dû à la culture intermédiaire par rapport à une situation laissée en sol nu.

Le Tableau 3-4 récapitule l'ensemble des coûts et temps de travaux supplémentaires par itinéraire technique, par rapport à une interculture laissée en sol nu. Une gestion de l'interculture par des repousses est bien entendu celle qui génère le moins de temps de travail et coûte le moins cher. Concernant les itinéraires avec CIPAN, le surcoût, hors main d'œuvre, incluant le semis et la destruction, varie entre 30 et 92 euros par hectare, auxquels il faut ajouter 14 à 60 €/ha de semence (Tableau 3-2). Par ailleurs, ces itinéraires occasionnent de 0,6 à 2,2 heures de travail supplémentaires par hectare. Si ce travail n'est pas réalisé par l'agriculteur, il faut alors compter pour la main d'œuvre salariée entre 9 et 33 €/ha. A noter toutefois que la majorité des itinéraires techniques se situent en dessous de 1,5 h/ha supplémentaire, soit un coût de main d'œuvre inférieur à 22,5 €/ha.

	ARVALIS 2010		POITOU CHARENTES 2005		Indre et Loire 2008		Indre et Loire 2011	
machine	cout	debit de chantier	cout	debit de chantier	cout	debit de chantier	cout	debit de chantier
SEMIS	€/ha	ha/h	€/ha	ha/h	€/ha	ha/h	€/ha	ha/h
semis à la volée	7	10,0	7	4,0	7	7,0	9	10,0
semis sur MB	8	0,0	7	0,0				
semoir a dent 3 m	36	2,0	37	1,0	16	2,0	19	1,8
semoir outils animé	50	2,3	55	1,0			33	2,7
semoir disque	33	2,0			20	2,0	12	1,8
rouleau cambridge	12	5,0	7	3,0	8	3,3		
Rouleau croskill	12	2,0					10	2,0
DESTRUCTION	€/ha	ha/h	€/ha	ha/h	€/ha	ha/h	€/ha	ha/h
broyeur	25	2,8	12	2,0	10	2,0		
charrue 130 CV 5 soc	39	1,3	41	1,4	20	0,8	20	1,1
déchaumeur disque	16	4,8	16	3,0	11	3,3	16	3,5
pulvé 24 m + produit	13	10,0	20	7,0				

	ARVALIS 2010	POITOU CHARENTES 2005	Pays de la Loire 2003		Deux-Sèvres 2009
semences	cout/ha	cout/ha	cout/ha min	cout/ha max	cout/ha
Moutarde blanche	14,4	15	14	20	16
Ray grass d'Italie	34,5	36	22	35	36
Vesce commune hiver		34	40	50	48
Phacélie	37,1	45	39	60	45

▲ **Tableau 3-1.** Coûts d'utilisations du matériel et des semences par sources bibliographiques

machine	Coûts			Debit chantier	
	Min	Max	variation	Min	Max
<b>SEMIS</b>					
semis à la volée	7	9	29%	4.0	10.0
semis sur MB	7	8	14%	0.0	0.0
semoir a dent 3 m	16	37	131%	1.0	2.0
semoir outils animé	33	55	67%	1.0	2.7
semoir disque	12	33	175%	1.8	2.0
rouleau cambridge	7	12	71%	3.0	5.0
Rouleau croskill	10	12	20%	2.0	2.0
<b>DESTRUCTION</b>					
broyeur	10	25	150%	2.0	2.8
charrue 130 CV 5 soc	20	41	105%	0.8	1.4
déchaumeur disque	11	16	45%	3.0	4.8
pulvérisateur 24 m	13	20	54%	4.0	10.0
<b>semences</b>	<b>min</b>	<b>max</b>			
Moutarde blanche	14	20			
Ray grass d'Italie	22	36			
Vesce commune hiver	34	50			
Phacélie	37	60			

► **Tableau 3-2.** Coûts et temps de travail minimum et maximum considérés pour l'analyse (en euro/ha et en ha/h)

Type d'intervention après récolte précédent	Sol nu	Repousses	ITK 1	ITK 2	ITK 3	ITK 4	ITK 5	ITK 6	ITK 7
Cover-crop	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Déchaumage disques indépendant	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non
Roulage	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Broyage	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
Semis volée	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Semis sur MB	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
Semis disque	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Semis dent	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui
Semis outils animés	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non

Tableau 3-3. Itinéraires techniques de gestion en début d'interculture

	Semis ITK	Coûts min (1 ha)	Coûts max (1 ha)	Durée travail min (1 ha)	Durée de travail max (1 ha)
<b>CIPAN</b>					
<b>Semis à la volée</b>	Déchaumage + Semis volée + Roulage (ITK 1)	25	37	0.5 heures	0.9 heures
<b>Semis SMB</b>	Semis sur Moissonneuse Batteuse+ Broyage + Roulage (ITK 2)	24	45	0.6 heures	0.8 heures
<b>Semis en ligne avec déchaumage</b>	Déchaumage + Semis semoir à dent + Roulage (ITK3)	34	65	0.9 heures	1.7 heures
	Déchaumage + Semis semoir à disque + Roulage (ITK 4)	30	61	0.9 heures	1.2 heures
<b>Semis en ligne direct</b>	Semis semoir à disque + Roulage (ITK 5)	19	45	0.7 heures	0.9 heures
	Semis outils animé + Roulage (ITK 6)	40	67	0.6 heures	1.3 heures
	Semis semoir à dent + Roulage (ITK 7)	23	49	0.7 heures	1.3 heures
<b>REPOUSSES</b>					
<b>Travail sol repousses</b>	Déchaumage + Roulage	18	28	0.4 heures	0.7 heures
<b>Destruction ITK</b>		<b>Coûts min</b>	<b>Coûts max</b>	<b>Durée travail min (10 ha)</b>	<b>Durée de travail max (10 ha)</b>
<b>CIPAN (si quantité MS&gt;3 tonnes)</b>					
<b>Chimique</b>	Pulvérisateur (produits inclus)	13	20	0.1 heure	0.2 heures
<b>Mécanique</b>	Broyage	10	25	0.4 heures	0.5 heures
	Roulage	7	12	0.2 heures	0.3 heures

Tableau 3-4. Synthèse des coûts et temps de travaux minimum et maximum des différents itinéraires techniques

### 3.3.4. Bilan

Malgré la pertinence de l'interrogation sur l'adéquation entre organisation du travail au sein de l'exploitation agricole et gestion des cultures intermédiaires au niveau de l'exploitation, cette question n'a pas été prise en charge. Aucune étude portant sur la faisabilité de cette pratique à l'échelle de l'exploitation n'a été réalisée dans des situations contrastées de climat, de sol et de type d'exploitation. Des études partielles portant sur les temps de travaux et les jours disponibles, ainsi que sur les coûts des itinéraires techniques, existent néanmoins. Elles montrent une grande variabilité, que ce soit en temps de travaux et en coût pour différents types d'itinéraires techniques, ou en termes de jours disponibles pour la destruction des couverts.

Il est à noter que pour le cas des sols argileux, la difficulté de gestion des cultures intermédiaires peut venir de la préparation du sol réalisée et non de la conduite de la culture intermédiaire. Ces sols sont en effet généralement labourés juste après récolte, en été afin de les soumettre à l'alternance humectation / dessiccation, ce qui n'est pas compatible avec le semis d'une culture intermédiaire, ou assez tôt à l'automne pour qu'ils bénéficient de l'alternance gel / dégel. Réaliser ce labour tard à l'automne en raison d'un décalage dû à une destruction tardive des CI, voire au printemps, peut être problématique du fait des conditions d'humidité du sol : impossibilité de le réaliser ou résultat non satisfaisant compromettant le rendement de la culture suivante (Hénin et al., 1969 ; Boiffin et Marin-Lafleche, 1990 ; Cochard, 1971).

Cela souligne la nécessité d'une approche locale pour raisonner le choix de conduite de l'interculture, tenant compte des caractéristiques pédoclimatiques et des caractéristiques de l'exploitation en termes de systèmes de culture et de matériel et main d'œuvre. Une perspective de travail serait de conduire une analyse spécifique à cette situation avec une approche globale de l'organisation du travail à l'échelle de l'exploitation agricole, comme cela a pu être mis en œuvre dans des analyses portant sur le raisonnement des agro-équipements (section 3.3.1).

Cela nécessiterait :

1. en partant d'une analyse des jours disponibles, d'identifier les situations pédoclimatiques présentant des contraintes de jours disponibles pour les travaux d'automne (chantiers à considérer : récoltes tardives, semis d'automne, destruction de CI, labour d'hiver) ;
2. de réaliser une typologie d'exploitations agricoles dans ces régions, portant sur la caractérisation des chantiers à réaliser à l'automne, les enchaînements et les concurrences entre ces chantiers, les ressources disponibles (matériel et main d'œuvre) ;
3. de simuler pour les différents types d'exploitations, des calendriers de travaux pour des scénarios climatiques variés et d'analyser les probabilités de non-réalisation des labours d'hiver dans des conditions agronomiques correctes.

## Références bibliographiques citées

### Section 3.1.

- Abdin O, Coulman BE, Cloutier D, Faris MA, Zhou XM, Smith DL. 1998. Yield and yield components of corn interseeded with cover crops. *Agronomy Journal* 90, 63-68.
- Abdin OA, Coulman BE, Cloutier DC, Faris MA, Smith DL. 1997. Establishment, development and yield of forage legumes and grasses as cover crops in grain corn in eastern Canada. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* 179, 19-27.
- Ammon HU. 1994. From weed control to regulation of green cover crops in maize. *Revue Suisse d'Agriculture* 26, 28-38.
- Arshad MA, Gill KS. 1997. Barley, canola and wheat production under different tillage-fallow-green manure combinations on a clay soil in a cold, semiarid climate. *Soil & Tillage Research* 43, 263-275.
- Dorsainvil F, Durr C, Justes E, Carrera A. 2005. Characterisation and modelling of white mustard (*Sinapis alba* L.) emergence under several sowing conditions. *European Journal of Agronomy* 23, 146-158.
- Edwards L. 1998. Comparison of two spring seeding methods to establish forage cover crops in relay with winter cereals. *Soil & Tillage Research* 45, 227-235.
- Edwards LM. 1989. Dry matter growth performance of red clover and Italian ryegrass as cover crops spring-seeded into fall-seeded winter rye in relation to soil physical characteristics. *Journal of Soil & Water Conservation* 44, 243-247.
- Frye WW, Blevins RL. 1989. Economically sustainable crop production with legume cover crops and conservation tillage. *Journal of Soil and Water Conservation* 44, 57-60.
- Griffin TS, Larkin RP, Honeycutt CW. 2009. Delayed Tillage and Cover Crop Effects in Potato Systems. *American Journal of Potato Research* 86, 79-87.
- Hartwig NL, Ammon HU. 2002. 50th Anniversary - Invited article - Cover crops and living mulches. *Weed Science* 50, 688-699.
- Henry DC, Mullen RW, Dygert CE, Diedrick KA, Sundermeier A. 2010. Nitrogen Contribution from Red Clover for Corn following Wheat in Western Ohio. *Agronomy Journal* 102, 210-215.
- Jokela WE, Grabber JH, Karlen DL, Balsler TC, Palmquist DE. 2009. Cover Crop and Liquid Manure Effects on Soil Quality Indicators in a Corn Silage System. *Agronomy Journal* 101, 727-737.
- Kandel HJ, Schneiter AA, Johnson BL. 1997. Intercropping legumes into sunflower at different growth stages. *Crop Science* 37, 1532-1537.
- Krueger ES, Ochsner TE, Porter PM, Baker JM. 2011. Winter Rye Cover Crop Management Influences on Soil Water, Soil Nitrate, and Corn Development. *Agronomy Journal* 103, 316-323.
- Matthews K. 1983. Beating the blow: available techniques. *British Sugar Beet Review* 51, 65, 68-69.
- Mouraux D, Cappellen O, Foucart G, Trappeniers G, Scokart P, Ledent JF. 1992. Towards a better use of nitrogen in maize: undersowing, sowing under cover crop residues and localized nitrogen application. *Revue de l'Agriculture* 45, 389-404.
- Osborne SL, Schumacher TE, Humburg DS. 2008. Evaluation of cover crops to increase corn emergence, yield and field trafficability. *Agricultural Journal* 3, 397-400.
- Pierce FJ, Burpee CG. 1995. Zone tillage effects on soil properties and yield and quality of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Soil & Tillage Research* 35, 135-146.
- Richard G, Boiffin J, Duval Y. 1995. Direct drilling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) into a cover crop: effects on soil physical conditions and crop establishment. *Soil & Tillage Research* 34, 169-185.
- Singer JW, Kohler KA, McDonald PB. 2007. Self-seeding winter cereal cover crops in soybean. *Agronomy Journal* 99, 73-79.
- Stenberg M. 1998. Spring establishment of perennial ryegrass in winter wheat. *Swedish Journal of Agricultural Research* 28, 83-90.
- Young WC, III, Youngberg HW. 1995. Establishing red clover seed stands in the autumn with cereal cover crops. *Journal of Applied Seed Production* 13, 32-36.

### Documents techniques

- Cultures intermédiaires. Impacts et conduite. Document de synthèse Arvalis - Institut du Végétal avec la participation du CETIOM, de l'ITB, et de l'ITL. Août 2011.
- Conseils pour le choix des couverts. La technique betteravière. Le betteravier Français 933, juillet 2010.
- Guide pratique pour réussir sa culture intermédiaire. Edition septembre 2003. Chambre régionale d'agriculture Pays de la Loire.
- Sausse C., Lucas J.L., Wagner D., 2011. Estimation of oilseed rape seed losses before and during harvest in France in various conditions. - Synthesis of a 8 years program – 13<sup>th</sup> International Congress GCIRC (Groupe consultatif international de Recherche sur le colza), Prague, 6-9 juin 2011.

## Section 3.2.

- Ashford, D.L., Reeves, D.W., 2003. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. *American Journal of Alternative Agriculture* 18, 37-45.
- Cakmak, I., Yazici, A., Tutus, Y., Ozturk, L., 2009. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *Eur. J. Agron.* 31, 114-119.
- Carrera, L.M., Abdul-Baki, A.A., Teasdale, J.R., 2004. Cover crop management and weed suppression in no-tillage sweet corn production. *Hortscience* 39, 1262-1266.
- Delabays, N., Bohren, C., 2007. Glyphosate: worldwide situation and consequences for Switzerland. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 39, 333-339.
- Dugon J., F.G., Zimmermann A., Charles R., 2010. Pratiques phytosanitaires dans un réseau d'exploitations de grandes cultures de 1992 à 2004. *Recherche Agronomique Suisse* 1, 416-423.
- Fernandez, M.R., Zentner, R.P., Basnyat, P., Gehl, D., Selles, F., Huber, D., 2009. Glyphosate associations with cereal diseases caused by *Fusarium* spp. in the Canadian Prairies. *Eur. J. Agron.* 31, 133-143.
- Hartwig, N.L., Ammon, H.U., 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science* 50, 688-699.
- Hoffman, M.L., Regnier, E.E., 2006. Contributions to weed suppression from cover crops. Food Products Press, Binghamton.
- Johal, G.S., Huber, D.M., 2009. Glyphosate effects on diseases of plants. *Eur. J. Agron.* 31, 144-152.
- Johnson, W.G., Davis, V.M., Kruger, G.R., Weller, S.C., 2009. Influence of glyphosate-resistant cropping systems on weed species shifts and glyphosate-resistant weed populations. *Eur. J. Agron.* 31, 162-172.
- Kremer, R.J., Means, N.E., 2009. Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. *Eur. J. Agron.* 31, 153-161.
- Lins, R.D., Cole, C.M., Affeldt, R.P., Colquhoun, J.B., Mallory-Smith, C.A., Hines, R.A., Steckel, L., Hayes, R.M., 2007. Glyphosate application timing and rate for annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) cover crop desiccation. *Weed Technology* 21, 602-605.
- Smith, A.N., Reberg-Horton, C., Place, G.T., Meijer, A.D., Arellano, C., Mueller, J.P., 2011a. Rolled Rye Mulch for Weed Suppression in Organic No-Tillage Soybeans. *Weed Science* 59, 224-231.
- Smith, A.N., Reberg-Horton, S.C., Place, G.T., Meijer, A.D., Arellano, C., Mueller, J.P., 2011b. Rolled rye mulch for weed suppression in organic no-tillage soybeans. *Weed Science* 59, 224-231.
- Teasdale, J.R., 1996. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of Production Agriculture* 9, 475-479.
- Tesfamariam, T., Bott, S., Cakmak, I., Romheld, V., Neumann, G., 2009. Glyphosate in the rhizosphere-Role of waiting times and different glyphosate binding forms in soils for phytotoxicity to non-target plants. *Eur. J. Agron.* 31, 126-132.
- Yamada, T., Kremer, R.J., de Camargo e Castro, P.R., Wood, B.W., 2009. Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and diseases of plants: Threat to agricultural sustainability? *Eur. J. Agron.* 31, 111-113.

## Documents techniques

- Besnard, A., Duval, R., Hopquin, B., Lieven, J., Morin, P., Straëbler, M., 2011. Un choix d'espèces de plus en plus large. *Cultures intermédiaires : impacts et conduite*. Arvalis - Institut du végétal, Paris, pp. 175-189.
- Labreuche, J., Brun, D., 2011. La destruction du couvert, une opération d'importance. *Cultures intermédiaires : impacts et conduite*. Arvalis - Institut du végétal, Paris, pp. 175-189.

## Section 3.3.

- Aubry, C., Biarnes, A., Maxime, F., Papy, F., 1998. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de systèmes de culture. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement* 31, 25-43.
- Boiffin, J., Marin-Lafèche, A., 1990. La structure du sol et son évolution : conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur. *Collection les Colloques de l'INRA*. Paris, France.
- Cerf, M., Mousset, J., Angevin, F., Boizard, H., Papy, F., 1994. La modélisation des conditions d'intervention au champ en grande culture. *Recherches-système en agriculture et développement rural, symposium international*. Communication sous la direction de M. Sebillotte., Grignon, France.
- Ekman, S., 2005. Cost-effective nitrogen leaching reduction as influenced by linkages between farm-level decisions. *Agricultural Economics* 32, 297-309.
- Guan, S., Nakamura, M., Shikanai, T., Okazaki, T., 2008. Hybrid Petri nets modeling for farm work flow. *Computers and electronics in agriculture* 62, 149-158.
- Hénin, S., Gras, R., Monnier, G., 1969. Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. 2ème édition revue et corrigée, Masson et Cie. ed.

- Joannon, A., Papy, F., Martin, P., Souchère, V., 2005. Planning work constraints within farms to reduce runoff at catchment level. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 111, 13-20.
- Lal, H., Peart, R.M., Jones, J.W., Shoup, W.D., 1991. An object-oriented field operations simulator in PROLOG. *American Society of Agricultural Engineers* 34, 1031-1039.
- Martin, G., Martin-Clouaire, R., Rellier, J.-P., Duru, M., 2011. A simulation framework for the design of grassland-based beef-cattle farms. *Environmental Modelling & Software* 26, 371-385.
- Martin, P., Papy, F., Souchère, V., Capillon, A., 1998. Maîtrise du ruissellement et modélisation des pratiques de production. *Cahiers Agricultures* 7, 111-119.
- Martin-Clouaire, R., Rellier, J.-P., 2009. Modelling and simulating workpractices in agriculture. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies* 4, 42-53.
- Maton, L., Bergez, J.E., Leenhardt, D., 2007. Modelling the days which are agronomically suitable for sowing maize. *European Journal of Agronomy* 27, 123-129.
- Papy, F., 2001. Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation, in: *Modélisation Des Agroécosystèmes Et Aide à La Décision*, Collection Repères. INRA Editions / CIRAD, pp. 51-74.
- Papy, F., Attonaty, J.M., Laporte, C., Soler, L.G., 1988. Work organization simulation as a basis for farm management advice. *Agricultural Systems* 27, 295-314.
- Reboul, C., Maamoun, M., Desbrosses, B., 1979. Météorologie et jours disponibles pour les travaux des champs. Résultats statistiques en Ile-de-France. Institut National de la Recherche Agronomique.
- Rellier, J.-P., Martin-Clouaire, R., Cialdella, N., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., 2011. Modélisation de l'organisation du travail en systèmes de grande culture : méthode et application à l'évaluation ex ante d'innovations variétales de pois, in: *Le Travail En Agriculture : Son Organisation Et Ses Valeurs Face à L'innovation*. L'Harmattan, Paris, pp. 205-221.

### Documents techniques

- Arvalis, 2011. Cultures intermédiaires : impacts et conduite. Paris, France.
- Gillet J.P., 1992. Simulations : une méthode de calcul des jours disponibles. *Perspectives Agricoles* 172, 95-98.
- Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres, 2009. Les cultures intermédiaires. Fiches techniques Septembre, 1-8.
- Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2003. Couvrir les sols en automne. Guide pratique pour réussir sa culture intermédiaire. Fiches techniques Septembre, 1-12.
- Cochard, B., 1971. Date de labour et qualité du travail. I. Etude expérimentale de la relation date-qualité d'un labour. *Comptes Rendues de l'Académie d'Agriculture* 57, 566-575.
- Desoubry, P., Trochard, R., Mius, P., 1996. Jours disponibles : comparaison de deux méthodes d'estimation. *Perspectives Agricoles* 212, 80-87.
- FDCUMA 37, 2011a. Barème d'entraide 2011-2012. Action Agricole de Touraine 3379, 4-9.
- FDCUMA 37, 2011b. Barèmes d'entraide 2007-2008. Terre de Touraine Septembre, 13-15.
- Guillot, C., Morretty, P., Bouillot, J.F., Lalanne, E., Kockmann, F., 1995. Faut-il continuer à drainer ? Hydromorphie, jours disponibles et organisation du travail en Bourgogne - Opération Secteur de Référence Drainage - Chambre d'agriculture de Saône et Loire, avec la collaboration scientifique de F Papy (INRA).
- Guillot, C., Petit, M.S., 1996. EquiPlan : outil de raisonnement du niveau d'équipement d'une exploitation agricole en lien avec l'organisation du travail.
- Labreuche, J., Collet, A., 2010. Faisabilité de la destruction de cultures intermédiaires par le gel ou des moyens mécaniques. Presented at the AFPP - 21ème conférence du COLUMA - Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, France, p. 11.
- Minette, S., 2005. Gestion de l'interculture et qualité de l'eau : quatre années de références en Poitou-Charentes sur la gestion de l'interculture, Agro-transfert agronomie et développement Poitou-Charentes. ed.
- Mius, P., de Ponthaud, A., Carrière, J., 1994. Les jours disponibles en Seine-Maritime. 1983 à 1992. Chambre d'agriculture de la Seine-Maritime.
- Mousset, J., 1996. Mecagro, conseil en agroéquipement dans les exploitations de grande culture, Le Bipôle végétal. ed. Amiens, France.