Action 4

Introduire davantage de cultures intermédiaires, cultures intercalaires et bandes enherbées dans les systèmes de culture pour stocker du carbone dans les sols et limiter les émissions de N_2O

Auteurs
Caroline Colnenne-David (INRA-EA)
Laure Bamière (INRA-SAE2)

Appui scientifique interne
Denis Angers (Agriculture et Agroalimentaire Canada)
Claire Chenu (AgroParisTech)
Marie-Hélène Jeuffroy (INRA-EA)
Aurélie Metay (Montpellier Supagro)
Sylvie Recous (INRA-EA)

Extraction et traitement de données
Nathalie Delame (INRA-SAE2)
Jean-Baptiste Duclos (INRA-SAE2)

Relecteurs scientifiques externes
Julie Constantin (INRA-SPAD)
Bruno Mary (INRA-EA)

Relecteurs techniques externes
Antonio Bispo (ADEME)
Jean-Pierre Cohan (Arvalis)
Antoine Poupart (InVivo)

1. Introduction : cadrage et description succincte de l'action

Dans un objectif de réduction des émissions de GES, l'action concerne l'introduction : (i) de cultures intermédiaires, semées en période d'interculture pour les systèmes de grandes cultures, (ii) de cultures intercalaires implantées dans les vergers et vignes, et (iii) de bandes enherbées introduites en bordures de cours d'eau ou en périphérie de parcelles cultivées. Pour les premières, il s'agira de cultures temporaires d'une durée de vie plus ou moins longue (3 à 9 mois selon la durée de l'interculture) et dont les résidus seront restitués au sol, pour les deux dernières les implantations seront en majorité de type pérenne.

Le principal gaz visé par cette action est le CO_2 par le biais du stockage de carbone dans les sols, *via* l'apport au sol des résidus de cultures intermédiaires, ou *via* l'apport des produits de tonte des couverts herbacés (cultures intercalaires et bandes enherbées) dans les sols et la rhizodéposition à partir des racines des cultures intercalaires et bandes enherbées. La réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) sera aussi considérée, mais de façon secondaire car elle est peu renseignée dans la littérature. Les modifications dans les conduites culturales, et notamment dans les pratiques de fertilisation azotée, seront prises en considération dans les calculs d'atténuation des émissions de GES.

Pour les cultures intermédiaires, leur implantation suppose un surplus d'activité pour l'agriculteur, lié particulièrement à la gestion des résidus des cultures intermédiaires (i.e. favoriser/faciliter la destruction de la culture intermédiaire pour ne pas pénaliser le semis et la levée de la culture de vente suivante). Pour les cultures intercalaires, il s'agira d'adapter/de modifier les pratiques culturales et le matériel agricole pour pratiquer les interventions techniques culturales spécifiques aux cultures pérennes (arbres fruitiers et ceps de vigne) et aux cultures intercalaires. Pour les bandes enherbées, il s'agira de détruire la culture existante en place pour implanter une bande enherbée pérenne dans des zones très spécifiques.

L'objectif de cette action est d'estimer (1) l'augmentation du stock de carbone dans les sols à partir de ces "nouvelles" surfaces cultivées, (2) la réduction des émissions de protoxyde d'azote à partir de ces mêmes surfaces, (3) l'évolution des émissions de gaz carbonique liées aux évolutions des pratiques culturales et (4) l'impact des modifications de pratique de fertilisation azotée.

Les interactions avec les Actions 2 (Accroître la part des légumineuses en grande culture), 1 (Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse) et 5 (Développer l'agroforesterie) seront évoquées dans le texte.

2. Description de l'action

2.a. Mécanismes en jeu et émissions de GES associées

Les effets directs attendus concernent l'augmentation du stockage de carbone dans les sols ("captage" de CO_2), les variations des émissions de N_2O liées aux modifications des pratiques de fertilisation azotée et les variations des émissions de CO_2 consécutives à l'évolution des pratiques culturales.

Les effets indirects en aval prévus concernent la variation des quantités de nitrate disponibles dans les eaux superficielles et des quantités de dépôts d'ammoniac, liées aux changements des pratiques de fertilisation azotée.

Les effets induits en amont sont associés à la fabrication de fertilisants azotés minéraux, de désherbants et de gazole utilisés lors de l'adoption de ces pratiques culturales et au transport de ces produits des sites de production à la ferme.

L'adoption de l'ensemble de ces trois sous-actions conduira :

- à une augmentation du stockage de carbone liée (i) aux restitutions de résidus de cultures intermédiaires, au maintien sur les parcelles des résidus de tontes des cultures intercalaires et des bandes enherbées et (ii) à la rhizodéposition issue des racines des plantes pérennes nouvellement introduites dans les systèmes ;
- à un accroissement des émissions de CO_2 suite à l'adoption de nouvelles pratiques agricoles (i.e. passages supplémentaires d'engins agricoles). Pour les cultures intermédiaires, il s'agira de gérer les résidus de la culture précédente, de semer et de détruire la culture intermédiaire. Dans le cas des cultures intercalaires, il s'agira de préparer le lit de semences, de semer le couvert herbacé et de l'entretenir par des tontes régulières. Pour les bandes enherbées, il s'agira de préparer le lit de semences, de semer la bande enherbée et de l'entretenir par des tontes successives.

Pour les sous-actions "cultures intermédiaires" et "bandes enherbées", la consommation de fertilisant azoté sera réduite : la présence de culture intermédiaire sera prise en compte dans le calcul des besoins en azote des cultures de printemps suivantes, et les bandes enherbées ne seront pas fertilisées contrairement aux cultures initialement présentes sur la parcelle. La fertilisation sera plus élevée pour la sous-action "cultures intercalaires" afin de maintenir les potentiels de production des vignes.

Pour les cultures intermédiaires, l'utilisation de désherbants sera légèrement plus élevée (cette pratique est retenue actuellement par les agriculteurs pour détruire les cultures intermédiaires sur 20% des surfaces : résultat de l'enquête "Pratiques culturales" Agreste 2006), alors qu'elle sera réduite sur les cultures intercalaires et les bandes enherbées (selon la règlementation, ces dernières ne doivent recevoir aucun produit phytosanitaire, contrairement aux cultures initialement présentes sur la parcelle).

2.b. Sous-actions et éventuelles options techniques instruites dans la fiche

Pour les trois sous-actions retenues, les options techniques instruites dans cette fiche sont les suivantes.

Sous-action 1 "cultures intermédiaires" (cf. Annexe 1)

• Option technique 1 : prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses comme cultures intermédiaires et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante systématiquement après implantation d'une culture intermédiaire. Pour ne pas implanter plus d'une légumineuse tous les 6 ans sur la même parcelle (un nombre plus élevé de légumineuses dans le temps pourrait favoriser le développement de maladies telles que *Aphanomyces euteiches*), seuls 15% des surfaces assignées aux cultures intermédiaires seront des mélanges composés de légumineuses. Nous avons considéré que l'introduction de légumineuses supplémentaires comme culture principale (cf. Action 2 "Accroître la part des légumineuses en grande culture) ne modifiait pas cette fréquence. L'ensemble des surfaces assignées aux cultures de printemps (zones déclarées vulnérables ou non vulnérables) sont ciblées par cette option.

• Option technique 2 : implanter des cultures intermédiaires longues, soit (i) d'une durée de vie de 7 à 8 mois, pour des semis post récolte d'une culture en été (généralement récoltée fin juillet), puis détruite avant l'implantation de la culture suivante au printemps (semée environ mi-mars), soit (ii) d'une durée de vie de 5 à 6 mois, pour des semis post récolte d'une culture en automne (généralement récoltée en septembre-octobre) puis détruite avant l'implantation de la culture suivante au printemps. La fertilisation azotée de la culture suivante sera systématiquement réduite. Les zones non vulnérables sont ciblées par cette option.

• Option technique 3 : favoriser les repousses du précédent cultural, de nature variée : colza, céréales à paille ou pois (ce sont les espèces de repousses les plus courantes en France : enquête "Pratiques culturales" 2006) dont la durée de vie est de 7 à 8 mois, puis détruites avant implantation de la culture suivante au printemps. Les zones non vulnérables sont ciblées par cette option.

Les options techniques 2 et 3 ne concernent pas les zones vulnérables, car selon la règlementation actuelle, ces zones sont dans l'obligation d'avoir des couverts avant les cultures de printemps, excepté dans les régions faisant l'objet de dérogations.

Sous-action 2 "cultures intercalaires" (cf. Annexe 2)

Les cultures intercalaires correspondent à l'enherbement entre les rangs, voire sur les rangs, des vignes ou de vergers. Deux techniques différentes peuvent être adoptées :

- le couvert hivernal correspond à l'implantation d'un couvert végétal (ou au développement d'un couvert spontané) en période hivernale, puis à sa destruction (mécanique, thermique ou chimique) à la sortie de l'hiver, lorsque la période végétative de la vigne reprend ;
- le couvert permanent consiste à semer, maintenir et entretenir un couvert végétal de façon pérenne.

Trois options techniques sont proposées :

• Option technique 1 : enherbement permanent de toute la surface cultivée, soit tous les rangs et tous les inter-rangs. Les vergers sont ciblés par cette option.

• Option technique 2 : enherbement permanent de tous les inter-rangs. Les vignes de certains vignobles sont ciblées par cette option.

• Option technique 3 : enherbement hivernal temporaire. Les vignes de certains vignobles sont ciblées par cette option.

Sous-action 3 "bandes enherbées" (cf. Annexe 3)

Les bandes enherbées correspondent à l'enherbement de la périphérie des parcelles, à proximité des cours d'eau et en bas de parcelles présentant une forte déclivité. Dans cette étude, seules les surfaces implantées à proximité de cours d'eau feront l'objet de notre analyse, la quantification des autres types de bandes enherbées étant très difficile.

• Option technique : semis de bandes enherbées le long des cours d'eau.

2.c. Rapports et expertises majeurs ayant déjà examiné/évalué l'action

Plusieurs expertises et études ont été conduites sur ces thèmes (Tableau 1) :

1. 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 ? Expertise scientifique collective, INRA, 335 p.
2. Justes E., Beaudouin 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., Souchère V., Tournebize J., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires. Rapport d'étude, INRA, 418 p.

Ces travaux nous ont permis de définir les gammes de valeurs à retenir pour calculer les atténuations des émissions de gaz à effet de serre (stockage de carbone dans les sols pour les différentes sous-actions selon les conditions de pédoclimat ; émissions de protoxyde d'azote à partir des nouvelles implantations).

Sous l'impulsion de la réforme de la PAC de 2003 (mise en place du principe d'éco-conditionnalité des aides agricoles), les agriculteurs ont implanté des bandes enherbées le long des cours d'eau pour limiter la dérive des produits phytosanitaires et des fertilisants dans les eaux superficielles, et limiter l'érosion hydrique des sols. Cette fonction environnementale a été très largement étudiée (Gry, 2006 ; Tollner et al., 1976 ; Souiller et al., 2002) sans pour autant quantifier les surfaces enherbées et évaluer leurs effets sur les émissions de GES.

Tableau 1. Synthèse des valeurs de flux de carbone dans les sols et d'émissions de protoxyde d'azote issues de divers rapports récents sur le sujet, basées sur des expérimentations ou issues de synthèses bibliographiques (pays ou zones géographiques concernés, sous-actions concernées, assiettes maximales, gammes de potentiel d'atténuation)

Etude	Pays	Sous-action concernée	Assiette maximale	Potentiel d'atténuation Flux net annuel de stockage initial
Greenhouse gas mitigation potential of agricultural land management in USA 2012	USA	Cultures intermédiaires	51.9 Mha	CO_2 : 1,34 $MgCO_2e$/ha/an N_2O: 0,12 $MgCO_2e$/ha/an
Etude "Cultures intermédiaires" INRA 2012	France	Cultures intermédiaires	Non comptabilisé	CO_2 : 0,238 tC/ha/an (±0,107 MgC/ha/an) = 0,874 $MgCO_2e$/ha/an * (±0,393 $MgCO_2e$/ha/an) N_2O : +0,11 kgN/ha/an (écart-type de 1,12 kgN/ha/an)
Expertise scientifique collective "Carbone" INRA 2002	France	Cultures intermédiaires	2,5 Mha	0,16 MgC/ha/an = 0,59 $MgCO_2e$/ha/an
		Cultures intercalaires (vignes et vergers)	500 000 ha	0,49 MgC/ha/an (±0,26 MgC/ha/an) = 1,798 $MgCO_2e$/ha/an * (±0,954 $MgCO_2e$/ha/an)
		Bandes enherbées	Non comptabilisé	Conversion de cultures en prairies permanentes à niveau d'intensification égal ou croissant : 0,49 MgC/ha/an (±0,26 MgC/ha/an) = 1,798 $MgCO_2e$/ha/an * (±0,954 $MgCO_2e$/ha/an)

*facteur de conversion C → CO_2 = 3,67

3. Etat des connaissances sur les phénomènes/mécanismes sous-jacents et leur quantification

3.1. Sous-action "cultures intermédiaires"

La littérature concernant les émissions de GES (CO_2 et N_2O principalement) à partir des cultures intermédiaires est peu abondante. Leur impact est souvent étudié en association avec d'autres pratiques culturales comme le labour ou l'épandage d'engrais, d'où la difficulté de quantifier les effets spécifiques aux cultures intermédiaires.

Les effets attendus concernent :

- la réduction des émissions de CO_2 *via* le stockage de carbone dans les sols,
- l'atténuation des émissions de N_2O liée la réduction de la disponibilité des "formes" azotées (nitrate, ammonium) dans les sols et les eaux de percolation à partir desquelles le N_2O est produit,
- la modification des pratiques agricoles : fertilisation azotée réduite de la culture suivante, pratiques culturales supplémentaires liées au semis et à la destruction des cultures intermédiaires.

• Le stockage de carbone dans les sols

Le "captage" de CO_2 s'appuie sur le principe de stockage de carbone dans les sols suite à la production de biomasse des cultures intermédiaires et à leur restitution au sol. Le CO_2 atmosphérique est fixé dans les plantes par les mécanismes de la photosynthèse. Les cultures intermédiaires ayant pour vocation d'être détruites avant implantation de la culture suivante, la totalité de leur biomasse aérienne et racinaire, est restituée aux sols sous forme de matière organique. La réduction des émissions directes de CO_2 résulte de l'augmentation du stockage de carbone dans les sols agricoles, *via* la restitution des résidus de ces cultures intermédiaires dans les sols. L'impact significatif sur la séquestration de carbone, malgré une occupation relativement courte des sols, a été montré dans de nombreuses études (Zhou et al., 2010 ; Ding et al., 2006 ; Constantin et al., 2010). Deux expertises scientifiques recensent les données bibliographiques sur la quantification du stockage de carbone après implantation de cultures intermédiaires. Dans l'expertise INRA 2002 sur le stockage de carbone, les quantités de carbone stockées post cultures intermédiaires sont évaluées à 0,16 MgC/ha/an. Toutefois, les références/études utilisées pour calculer cette valeur ne sont pas précisées et ne nous permettent pas de juger de la pertinence de leur application dans les conditions pédoclimatiques de la France. Dans l'étude INRA 2012 sur les cultures intermédiaires, les sources utilisées pour quantifier le stockage de carbone sont identifiées. La valeur moyenne de carbone stocké, calculée à partir de neuf données européennes, est de 0,238 MgC/ha/an dans les régions tempérées (i.e. comparables aux conditions pédoclimatiques de la France), avec un écart type de 0,107 MgC/ha/an.

Cette valeur moyenne couvre une grande variabilité de données, liée à :
- la nature des espèces implantées (les biomasses aériennes produites sont comprises entre 0,2 à 6,8 MgMS/ha selon les espèces implantées dans les conditions anglaises au cours de la période 1989-1993 ; Allison et al, 1998),
- la date de semis : dans un réseau expérimental de Belgique, de la moutarde blanche semée les 17/08, 30/08 et 13/09 présente des niveaux de biomasse aérienne de 3,2, 2,4 et 0,7 MgMS/ha respectivement pour ces trois dates de semis (Destain et al., 2010). Ces résultats sont confirmés dans les conditions néerlandaises (de Vos, 1992). Cohan et al. (2011a) ont réalisé un zonage de la France métropolitaine définissant les dates de levée médianes (i.e. des dates de semis) de 4 espèces de culture intermédiaire de familles botaniques différentes sans autre facteur limitant que la température pour obtenir 2 MgMS/ha au 15 novembre. Elles s'échelonnent du 21 août pour la région nord-est au 30 septembre pour la région sud-ouest.
- Le développement de la culture intermédiaire, qui dépend lui-même des premiers facteurs cités, mais également du climat de l'année en question.
- La date de destruction, si elle est précoce (destruction par le gel, biomasse aérienne plus faible) ou tardive (hiver doux permettant le maintien de la croissance de la culture intermédiaire, i.e. production de biomasse aérienne plus élevée).

Malgrè cette grande variabilité, les calculs seront conduits avec les références de l'étude INRA 2012. Deux valeurs seront calculées :
- une valeur basse calculée à partir de la valeur moyenne (Etude INRA 2012) à laquelle la valeur de l'écart type a été soustraite, soit 0,480 $MgCO_2e$/ha/an ;
- la valeur haute calculée à partir de la valeur moyenne (Etude INRA 2012) à laquelle la valeur de l'écart type a été ajoutée, soit 1,265 $MgCO_2e$/ha/an.

Pour l'option technique 3 (favoriser les repousses des cultures précédentes), nous ne tiendrons pas compte du stockage de carbone dans les sols car la croissance et le développement des repousses sont très aléatoires à l'échelle du territoire français.

• Les émissions de protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote est produit dans les sols, *via* les microorganismes, par des phénomènes de dénitrification (réduction du nitrate NO_3^- en diazote N_2) et de nitrification (transformation de l'ammonium NH_4^+ en nitrate). Son émission est fortement liée aux pratiques de fertilisation azotée minérale ou organique.

L'implantation de cultures intermédiaires peut conduire à la diminution des émissions de N_2O selon différents processus (effet direct et effets indirects en aval) :
- l'absorption du nitrate du sol par les cultures intermédiaires réduit la disponibilité du nitrate dans les sols et limite la dénitrification,
- la réduction de la concentration nitrique des eaux de drainage, et donc d'apport de formes azotées dans les zones humides sujettes à des phénomènes de dénitrification (processus non quantifié à ce jour), réduit aussi les mécanismes de dénitrification,
- l'absorption de l'ammonium du sol par les cultures intermédiaires réduit la concentration en ammonium dans les sols et conduit à une baisse de la nitrification autotrophe.

Pour favoriser ces processus, il s'agira d'implanter des cultures ayant un pouvoir d'absorption d'azote important. Elles sont désignées dans la littérature "Cultures Intermédiaires Piège A Nitrate" (CIPAN). Les quantités d'azote piégé par les cultures intermédiaires dépendent de très nombreux facteurs (conditions pédoclimatiques favorables à la croissance et au stockage d'azote dans les plantes, durée de "vie" de la culture intermédiaire limitée par sa destruction, espèces considérées). Mesigner et al. (2001), Thorup-Kristensen et al. (2003), Tonitto et al. (2006) ont conduit différentes méta-analyses étudiant l'impact des cultures intermédiaires sur les quantités de nitrate lixivié (Etude INRA 2012). Les résultats collectés tant en Europe qu'aux Etats-Unis s'accordent sur les faits suivants : (i) les quantités de nitrate lixivié sont plus importantes à partir d'un sol nu que d'un sol ayant une culture intermédiaire, (ii) la gamme de variation est très importante, et (iii) l'effet "famille botanique" est notoire sur l'efficacité moyenne, moindre pour les légumineuses que pour les graminées et crucifères ; les données concernant les mélanges sont encore trop rares pour conclure. Selon Cohan et al. (2011b), dans les conditions françaises, il existe une corrélation positive entre la quantité d'azote stocké dans le couvert végétal et la réduction du stock minéral d'azote du sol à l'entrée de l'hiver. A l'échelle de la parcelle, la diminution de la quantité d'azote lixivié et de la concentration d'azote dans les eaux de percolation a été évaluée à 55% au cours de l'hiver qui suit la culture intermédiaire (Etude scientifique INRA, 2012). Cependant, les résultats montrent une grande dispersion des taux de réduction. De plus, les données collectées à l'échelle de la parcelle ne sont pas généralisables à l'échelle de la France (Etude INRA 2012) car très dépendantes de la nature et de la profondeur des sols.

Les études dans lesquelles l'impact des cultures intermédiaires sur les émissions de N_2O a été quantifié sont peu nombreuses et très récentes (Roussel et al., 2011). A l'exception des travaux conduits par Loubet et al. (2011) et Roussel et al. (2011), la durée sur laquelle ces mesures sont faites est très courte. Elle représente une faible fraction de la période potentielle d'émission : typiquement 1/200 à 1/1000 de la durée de vie de la culture intermédiaire. De plus, la variabilité spatiale et temporelle des émissions est une limite forte à la précision des mesures, et certains résultats sont contradictoires. Parkin et Kaspar (2006) n'ont observé aucun effet de l'implantation de cultures intermédiaires (les émissions de N_2O ne sont pas différentes avec ou sans cultures intermédiaires). Zanatta et al. (2010) ont observé une hausse des émissions de N_2O en présence de cultures intermédiaires, alors que Novoa et al. (2006) constatent une réduction des émissions de N_2O en présence de cultures intermédiaires. Néanmoins, la synthèse bibliographique conduite à partir de 13 études dans le cadre de l'Etude INRA 2012, montre que les cultures intermédiaires ont un effet très modeste : leur introduction entraîne en moyenne un supplément d'émission de 0,11 kgN/ha/an dans l'année qui suit la culture intermédiaire. L'incorporation des résidus serait à l'origine de cette faible augmentation. Toutefois, ces résultats montrent une très grande variabilité entre sites expérimentaux (écart-type = 1,12 kgN/ha/an) et ne concernent que les cultures intermédiaires non légumineuses. En conséquence, les émissions de N_2O seront négligées dans cette étude.

• Les émissions liées aux pratiques culturales

Les pratiques actuelles de conduite des intercultures en France ont été étudiées à partir des informations recueillies lors de l'enquête "Pratiques culturales en grandes cultures" conduite en 2006 par le Service de la Statistique et de la Prospective du ministère chargé de l'Agriculture, qui sont synthétisées en Annexe 1.

La fertilisation azotée

• Options techniques 1 et 2
Prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses (en culture associée) comme cultures intermédiaires (option technique 1) et implanter des cultures intermédiaires de façon systématique avant les cultures de printemps (option technique 2) conduiront à diminuer la fertilisation azotée de la culture suivante. Ces réductions seront variables selon la famille botanique implantée (Constantin et al., 2010 ; Cohan et al., 2011a ; Cohan et al., 2011b ; Constantin et al., 2011 ; Cohan et al., 2013). Les valeurs retenues sont les suivantes. Pour une production moyenne de 2 MgMS/ha, la réduction de la fertilisation est :

- de 5 kgN/ha après une culture intermédiaire de graminée ou de phacélie,
- de 10 kgN/ha après une culture intermédiaire de crucifère,
- de 20 kgN/ha après une culture intermédiaire composée de légumineuses.

Ces réductions seront appliquées à la fois sur les zones vulnérables et non vulnérables.

Les espèces retenues comme cultures intermédiaires devront respecter des critères agronomiques (i.e. seuls 15% des surfaces assignées aux cultures intermédiaires seront des mélanges à base de légumineuses).

Cette répartition concernera l'ensemble de la SAU :

- dans les surfaces déclarées en zones vulnérables, une modification de l'espèce de culture intermédiaire implantée sera proposée (option technique 1),
- pour les surfaces déclarées en zones non vulnérables, un assolement priorisant l'implantation de mélanges à base de légumineuses sera envisagé (actuellement seuls 7,8% des surfaces sont couverts par une culture intermédiaire).

• Option technique 3 : favoriser les repousses des cultures précédentes

La présence de repousses ne conduira pas à une réduction de la fertilisation azotée de la culture suivante car leur croissance est très aléatoire.

Les pratiques culturales (autres que la fertilisation azotée)

La présence de cultures intermédiaires induira systématiquement une augmentation de l'utilisation du parc de matériel (ces données s'appuient sur les résultats de l'enquête "Pratiques culturales" 2006). Les effets liés à l'adoption des options techniques 2 (implanter une culture intermédiaire avant une culture de printemps, et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante) et 3 (favoriser les repousses des cultures précédentes) sont détaillés dans l'Annexe 1.

Aucune modification des pratiques culturales n'est envisagée lors de l'adoption de l'option technique 1 (prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses comme culture intermédiaire, et réduire la fertilisation azotée de la culture de printemps suivante).

3.2. Sous-action "cultures intercalaires"

Les effets de l'implantation de cultures intercalaires sur les émissions de GES dans les vergers et les vignes sont peu renseignés dans la littérature.

Vergers

Le mécanisme pris en compte dans cette étude concerne le stockage de carbone dans les sols. Le flux de stockage a été évalué à 0,49 MgC/ha/an ±0,26 MgC/ha/an (Expertise INRA 2002). Compte tenu des faibles surfaces concernées par les évolutions des pratiques (92% des surfaces des vergers sont enherbées en 2010), la modification des itinéraires techniques, peu renseignés à l'échelle France dans la littérature, n'a pas été prise en compte dans le calcul de l'atténuation.

Vignes

Les études portent sur différentes pratiques agricoles (incluant la comparaison entre vignes enherbées et vignes sans enherbement) et ne permettent pas de quantifier les effets spécifiques de l'enherbement sur les émissions de GES dans les conditions françaises.

Les effets attendus concernent :
- la réduction des émissions de CO_2 *via* le stockage de carbone dans les sols,
- l'atténuation des émissions de N_2O *via* la réduction de la disponibilité des formes minérales azotées dans les sols, à partir desquelles le N_2O est produit,
- l'impact des modifications des pratiques agricoles : augmentation de la fertilisation azotée, évolution des pratiques culturales liées au semis et à l'entretien du couvert herbacé.

• Le stockage de carbone dans les sols

Le "captage" de CO_2 s'appuie sur le principe de stockage de carbone dans les sols suite à l'enherbement des rangs et des inter-rangs des vergers et des vignes. Selon l'Expertise INRA 2002, l'enherbement permanent des vergers et des vignes participerait à l'augmentation du stockage de carbone dans les sols. Le flux de stockage a été évalué à 0,49 MgC/ha/an (±0,26 MgC/ha/an dans un scénario sur 20 ans) à partir des cultures intercalaires, et ce à l'échelle nationale. Ces valeurs proposées en 2002 se situent dans la gamme des valeurs trouvées dans la littérature pour le stockage de carbone suite à l'enherbement d'un sol cultivé (Freibauer et al., 2004 ; VandenBygaart et al., 2008 ; Eagle et al., 2012) et seront retenues dans notre étude. Par manque de précisions sur les données fournies, nous avons fait l'hypothèse que cette valeur correspondait à un enherbement analogue à la mise en prairie d'une surface considérée (soit un enherbement sur tous les rangs et les inter-rangs : option technique 1).

Pour les couverts temporaires hivernaux (option technique 3), les références sont issues de l'Etude INRA 2012. Pour les régions tempérées, deux valeurs de flux ont été retenues pour estimer le stockage de carbone dans les sols à partir de cultures intermédiaires. Pour simplifier les calculs, nous n'avons retenu qu'une valeur de flux correspondant à la moyenne des valeurs, rapportée à la surface enherbée de la vigne sur tous les inter-rangs (i.e. la surface des inter-rangs a été évaluée à environ 2/3 de la surface totale de la vigne). Le résultat obtenu est cohérent avec les valeurs des flux des différentes options techniques de la sous-action "cultures intercalaires".

Selon les différentes options techniques, le stockage de carbone a été quantifié comme suit :
- option technique 1 : couverts permanents sur tous les rangs et les inter-rangs (soit 100% de la surface enherbée). Le flux de stockage s'élève à 0,49 MgC/ha/an sur 20 ans (soit 1,798 $MgCO_2e$/ha/an ±0,954 $MgCO_2e$/ha/an) ; Expertise INRA 2002 ;

- option technique 2 : couverts permanents sur tous les inter-rangs. Nous avons considéré que l'enherbement permanent sur tous les inter-rangs correspondait à 2/3 de la surface totale de la vigne. Le flux est estimé à 0,33 MgC/ha/an sur 20 ans (soit 1,187 $MgCO_2e$/ha/an ±0,630 $MgCO_2e$/ha/an) ; Expertise INRA 2002 ;
- option technique 3 : couverts hivernaux temporaires. Le flux est estimé à 0,159 MgC/ha/an sur 20 ans (soit 0,584 $MgCO_2e$/ha/an) ; Etude INRA 2012.

Pour les couverts permanents sur un inter-rang sur deux, situations actuelles rencontrées dans certains vignobles, nous avons considéré que l'enherbement correspondait à 1/3 de la surface totale de la vigne. Le flux de stockage est estimé à 0,16 MgC/ha/an (soit 0,594 $MgCO_2e$/ha/an)**.**

Nous considérerons que les parties aériennes récoltées (rameaux taillés annuellement) ne sont pas des formes de stockage durable de carbone.

• Les émissions de protoxyde d'azote

L'analyse des émissions de N_2O à partir de cultures intercalaires a fait l'objet d'études scientifiques. Sa quantification s'appuie sur les résultats des travaux de Steenwerth et Bellina (2008) conduits sur vignobles, en Californie, au cours de la campagne 2005-06. Ces auteurs mettent en évidence une faible augmentation des émissions suite à l'enherbement comparativement à un sol nu travaillé (désherbage mécanique). Les émissions sont égales à 0,76kgN/ha/an et 0,58 kgN/ha/an respectivement pour ces deux pratiques culturales. Par ailleurs, ces mêmes auteurs montrent que le désherbage mécanique du sol provoque des émissions plus faibles de N_2O par rapport à un sol traité avec des herbicides (2010). En France, le désherbage est principalement chimique (enquête "Pratiques culturales" 2006). Selon Garland et al. (2011), les émissions de N_2O, à partir de vignobles de Californie ne sont pas différentes avec et sans travail du sol (pratiques se rapprochant de situations non enherbées *versus* enherbées). Au final, l'enherbement des vignes pourrait conduire soit à des flux équivalents soit à des flux plus faibles que les pratiques viticoles actuelles.

Compte tenu du peu de données disponibles sur le sujet, de la variabilité des résultats entre expérimentations, et de la non-représentativité des conditions pédoclimatiques françaises dans ces études (les émissions de N_2O sont très dépendantes de la nature des sols et du taux d'humidité), l'effet de l'enherbement des vergers et des vignes sur la réduction des émissions de protoxyde d'azote ne sera pas pris en compte dans cette étude.

• Les émissions liées aux pratiques culturales

Puisque 92% de la surface des vergers sont déjà enherbés, les modifications des pratiques culturales prises en compte ne concerneront que les vignes. Les pratiques actuelles ont été décrites à partir d'informations diverses, et les choix retenus pour chacune des options techniques sont détaillés en Annexe 2.

Les évolutions des pratiques seront différentes selon la situation initiale et l'option technique retenue.

La fertilisation azotée

Adopter l'option technique 2 (enherbement permanent sur tous les inter-rangs), à partir d'une situation d'enherbement temporaire ou sans enherbement, conduira à une fertilisation azotée supplémentaire de 30 kgN/ha/an au printemps pour pallier les problèmes de concurrence entre vignes et couvert herbacé et maintenir les potentiels de production.

Adopter l'option technique 3 (enherbement hivernal temporaire) ne conduira à aucun apport supplémentaire, car la période d'épandage en automne n'est pas compatible avec des pratiques respectueuses de l'environnement (i.e. lixiviation du nitrate accentuée).

Evolution des pratiques culturales (autres que la fertilisation azotée) se trouvent en Annexe 2.

Nous avons fait l'hypothèse que les modifications engendrées par le passage de l'enherbement un inter-rang sur deux à tous les inter-rangs ne conduisaient pas à des évolutions importantes des pratiques culturales compte tenu des caractéristiques des matériels agricoles utilisés. Elles seront négligées dans les calculs.

3.3. Sous-action "bandes enherbées"

La littérature concernant les bandes enherbées n'est pas très abondante et les références utilisées concernent le stockage de carbone dans les sols cultivés et les cultures intermédiaires (Expertise INRA 2002).

• Le stockage de carbone dans les sols

Le "captage" de CO_2 s'appuie sur le principe de stockage de carbone dans les sols suite à l'enherbement de surfaces de parcelles agricoles. La réduction des émissions directes de CO_2 résulte de l'augmentation du stockage de carbone dans les sols agricoles, *via* la décomposition et l'humification des résidus issus de l'entretien des bandes enherbées (une tonte annuelle) et des rhizodéposats. L'Expertise INRA 2002 recense les données bibliographiques sur la quantification du stockage de carbone dans les sols dans différentes conditions, sans spécifier les valeurs prises dans les situations de bandes enherbées. L'Etude INRA 2012 mentionne un effet non négligeable des repousses sur le stockage de carbone sans le quantifier. Les données bibliographiques sont listées dans le Tableau 1.

En absence de références spécifiques pour les bandes enherbées, nous retiendrons dans nos calculs la valeur correspondant à la conversion d'une culture en une prairie permanente issue de l'Expertise INRA 2002, soit un flux net annuel de 0,49 ±0,26 MgC/ha/an (1,798 ± 0,954 $MgCO_2e$/ha/an).

• Les émissions de protoxyde d'azote

Les effets des bandes enherbées sur les émissions de N_2O n'ont pas à notre connaissance été quantifiés. Plusieurs processus peuvent intervenir :

- l'absorption du nitrate par les bandes enherbées tend à réduire leur disponibilité et par conséquence à diminuer les émissions de N_2O,
- les bandes enherbées près des cours d'eau sont généralement implantées sur des zones hydromorphes dont le potentiel d'émission de N_2O est plus élevé.

Face à ces effets antagonistes non quantifiés dans la littérature, les émissions, ou la réduction des émissions, de N_2O ne seront pas comptabilisées dans nos calculs.

• Les émissions liées aux pratiques culturales

Les bandes enherbées peuvent en théorie être détruites et réimplantées chaque année. Toutefois, un couvert pluriannuel est plus efficace, moins coûteux et moins contraignant, et la liste des espèces est préconisées (arrêté du 12 janvier 2005, JO, 19 janvier 2005). Les pratiques culturales retenues consistent en un travail du sol superficiel/profond, un semis de la bande enherbée, et l'entretien de la bande enherbée. Moyennées sur l'année, les consommations de gazole s'élèvent à 8,2 l de gazole/ha/an.
Du point de vue réglementaire, les bandes enherbées ne reçoivent aucun fertilisant organique ou minéral et ne subissent aucun traitement phytosanitaire, sauf dérogation accordée par la préfecture pour un traitement manuel localisé suite à l'expansion inquiétante d'une espèce (plantes envahissantes, insectes ravageurs…).
Quelle que soit la situation initiale (grande culture ou prairie), les interventions culturales conduites sur les bandes enherbées sont moins nombreuses.
Devant la difficulté de calculer la consommation de pesticides et les émissions de CO_2 liées à la consommation de gazole dans les situations initiales (moyennes des pratiques conduites sur grandes cultures et sur prairies), la diminution de l'utilisation de pesticides et la réduction des émissions CO_2 liées à l'implantation de bandes enherbées ne sera pas quantifiée dans cette étude. Seule la réduction de la fertilisation azotée sera prise en compte.

3.4. Remarques communes aux trois sous-actions

• Quantification du stockage de carbone au cours du temps

Le stockage de carbone dans les sols est limité dans le temps. Nous ferons les hypothèses suivantes :

- le taux annuel de stockage de carbone dans les sols sera constant au cours de la période étudiée (2010-2030),
- au-delà de 20 ans, période considérée dans cette étude, le maximum de stockage sera atteint et la part du stockage dans l'atténuation des émissions de GES sera nulle.

Le stock maximum atteint correspond au stock en place plus le stockage additionnel annuel multiplié par le nombre d'années de l'étude.

<u>Pour les cultures intermédiaires</u>, la valeur maximale correspondra au stock en place plus 2,62 MgC/ha pour l'estimation basse et 6,90 MgC/ha pour l'estimation haute.

<u>Pour les cultures intercalaires</u>, la valeur maximale sera variable selon les options techniques retenues. Elle sera égale :
- pour l'option technique 1 : au stock en place plus 9,80 MgC/ha,
- pour l'option technique 2 : au stock en place plus 6,60 MgC/ha,
- pour l'option technique 3 : au stock en place plus 3,18 MgC/ha.

<u>Pour les bandes enherbées</u>, la valeur maximale correspondra au stock en place plus 9,80 MgC/ha.

• Quantification des émissions directes liées aux évolutions des pratiques agricoles

• Emissions directes de protoxyde d'azote liées à la fertilisation azotée minérale (type ammonitrate).
Deux estimations seront conduites : selon le mode de calcul utilisé par le CITEPA pour l'inventaire 2010 (suivant les recommandations IPCC 1996), et selon un mode de calcul défini par les experts de l'étude (calcul "expert"), suivant les recommandations IPCC 2006 (Tableau 2).

Tableau 2. Récapitulatif des valeurs des facteurs d'émissions directes et indirectes liées à la fertilisation azotée minérale selon le mode de calcul de l'inventaire CITEPA 2010 et selon la méthode de calcul "expert"

		Calcul "CITEPA" (recommandations IPCC 1996)	Calcul "expert" (recommandations IPCC 2006)
Emissions directes de N-N_2O (kg/kg fertilisant minéral)		0,0113	0,009
Emissions indirectes en aval ($kgCO_2e$/kg fertilisant minéral)	Lixiviation du nitrate Dépôt d'ammonium	0,075 0,001	0,021 0,001
facteur de conversion N → N_2O		44/28	44/28
facteur de conversion N_2O → CO_2		310	298
Emissions directes de N-N_2O ($kgCO_2e$/kg fertilisant minéral)		5,48	4,21
Emissions indirectes en aval ($kgCO_2e$/kg fertilisant minéral)	Lixiviation du nitrate Volatilisation d'ammonium Total	3,65 0,49 4,14	1,05 0,47 1,52

• Emissions directes de CO_2 liées à la consommation de gazole suite aux évolutions des pratiques agricoles.
Selon les références ADEME 2010, Dia'terre® V1.33, Base Carbone®, la valeur du facteur d'émission directe est 2,69 $kgCO_2e$/litre de gazole.

• Quantification des émissions indirectes en aval

Les émissions indirectes en aval (issues du nitrate et de l'ammonium) liées à la fertilisation azotée minérale seront évaluées selon le mode de calcul de l'inventaire CITEPA 2010 et le mode de calcul dit "expert" (Tableau 2).

• Quantification des émissions induites en amont

• La production des fertilisants azotés : les émissions s'élèvent pour le produit ammonitrate à 5,03 $kgCO_2e$/kg d'azote (références ADEME 2010, DiaTerre V.1.33, Ges'tim).

• La production de gazole : la valeur du facteur d'émission est 0,563 $kgCO_2e$/litre de gazole (références ADEME 2010, Dia'terre® V.1.33, Base Carbone®).

• La production de désherbants : le facteur d'émission est égal à 8,985 $kgCO_2e$/kg de matière active (références ADEME 2010, Dia'terre® V.1.33, Ges'tim).

• La production des semences : les émissions liées à cette production sont négligées dans cette étude car les quantités de semences utilisées à partir de nos propositions techniques pourraient être surestimées : (i) pour les cultures intermédiaires, les semences de ferme peuvent être utilisées en partie, (ii) pour les cultures intercalaires et les bandes enherbées, une partie des surfaces peut faire l'objet d'un enherbement spontané.

4. Degré et mode de prise en compte des principaux postes d'émissions concernés par l'action dans le cadre de l'inventaire national 2010 et perspectives d'évolution

Dans l'inventaire national 2010 (CITEPA, 2012), les émissions des sols agricoles sont calculées dans la sous-catégorie "Sols agricoles" (4D) de la catégorie "Agriculture" (CRF4).

Le mode de calcul de l'inventaire 2010 ne rend pas compte des atténuations des émissions liées au stockage de carbone dans les sols à partir des cultures intermédiaires, des vergers et vignes, et des bandes enherbées. La prise en compte du travail du sol sur les stocks de carbone dans les sols existe déjà. Toutefois, la France a fait le choix de ne pas les comptabiliser (cf. Action 3 "Non-labour").

Les effets liés aux pratiques culturales (fertilisation azotée et autres interventions culturales) non spécifiques aux actions étudiées sont pris en considération.

5. Calcul du potentiel d'atténuation et du coût de chaque sous-action

Pour chacune des sous-actions, plusieurs calculs ont été réalisés. Le premier résulte du mode de calcul selon la méthode de l'inventaire CITEPA pour 2010 ; le second, dénommé calcul "expert", utilise des références plus récentes. Pour ce dernier, la prise en compte du stockage de carbone dans les sols sera quantifiée à partir de deux références correspondant à une valeur basse et une valeur haute de stockage.

Le stockage de carbone et la réduction des émissions de N_2O ou de CO_2 (liée à la diminution de la fertilisation azotée ou au moindre recours des pratiques agricoles) sont comptabilisés négativement. Les émissions supplémentaires relatives aux augmentations de la fertilisation azotée, de la consommation de gazole, ou de désherbants sont comptabilisées positivement. Une atténuation de GES correspondra à une valeur négative, une émission à une valeur positive.

5.1. Potentiel d'atténuation et du coût de la sous-action "cultures intermédiaires"

5.1.a. Potentiel d'atténuation unitaire

- Inventaire des effets sur les émissions

La sous-action "cultures intermédiaires" a des conséquences (Tableau 3) sur :
- les émissions directes sur l'exploitation agricole,
- les émissions indirectes en aval de l'exploitation agricole,
- les émissions induites en amont de l'exploitation agricole.

Tableau 3. Inventaire qualitatif des émissions directes, indirectes et induites pour les différentes options techniques de la sous-action "cultures intermédiaires". Option technique 1 : prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses comme cultures intermédiaires et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante. Option technique 2 : implanter des cultures intermédiaires longues avant le semis de culture de printemps. Option technique 3 : favoriser les repousses du précédent cultural.

	Option technique 1	Option technique 2	Option technique 3
Emissions directes			
- augmentation du stockage de C dans les sols	-	X	-
- réduction des émissions de N_2O liée à la diminution de la fertilisation azotée minérale des cultures suivantes	X	X	-
- augmentation des émissions de CO_2 émis par le gazole consommé lors des travaux agricoles supplémentaires	-	X	X
- augmentation des émissions de N_2O liée à la conduite de la culture intermédiaire (non quantifiée)	-	-	-
Emissions indirectes en aval			
- réduction de la lixiviation du nitrate et du dépôt d'ammoniac suite à la diminution de la fertilisation azotée minérale des cultures suivantes	X	X	-
- réduction de la lixiviation du nitrate et du dépôt d'ammoniac à partir des sols couverts par les cultures intermédiaires (non quantifiée)	-	-	-
Emissions induites en amont			
- réduction des émissions liées à la production de fertilisants azotés minéraux	X	X	-
- augmentation des émissions liées à la production de désherbants chimiques	-	X	X
- augmentation des émissions liées à la production de gazole requis suite à l'adoption des nouvelles pratiques	-	X	X
- augmentation des émissions liées à la production des semences (négligée)	-	-	-

Option technique concernée par les émissions : X
Option technique non concernée par les émissions -

• Quantification de l'atténuation

Les calculs sont détaillés en Annexe 5.

Emissions directes

• L'augmentation du stockage de carbone dans les sols est calculée à partir de deux références :
- la valeur basse : 0,480 $MgCO_2e$/ha/an (Etude INRA 2012),
- la valeur haute : 1,265 $MgCO_2e$/ha/an (Etude INRA 2012).

• La réduction des émissions de N_2O, liée à la diminution de la fertilisation azotée des cultures de printemps suivant l'implantation de CI, sera variable selon la nature des cultures intermédiaires. Les diminutions de 5, 10 et 20 kgN/ha/an correspondent respectivement à :
- selon le calcul "CITEPA" : 27, 55 et 110 $kgCO_2e$/ha/an,
- selon le calcul "expert" : 21, 42 et 84 $kgCO_2e$/ha/an.

• L'augmentation des émissions de CO_2, liée aux travaux agricoles supplémentaires, est variable selon la combinaison d'interventions culturales pratiquées.

Emissions indirectes en aval

Même si l'un des objectifs visés est de limiter les flux de nitrate vers les aquifères, l'atténuation des émissions de N_2O associée à la moindre disponibilité du nitrate des sols n'a pas été prise en compte dans nos calculs car trop peu renseignée sur le territoire français. Dans ces conditions, l'impact de l'implantation des cultures intermédiaires sur l'atténuation des émissions est sous-estimé.

Les réductions des émissions indirectes associées à la diminution de la fertilisation azotée de 5, 10 et 20 kgN/ha/an seront respectivement :
- selon le calcul "CITEPA" : 21, 41 et 83 $kgCO_2e$/ha/an,
- selon le calcul "expert" : 8, 15 et 30 $kgCO_2e$/ha/an.

Emissions induites en amont

• Les réductions des émissions associées à la diminution de la fertilisation azotée de 5, 10 et 20 kgN/ha/an seront respectivement de 27, 53 et 106 $kgCO_2e$/ha/an.

• Les émissions liées à la consommation de gazole (pratiques culturales supplémentaires) seront variables selon le programme technique retenu.

• Les émissions liées à la production de désherbants s'élèveront à 16 $kgCO_2e$/ha/an (les programmes de désherbage retenus sont détaillés en Annexes 1 et 2).

• Conclusion : potentiel d'atténuation unitaire de la sous-action

Le détail des calculs se trouve en Annexe 5.

L'option technique 1 (prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses comme cultures intermédiaires et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante) pourra être appliquée sur l'ensemble des surfaces agricoles sur lesquelles des cultures intermédiaires sont implantées (zones vulnérables et 7,8% des zones non vulnérables, cf. Etude INRA 2012). Le potentiel d'atténuation unitaire sera uniquement lié à la réduction de la fertilisation azotée des cultures de printemps suivantes. En effet, les cultures intermédiaires étant déjà implantées sur ces surfaces, aucune pratique culturale ni de stockage de carbone supplémentaire ne sont à comptabiliser. Les valeurs se trouvent dans le Tableau 4.

Tableau 4. Inventaire quantitatif des émissions unitaires directes, indirectes et induites ($MgCO_2e$/ha/an) pour l'option technique 1, selon les deux modes de calcul

	Calcul "CITEPA" ($MgCO_2e$/ha/an)	Calcul "expert" ($MgCO_2e$/ha/an)
Emissions unitaires directes	-0,058	-0,045
Emissions unitaires indirectes	-0,044	-0,016
Sous total : émissions unitaires directes et indirectes	**-0,102** (atténuation)	**-0,061** (atténuation)
Emissions unitaires induites	-0,056	-0,056
TOTAL	**-0,159** (atténuation)	**-0,118** (atténuation)

L'option technique 2 (implanter des cultures intermédiaires longues avant le semis de culture de printemps) concernera les zones non vulnérables. Le potentiel d'atténuation unitaire sera variable selon l'espèce de culture intermédiaire implantée (cf. Tableau 3), et selon les pratiques culturales retenues. Les valeurs unitaires des atténuations sont synthétisées dans le Tableau 5.

Tableau 5. Inventaire quantitatif des émissions unitaires directes, indirectes et induites ($MgCO_2e$/ha/an) pour l'option technique 2, selon les deux modes de calcul

	Calcul "CITEPA" ($MgCO_2e$/ha/an)	Calcul "expert" ($MgCO_2e$/ha/an)	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions unitaires directes	0,004	-0,463	-1,248
Emissions unitaires indirectes	-0,044	-0,016	-0,016
Sous total : émissions unitaires directes et indirectes	**-0,041** (atténuation)	**-0,479** (atténuation)	**-1,264** (atténuation)
Emissions unitaires induites	-0,040	-0,040	-0,040
TOTAL	**-0,081** (atténuation)	**-0,520** (atténuation)	**-1,305** (atténuation)

L'option technique 3 (favoriser les repousses du précédent cultural) concernera les zones non vulnérables. Le potentiel d'atténuation unitaire sera variable selon les modifications des pratiques culturales. Du fait du caractère aléatoire de la croissance des repousses, les émissions directes ne prendront en compte ni le stockage de carbone dans les sols, ni la fertilisation azotée des cultures de printemps ; elles seront de fait sous-estimées. Pour cette option, seul le calcul selon la méthode de l'inventaire CITEPA 2010 a été réalisé (Tableau 6).

Tableau 6. Inventaire quantitatif des émissions unitaires directes, indirectes et induites ($MgCO_2e$/ha/an) pour l'option technique 3 selon la méthode de calcul "CITEPA"

	Calcul "CITEPA" ($MgCO_2e$/ha/an)
Emissions unitaires directes	0,045
Emissions unitaires indirectes	0,000
Sous total : émissions unitaires directes et indirectes	**0,045** (émission)
Emissions unitaires induites	0,013
TOTAL	**0,058** (émission)

5.1.b. Ligne de base et conditions de développement de l'action

• Situation actuelle : contexte politique et règlementaire

Diverses circulaires réglementent l'implantation de cultures intermédiaires dans les zones vulnérables. La directive n°91/676 du 12 décembre 1991 relative à la lutte contre le nitrate d'origine agricole, dite Directive "Nitrate", a imposé aux Etats membres d'identifier sur leur territoire des "zones vulnérables" selon les critères posés par la directive (concentration en nitrate des eaux supérieure à 50 mg/l), ou menacées par la pollution (teneurs en nitrate en augmentation et comprises entre 40 et 50 mg/l ou avec une tendance à l'eutrophisation) et d'y mettre en œuvre un programme d'action visant à réduire la pollution des eaux. Les programmes d'actions sont quadriennaux : le 4e est en cours. Environ 75% de la surface agricole en grandes cultures est située en zone vulnérable "Nitrate". Dans les zones vulnérables où l'enjeu majeur est la limitation des fuites d'ions nitrate vers les eaux, le 4e programme d'action "Nitrate" a visé une généralisation de la couverture automnale des sols pour 2012.

Les règlements visent donc à mettre en œuvre des mesures de couverture des sols pendant la période de risque de lixiviation dans l'ensemble des zones vulnérables. Toutefois, il existe des dérogations pour les situations de sol à fort taux d'argile, lors de récolte tardive de la culture principale (ne permettant pas l'installation d'une culture intermédiaire), quand il peut y avoir substitution de la culture intermédiaire par des repousses de céréales, dans des situations où la réalisation de faux semis est nécessaire (notamment en Agriculture biologique). Ne disposant pas d'informations précises pour quantifier ces surfaces, nous considérerons que l'ensemble des surfaces agricoles des zones dites vulnérables font déjà l'objet d'implantation de cultures intermédiaires ou de repousses en 2010 avant les cultures semées au printemps.

Le 5e programme d'action doit se substituer au programme en cours à partir du 30 juin 2013. En l'état, le décret laisse entendre qu'il puisse ne pas y avoir de couverture des sols avant les cultures de printemps en zones non vulnérables (i.e. aucune obligation de semer des cultures intermédiaires avant l'implantation de cultures de printemps).

• Conditions nécessaires à la mise en place de l'action

La mise en application de ces options techniques ne repose pas sur un savoir-faire particulier, une fois les conditions pédoclimatiques locales maîtrisées : gestion des conditions hydriques pour optimiser la levée des cultures intermédiaires ; caractéristiques des sols à prendre en considération pour préparer le semis de la culture de printemps suivante. De plus, ces pratiques couramment usitées ne nécessitent pas de matériel agricole spécifique (semoir, épandeur, rouleau, broyeur et charrue sont déjà présents sur le site d'exploitation).

L'assiette maximale technique prendra en compte :

- les surfaces géographiques décrites comme zones vulnérables et non vulnérables déjà couvertes en partie par des cultures intermédiaires et des repousses,
- les caractéristiques granulométriques physiques des sols pouvant limiter l'implantation de cultures intermédiaires (la quantification des surfaces où l'implantation est difficile est détaillée en Annexe 4).

• Assiette maximale technique (AMT)

A partir des zones vulnérables, nous proposons **:**

- De considérer que l'ensemble des surfaces situées en zones vulnérables est couvert en automne (i.e. on ne prend pas en compte les surfaces bénéficiant de dérogations, difficilement chiffrables en raison de causes multiples ; Etude INRA 2012).
- De modifier la répartition des espèces de cultures intermédiaires implantées (option technique 1 **:** favoriser l'implantation de cultures intermédiaires composées de légumineuses, en limitant à 15% les surfaces par an pour limiter les risques de développement de maladies), pour maximiser la réduction des apports de fertilisants azotés sur la culture de printemps suivante.
- De considérer que la croissance des cultures intermédiaires est effective.
- De prendre en compte la réduction de la fertilisation azotée de la culture de printemps suivant l'implantation d'une culture intermédiaire. Toutes les surfaces de cultures intermédiaires potentielles seront prises en compte, car les agriculteurs ne modulent pas ou peu leurs pratiques de fertilisation après des repousses ou des cultures intermédiaires (cf. Action 1, Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse).
- De ne pas prendre en compte les effets des repousses, car leur croissance très aléatoire ne permet pas d'envisager une réduction systématique de fertilisation azotée sur la culture de printemps suivante.
- De ne pas considérer d'émissions et de coûts financiers supplémentaires liés à la gestion de ces cultures intermédiaires (coûts des semences et des produits de désherbants ; consommation de gazole par le matériel agricole) puisque les cultures intermédiaires sont du point de vue règlementaire déjà obligatoires en zones vulnérables**.**

<u>Détails des calculs</u>

• Les surfaces implantées en espèces de printemps sont quantifiées à partir des données SAA, 2010.

• Les zones vulnérables sont quantifiées avec les données 2007 (Source : Direction de l'Eau - Mission SIEau, décembre 2007).

• Les surfaces dont la teneur en argile est supérieure à 60% sont définies selon le *Corine Land Cover* (2006).

• 80% de ces surfaces correspondent au potentiel d'implantation des cultures intermédiaires longues, 20% des surfaces correspondent à des repousses.

• Sur ces surfaces :
- assigner 15% aux cultures intermédiaires composées de légumineuses,
- sur les 85% restant, implanter des crucifères, des graminées (de type avoine) et de la phacélie, selon les proportions définies dans l'enquête "Pratiques culturales" 2006 (crucifères, 80% ; avoine, 13% ; phacélie, 7%), soit 68% de crucifères, 11% de graminées et 6% de phacélie.

• La diminution de la fertilisation azotée est calculée en supposant que la production de biomasse aérienne de cultures intermédiaires est en moyenne de 2 MgMS/ha (gamme de production potentielle visée à l'échelle France), et sera variable selon l'espèce de culture intermédiaire implantée, soit moins 20 kgN/ha, moins 10 kgN/ha et moins 5 kgN/ha après une culture intermédiaire composée de légumineuses, de crucifère de type moutarde, et de graminées ou de phacélie respectivement.

Ces calculs sont conduits à l'échelle départementale, puis sommés pour définir l'assiette maximale technique à l'échelle nationale (cf. Annexe 4).

Pour l'option technique 1 (prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses comme cultures intermédiaires et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante), l'assiette maximale technique est de 2 688 864 ha.

A partir des zones non vulnérables, nous proposons :

- De considérer que l'ensemble des surfaces en zones non vulnérables est couvert en automne.
- De soustraire les surfaces dont la teneur en argile est supérieure à 60%.
- De soustraire les surfaces ayant déjà des cultures intermédiaires (7,8% SAU, selon l'enquête "Pratiques culturales", 2006)
- De prendre en considération, dans chaque département et pour chaque culture de printemps, les types de précédent pour quantifier les surfaces de repousses et celles pouvant être potentiellement assignées à des repousses.
- De privilégier le développement des repousses des cultures de colza et de céréales à paille (techniques moins coûteuses en terme économique et en temps de travail) à l'implantation de cultures intermédiaires.
- D'implanter une diversité d'espèces de cultures intermédiaires en favorisant les mélanges composés de légumineuses (cf. zones vulnérables pour les répartitions entre espèces).
- De prendre en compte la réduction de la fertilisation azotée de la culture de printemps suivante uniquement après des cultures intermédiaires (cf. zones vulnérables).

- De prendre en compte les modifications des pratiques culturales (utilisation de matériel agricole, consommation de gazole, emploi de semences et d'herbicides) sur les surfaces où les pratiques ont évolué : sols nus vers repousses et sols nus vers cultures intermédiaires.
- De ne pas prendre en compte d'évolution des pratiques culturales sur les surfaces de repousses et cultures intermédiaires déjà existantes.

Détails des calculs

• Les surfaces implantées en espèces de printemps sont quantifiées à partir des données SAA, 2010.

• Certaines espèces de printemps représentant des surfaces faibles, comme le lupin, les lentilles, le chanvre, le seigle, le sarrasin, n'ont pas été prises en compte dans cette étape du calcul. Elles représentent en moyenne 6,3% des surfaces de cultures de printemps par département, soit 75 018 ha à l'échelle de la France. Ces surfaces seront assignées à des cultures intermédiaires **(A)**, et réintégrées en fin de calcul pour évaluer la réduction des apports de fertilisants azotés et l'augmentation des effets liés aux pratiques agricoles.

• Les zones non vulnérables sont quantifiées avec les données 2007 (Source : Direction de l'Eau - Mission SIEau, décembre 2007).

• Les surfaces dont la teneur en argile est supérieure à 60% sont soustraites pour définir la surface potentielle pouvant être assignée aux cultures intermédiaires et repousses.

• Nous avons soustrait 7,8% des surfaces déjà cultivées avec des cultures intermédiaires (enquêtes "Pratiques culturales", 2006), sur lesquelles nous avons proposé un choix d'espèces spécifiques (cf. zones vulnérables).

• Sur les surfaces restantes, pour chaque espèce de printemps, le développement des repousses a été privilégié à l'implantation des cultures intermédiaires, et selon un ratio spécifique.

Les surfaces de repousses existantes seront estimées en prenant en compte les assolements départementaux décrits dans l'enquête "Pratiques culturales" 2006. Par exemple dans l'Aisne, le maïs fourrage correspond à 17% des surfaces de culture de printemps (soit 8 057 ha). Le maïs a pour précédent des céréales à paille sur 49% de cette surface (soit 3 935 ha), aucun colza, aucun protéagineux. Selon les résultats de l'enquête 2006, 40% des surfaces de céréales à paille précédant une espèce de printemps produisent des repousses (soit 1 574 ha de repousses existantes). Nous proposerons de favoriser les repousses de céréales à paille sur les 60% restants (soit sur 2 361 ha). Sur les 51% de surfaces ayant un autre précédent que des céréales, du colza et des protéagineux (soit 4 123 ha), nous proposerons des cultures intermédiaires **(B).**

Les surfaces pour lesquelles les résultats des enquêtes n'ont pu être exploités (nombre de réponses d'enquêtes pour une question inférieur à 30) correspondent à l'échelle France à 331 354 ha. Ces surfaces seront assignées à des cultures intermédiaires **(C)**, et réintégrées en fin de calcul pour quantifier la réduction des apports de fertilisants azotés et l'augmentation des effets liés aux pratiques agricoles.

Les surfaces assignées aux cultures intermédiaires **(A et C)** seront implantées avec 15% de cultures intermédiaires composées de légumineuses, 68% de crucifères, 11% de graminées et 6% de phacélie (cf. zones vulnérables).

• Les réductions de fertilisation azotée sont calculées selon la méthode utilisée dans les zones vulnérables.

Ces calculs sont conduits à l'échelle départementale et les résultats sont sommés pour définir l'assiette maximale technique à l'échelle nationale (cf. Annexe 4).

Les assiettes maximales technique sont égales à :

- pour l'option technique 1 (prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses comme cultures intermédiaires et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante), l'assiette maximale technique est de 140 366 ha,
- pour l'option technique 2 (implanter des cultures intermédiaires avant le semis de culture de printemps et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante) : 1 070 430 ha,
- pour l'option technique 3 (favoriser les repousses du précédent cultural) : 352 131 ha.

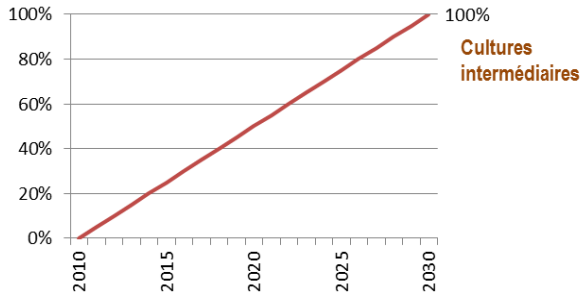
• Scénario de diffusion : surface atteinte en 2030 et cinétique de diffusion

Perspectives de développement

Les zones vulnérables : L'adoption de l'option technique 1 pourrait intervenir très rapidement. Toutefois, compte tenu des pratiques de fertilisation azotée actuelles (cf. Action 1 "Réduire le recours aux engrais minéraux" : les pratiques actuelles conduisent à une fertilisation supérieure aux besoins), nous avons considéré que l'adoption des mesures (i.e. la modification de la répartition des espèces de cultures intermédiaires et la réduction de la fertilisation azotée sur les cultures de printemps suivantes) serait progressive et régulière au cours du temps, pour atteindre l'assiette maximale technique en 2030.

Les zones non vulnérables : Les cultures intermédiaires concernaient 7,8% des surfaces des zones non vulnérables sur lesquelles étaient implantées une espèce de printemps en 2006. Nous proposons une adoption progressive et régulière des options techniques 1, 2 et 3 au cours du temps, pour atteindre l'assiette maximale technique en 2030 (Figure 1).

Figure 1. Cinétique de diffusion de la sous-action "cultures intermédiaires" entre 2010 et 2030, pour les trois options techniques, sous l'hypothèse d'un taux de diffusion régulier (exprimé en pourcentage des surfaces concernées)



5.1.c. Potentiel d 'atténuation à l'échelle du territoire français

• Potentiel d'atténuation de l'année 2030

Nous avons considéré que l'assiette maximale technique (AMT) est atteinte en 2030 pour les trois options techniques. Le potentiel d'atténuation résulte de la somme des émissions directes, indirectes et induites de chacune des trois options techniques. Le potentiel d'atténuation de l'année 2030 permis par l'adoption des trois options est synthétisé dans le Tableau 9 (le détail des calculs se trouve en Annexe 5).

Tableau 7. Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) de l'année 2030 (surface considérée = AMT) calculé selon différents modes de calcul. Cumul des effets de l'adoption des trois options techniques.

	Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) en 2030 (= AMT)		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	317 334	669 583	1 509 871
Emissions directes, indirectes et induites	515 939	868 189	1 708 476

• Potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 en appliquant le scénario de diffusion

Le potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 a été calculé avec un taux de diffusion régulier (cf. Figure 1). Les résultats sont synthétisés dans le Tableau 10.

Tableau 8. Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) cumulé sur la période 2010-2030, calculé avec un taux de diffusion régulier selon différents modes de calcul. Cumul des effets de l'adoption des trois options techniques.

	Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) cumulé sur la période 2010-2030		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	3 299 635	7 237 705	16 320 598
Emissions directes, indirectes et induites	5 576 925	9 384 482	18 476 372

5.1.d. Coûts et bénéfices induits par la sous-action

Le détail des calculs se trouve en Annexe 6.

• Inventaire des modifications induites par la sous-action

Les modifications induites concernent :
- le taux de répartition des différentes espèces implantées comme cultures intermédiaires,
- la réduction de la fertilisation azotée des cultures de printemps implantées après les cultures intermédiaires,
- les pratiques agricoles supplémentaires liées à la gestion des résidus de la culture précédente, au semis et la destruction de la culture intermédiaire.

• Estimations des coûts/bénéfices

L'adoption de :
- l'option technique 1 (prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses comme cultures intermédiaires et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante) conduit à un gain de 10 €/ha/an,

- l'option technique 2 (implanter des cultures intermédiaires et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante) conduit à un coût de 158 €/ha/an,
- l'option technique 3 (favoriser les repousses du précédent cultural) conduit à un coût de 90 €/ha/an.

• Autres coûts (coûts de transaction privés, publics)

• Conclusions : coût unitaire de la sous-action, coût annuel pour l'assiette maximale technique et coût cumulé sur la période 2010-2030

Le coût unitaire de la sous-action s'élève à 41 €/ha/an, toutes options confondues.
Le coût annuel pour l'assiette maximale technique, soit 4 251 791 ha, atteinte en 2030, est de 173 945 422 €.
Le coût cumulé sur la période 2010-2030 est égal à 1 890 951 794 € (pour 44 852 866 ha).

5.1.e. Synthèse : récapitulatif de l'atténuation escomptée du coût de la tonne de CO_2e évité

Le détail des calculs se trouve en Annexe 6. Les coûts unitaires de la tonne de CO_2 évité (coût unitaire d'atténuation) sont synthétisés dans le Tableau 11.

Tableau 9. Coût unitaire d'atténuation du CO_2 (€/MgCO_2e évité) selon les différents modes de calcul

	Coût unitaire d'atténuation du CO_2 (€/MgCO_2e évité)		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	548	260	155
Emissions directes, indirectes et induites	337	200	102

5.2. Potentiel d'atténuation et du coût de la sous-action "Cultures intercalaires"

5.2.a. Potentiel d'atténuation unitaire

• Inventaire des effets sur les émissions

La sous-action "cultures intercalaires" a des conséquences (Tableau 12) sur :
- les émissions directes sur l'exploitation agricole,
- les émissions indirectes en aval de l'exploitation agricole,
- les émissions induites en amont de l'exploitation agricole.

Tableau 10. Inventaire qualitatif des émissions directes, indirectes et induites pour les différentes options techniques de la sous-action "cultures intercalaires". Option technique 1 : enherbement permanent de toute la surface cultivée soit tous les rangs et tous les inter-rangs (vergers). Option technique 2 : enherbement permanent de tous les inter-rangs. Option technique 3 : enherbement hivernal temporaire.

	Option technique 1	**Option technique 2**	**Option technique 3**
Emissions directes			
- augmentation du stockage de C dans les sols	X	X	X
- augmentation des émissions de N_2O liée à l'ajout supplémentaire de fertilisant azoté minéral	-	X	-
- augmentation des émissions de CO_2 émis par le gazole consommé lors des travaux agricoles supplémentaires	-	X (en plus)	X (en moins)
- augmentation des émissions de N_2O liée à la conduite de la culture intercalaire (négligée)	-	-	-
Emissions indirectes en aval			
- augmentation de la lixiviation du nitrate et du dépôt d'ammoniac suite à l'ajout supplémentaire de fertilisant azoté minéral - réduction de la lixiviation du nitrate et du dépôt d'ammoniac à partir des sols	-	X	-

couverts par les cultures intercalaires (non quantifiée)	-	-	-
Emissions induites en amont			
- augmentation des émissions liées à la production et au transport de fertilisants azotés minéraux supplémentaires	-	X	-
- réduction des émissions liées à la production de quantités moindres de désherbants chimiques	-	X	X
- modification des émissions liées à la production de gazole requis suite à l'adoption des nouvelles pratiques	-	X (en plus)	X (en moins)
- augmentation des émissions liées à la production des semences (négligée)	-	-	-

Option technique concernée par les émissions : X
Option technique non concernée par les émissions : -

• Quantification de l'atténuation

Emissions directes :

• Les estimations du stockage de carbone dans les sols sont variables selon les options techniques retenues :
- option technique 1 (enherbement permanent de toute la surface cultivée soit tous les rangs et tous les inter-rangs) : 1,798 ±0,954 $MgCO_2e$/ha/an,
- option technique 2 (enherbement permanent de tous les inter-rangs) : 1,187 ±0,630 $MgCO_2e$/ha/an,
- option technique 3 (enherbement hivernal temporaire) : 0,594 $MgCO_2e$/ha/an.

• L'adoption de l'option technique 2 (enherbement permanent de tous les inter-rangs) conduit à une augmentation de la fertilisation azotée des vignes d'environ 30 kgN/ha/an. Les émissions supplémentaires s'élèvent à :
- selon le calcul "CITEPA" : 164 $kgCO_2e$/ha/an,
- selon le calcul "expert" : 126 $kgCO_2e$/ha/an.

• L'augmentation des émissions de CO_2 liées aux pratiques agricoles supplémentaires sont variables selon la combinaison d'interventions culturales supplémentaires pratiquées suite à l'adoption de l'option technique (cf. Annexe 7). Elles sont synthétisées dans le Tableau 13.

Tableau 11. Evolution des émissions de CO_2 ($kgCO_2e$/ha/an) liées aux modifications des pratiques agricoles

Situation initiale	Sans couvert herbacé		Couvert hivernal temporaire
Option technique retenue	2	3	2
Emissions différentielles ($kgCO_2e$/ha/an) entre la situation initiale et l'option technique retenue	+20	-3	+23

Option technique 2 : Enherbement permanent sur tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Emissions indirectes en aval

L'atténuation des émissions de N_2O associées à la réduction de la disponibilité du nitrate des sols (i.e. les sols sont enherbés) n'a pas été prise en compte dans nos calculs car trop peu renseignée dans la littérature. Elle sera sous-estimée.

L'adoption de l'option technique 2 (enherbement permanent de tous les inter-rangs) conduit à une fertilisation azotée des vignes supplémentaire (30 kgN/ha/an). Les émissions correspondantes s'élèvent à :
- selon le calcul "CITEPA" : 124 $kgCO_2e$/ha/an,
- selon le calcul "expert" : 46 $kgCO_2e$/ha/an.

Emissions induites en amont

• L'augmentation des émissions associées à l'utilisation supplémentaire de 30 kgN/ha/an (option technique 2) s'élève à 159 $kgCO_2e$/ha/an.

• Les émissions liées à la consommation de gazole par les engins agricoles, variables selon les options techniques retenues, et les atténuations liées à la réduction de l'utilisation des désherbants sont détaillées dans l'Annexe 7.

• Conclusion : potentiel d'atténuation unitaire de la sous-action

Le potentiel d'atténuation unitaire est fonction de la situation initiale d'enherbement et de l'option technique retenue.

L'option technique 1 (enherbement permanent de toute la surface cultivée) peut être adoptée sur les vergers non encore enherbés. Seules les évolutions du stock de carbone dans les sols ayant été considérées pour cette option, le potentiel d'atténuation unitaire correspond au stockage de carbone supplémentaire dans les sols (soit 1,798 ±0,954 $MgCO_2e$/ha/an).

Le potentiel d'atténuation unitaire lié à l'adoption de l'option technique 2 (enherbement permanent de tous les inter-rangs) dépendra de l'état d'enherbement initial (cf. Annexe 7). L'inventaire quantitatif unitaire des émissions directes, indirectes et induites ($MgCO_2e$/ha/an) calculées selon différents modes de calcul est détaillé dans le Tableau 14.

Tableau 12. Inventaire quantitatif unitaire des émissions directes, indirectes et induites ($MgCO_2e$/ha/an) suite à l'adoption de l'option technique 2 (enherbement permanent de tous les inter-rangs), selon différents modes de calcul

	Inventaire quantitatif unitaire des émissions ($MgCO_2e$/ha/an)								
	Calcul "CITEPA"			Calcul "expert"					
				Stockage de Carbone : valeur basse			Stockage de Carbone : valeur haute		
Situation initiale*	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Emissions unitaires directes	0,184	0,188	-	-0,416	0,171	-0,281	-1,688	-1,102	-0,918
Emissions unitaires indirectes	0,124	0,124	-	0,046	0,046	0,000	0,046	0,046	0,000
Sous-total émissions unitaires directes et indirectes	**0,309** émission	**0,312** émission	**-**	**-0,370** attén*	**0,216** émission	**-0,281** attén*	**-1,643** attén*	**-1,056** attén*	**-0,918** attén*
Emissions unitaires induites	0,144	0,164	-	0,144	0,164	0,000	0,144	0,164	0,000
TOTAL	**0,453** émission	**0,474** émission	**-**	**-0,266** attén*	**0,380** émission	**-0,281** attén*	**-1,499** attén*	**-0,892** attén*	**-0,918** attén*

Situation initiale*. 1 : sans couvert herbacé. 2 : couvert hivernal temporaire. 3 : couvert herbacé permanent un inter-rang sur deux
attén* : atténuation des émissions de GES

L'adoption de l'option technique 3 (enherbement hivernal temporaire) conduit à une augmentation du stockage de carbone dans les sols et à la réduction de la consommation de gazole et de désherbants. L'inventaire quantitatif unitaire des émissions directes, indirectes et induites calculées selon différents modes de calcul est détaillé dans le Tableau 15.

Tableau 13. Inventaire quantitatif unitaire des émissions directes, indirectes et induites ($MgCO_2e$/ha/an) selon différents modes de calcul, suite à l'adoption de l'option technique 3 (enherbement hivernal temporaire).

	Inventaire quantitatif unitaire des émissions ($MgCO_2e$/ha/an)	
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"
Emissions unitaires directes	-0,003	-0,586
Emissions unitaires indirectes	0	0
Sous-total émissions unitaires directes et indirectes	**-0,003** (atténuation)	**-0,586** (atténuation)
Emissions unitaires induites	-0,020	-0,020
TOTAL	**-0,023** (atténuation)	**-0,607** (atténuation)

5.2.b. Ligne de base et conditions de développement de l'action

• Situation actuelle

Vergers

Selon les sources Agreste (EPC, 2007), 92% des surfaces de verger étaient enherbés de façon permanente en 2007, soit 159 197 ha, pour une surface totale de verger en France de 173 040 ha en 2010 (SAA).

Vignes

Les pratiques d'enherbement sont variables selon les vignobles. Les surfaces et pratiques culturales en 2006, spécifiques à chaque région, sont décrites à partir de l'enquête "Pratiques culturales" 2006, dans l'Annexe 2. Elle exclut les régions correspondant aux vins d'appellation "Midi-Pyrénées" (regroupant les vignes des régions Midi-Pyrénée et Aquitaine), aux vignobles de la région Rhône-Alpes (à l'exception du département du Rhône) et aux vignobles de Corse, régions non interrogées lors des enquêtes.
Ces valeurs ont été actualisées avec les valeurs des surfaces des vignes de 2010 (SAA, cf. Annexe 3). La surface totale du vignoble français est évaluée 687 987 ha en 2010.
Avec près de 101 000 ha, les régions non interrogées représentent environ 13% de surfaces de vigne en 2010 (60 716 ha pour les vins d'appellation "Midi-Pyrénées", regroupant la région Midi-Pyrénées et les départements de la Dordogne, du Lot et des Pyrénées-Atlantiques ; 34 284 ha pour les vignobles de la région Rhône-Alpes (excepté le Rhône) et 6 129 ha pour les vignobles de Corse.
L'enherbement est pratiqué depuis longtemps dans l'ensemble des domaines viticoles français, il ne s'agit pourtant pas d'une obligation réglementaire. Les viticulteurs maîtrisent cette pratique qui leur permet de lutter contre les adventices, d'améliorer le fonctionnement biologique des sols, d'augmenter la quantité de matières organiques dans les sols, et de

diminuer l'érosion, notamment dans la région viticole d'Alsace qui est structurée en coteaux très pentus, sensibles au mécanisme d'érosion. Les connaissances acquises leur permettent aussi de maitriser la vigueur de leur vigne afin de contrôler la qualité de leurs vins.

• Conditions nécessaires à la mise en place de l'action (critères de détermination de l'assiette maximale technique)

Vergers

Nous ne percevons pas de frein majeur à l'adoption d'une pratique d'enherbement permanent sur tous les rangs et les inter-rangs, dans la mesure où 92% des surfaces sont déjà enherbés.

Vignes

Les conditions limitantes pour l'enherbement des vignes en France sont synthétisées en Annexe 3.

Pour l'ensemble du vignoble français, l'option technique 1 (enherbement sur tous les inter-rangs et les rangs) ne sera pas proposée car cette pratique induit une lourde charge de travail lors de l'implantation du couvert (i.e. associée à un coût financier non négligeable) et enherber les rangs, en plus des inter-rangs, pourrait accentuer les pertes de rendement et être préjudiciable à la qualité des moûts.

L'augmentation des surfaces enherbées prendra en considération les spécificités des différentes régions viticoles : nature des sols (charge en éléments grossiers), climat, pratiques agricoles (type de taille). La méthodologie suivie pour calculer les surfaces sur lesquelles un enherbement est possible dans les différents vignobles et les résultats est décrite en Annexe 3.
Pour l'ensemble des vignobles français, une forte charge en éléments grossiers des sols sera le premier frein pris en considération pour proposer ou non l'enherbement des vignes. Le frein sera d'autant plus important que la région viticole se situe dans une région chaude et sèche.

Le climat, et la pluviométrie plus particulièrement, sera le deuxième facteur pris en considération. Nous proposons dans les régions viticoles où le climat est limitant un enherbement temporaire, c'est-à-dire un couvert hivernal temporaire (option technique 3). Enfin, le type de taille des vignes réduira mécaniquement le potentiel d'enherbement (par exemple, taille en gobelet dans le Beaujolais).

Les aspects topographiques (pentes) ne sont pas pris en compte car difficiles à caractériser et à quantifier pour chacun des vignobles.

Selon les vignobles, les options techniques proposées seront différentes. Les choix retenus pour chacun d'entre eux sont détaillés en Annexe 3.

• Assiette maximale technique (AMT)

Vergers : Selon les sources SAA (2010), la surface totale de verger en France est de 173 040 ha. Le potentiel d'enherbement supplémentaire est de 8% en France (données EPC, 2007), soit 13 843 ha.

Vignes : L'assiette maximale technique est détaillée pour chaque vignoble français en Annexe 3. Les résultats sont synthétisés à l'échelle de la France, pour chaque type d'évolution, dans le Tableau 16.

Tableau 14. Surfaces (ha) concernées par les évolutions des pratiques d'enherbement à l'échelle France (base SAA, 2010), détaillées selon la situation initiale et l'option technique retenue

Situation initiale en 2010	Couvert herbacé permanent un inter-rang sur deux	Couvert hivernal temporaire	Sans couvert herbacé	
Option technique proposée	2	2	2	3
Surface totale (ha) France	64 212	43 894	19 861	71 252

Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Les assiettes maximales techniques sont égales à :
- 127 967 ha, pour l'option technique 2 (enherbement permanent de tous les inter-rangs),
- 71 252 ha, pour l'option technique 3 (enherbement hivernal temporaire).

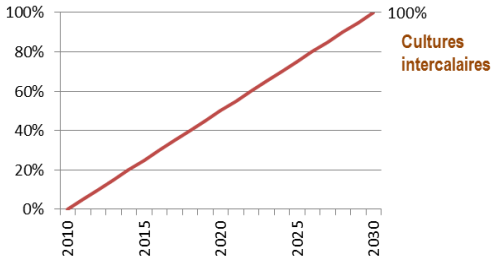
• Scénario de diffusion : surface atteinte en 2030 et cinétique de diffusion

La question environnementale est de plus en plus prise en compte chez les agriculteurs (particulièrement chez les arboriculteurs et vignerons du fait des très nombreux épandages de pesticides), nous supposerons une adhésion des agriculteurs à ces pratiques d'enherbement. Elle conduira à la réduction d'apports de pesticides (au minimum un passage de

désherbant par an, voire plus si cette pratique est moins favorable au développement des maladies), et à la préservation de l'environnement et de leur santé, sans affecter fortement la production en quantité et qualité.

Les mécanismes d'adoption n'étant pas clairement définis, l'augmentation des surfaces enherbées a été considérée "régulière" sur la période considérée (2010 à 2030), de façon à atteindre la surface maximale d'enherbement potentielle en 2030 (Figure 2).

Figure 2. Cinétique de diffusion de la sous-action "cultures intercalaires" entre 2010 et 2030, pour les trois options techniques, sous l'hypothèse d'un taux de diffusion régulier (exprimé en pourcentage des surfaces concernées)



5.2.c. Potentiel d 'atténuation à l'échelle du territoire français

• Potentiel d'atténuation de l'année 2030

Nous avons considéré que l'assiette maximale technique est atteinte en 2030 pour les trois options techniques.

Le potentiel d'atténuation résulte de la somme des émissions directes, indirectes et induites de chacune des trois options techniques. Le potentiel d'atténuation de l'année 2030 permis par l'adoption des trois options techniques est synthétisé dans le Tableau 17 (le détail des calculs se trouve en Annexe 7).

Tableau 15. Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) de l'année 2030 (surface considérée = AMT) calculé selon différents modes de calcul. Cumul des effets de l'adoption des trois options techniques

	Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) de l'année 2030		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : Valeur basse	Stockage de C : Valeur haute
Emissions directes et indirectes	-19 622 (émission)	69 413	217 791
Emissions directes, indirectes et induites	-28 256 (émission)	60 779	209 157

• Potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 en appliquant le scénario de diffusion

Le potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 a été calculé avec un taux de diffusion régulier (cf. Figure 2). Les résultats sont synthétisés dans le Tableau 18.

Tableau 16. Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) cumulé sur la période 2010-2030, calculé avec un taux de diffusion régulier selon différents modes de calcul. Cumul des effets de l'adoption des trois options techniques.

	Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) cumulé sur la période 2010-2030		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	-212 099 (émission)	750 304	2 354 183
Emissions directes, indirectes et induites	-305 427 (émission)	656 979	2 260 845

5.2.d. Coûts et bénéfices induits par la sous-action

Le détail des calculs se trouve en Annexe 8.

• Inventaire des modifications induites par la sous-action

Les modifications induites concernent les modifications de pratiques agricoles : augmentation de la fertilisation azotée des vignes nouvellement enherbées, modification des programmes de protection phytosanitaire et gestion de la croissance du couvert herbacé.

- Estimations des coûts/bénéfices

L'adoption de l'option technique 1 (enherbement permanent de tous les inter-rangs et des rangs) n'a pas été pris en compte dans les calculs de coûts.

Pour les vignes :
- l'adoption de l'option technique 2 (enherbement permanent de tous les inter-rangs) à partir d'une vigne en sol nu conduit à un coût de 36 €/ha/an,
- l'adoption de l'option technique 3 (enherbement hivernal) à partir d'une vigne en sol nu conduit à un gain de 9 €/ha/an,
- l'adoption de l'option technique 2 à partir d'une vigne comportant un enherbement hivernal temporaire conduit à un coût de 44 €/ha/an.

Les coûts liés au passage d'un enherbement un inter-rang sur deux à tous les inter-rangs sont négligés.

- Conclusions : coût unitaire de la sous-action, coût annuel pour l'assiette maximale technique (atteinte en 2030) et coût cumulé sur la période 2010-2030

Le coût unitaire de la sous-action (vergers et vignes compris) s'élève à 10 €/ha/an, toutes options confondues.
Le coût annuel pour l'assiette maximale technique, atteinte en 2030 (vergers et vignes compris) est de 2 038 985 €/an.
Le coût cumulé sur la période 2010-2030 est égal à 22 039 937 €.

5.2.e. Synthèse : récapitulatif de l'atténuation escomptée, du coût, et du coût de la tonne de CO_2e évité

Le détail des calculs se trouve en Annexe 8. Les coûts unitaires de la tonne de CO_2 évité sont synthétisés dans le Tableau 19. Selon le calcul "CITEPA", les évolutions proposées conduisent à une émission accrue des GES, accompagnée d'un coût supplémentaire.

Tableau 17. Coût unitaire d'atténuation du CO_2 (€/MgCO_2e évité ou émis) selon les différents modes de calcul. Cumul des effets de l'adoption des trois options techniques.

	Coût unitaire d'abattement du CO_2 (€/MgCO_2e)		
	Calcul "CITEPA" (€/MgCO_2e **émis**)	Calcul "expert" (€/MgCO_2e **évité**)	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	104	29	9
Emissions directes, indirectes et induites	72	36	10

5.3. Potentiel d'atténuation et du coût de la sous-action "bandes enherbées"

5.3.a. Potentiel d'atténuation unitaire

- Inventaire des effets sur les émissions

Pour cette sous-action "bandes enherbées", les atténuations des émissions de GES ont été étudiées à partir d'une seule option technique : le semis de bandes enherbées le long des cours d'eau (cf. section 2.2.b). L'adoption de cette option a des conséquences (Tableau 20) sur :
- les émissions directes sur l'exploitation agricole,
- les émissions indirectes en aval de l'exploitation agricole,
- les émissions induites en amont de l'exploitation agricole.

Tableau 18. Inventaire qualitatif des émissions directes, indirectes et induites pour la sous-action "bandes enherbées"

Emissions directes	- augmentation du stockage de C dans les sols - réduction des émissions de N_2O liée à la diminution de la fertilisation azotée minérale de la surface concernée - réduction des émissions de CO_2 émis par le gazole consommé en moindre quantité sur les bandes enherbées (travaux agricoles moins nombreux, non comptabilisés) - modifications (+/-) des émissions de N_2O liées à la conduite de la bande enherbée (non quantifiées)
Emissions indirectes	- réduction de la lixiviation du nitrate et du dépôt d'ammoniac suite à la diminution de la fertilisation azotée minérale des surfaces nouvellement enherbées - réduction de la lixiviation du nitrate et du dépôt d'ammoniac à partir des sols couverts par les bandes enherbées (non

en aval	quantifiées)
Emissions induites en amont	- réduction des émissions liées à la production de fertilisants azotés minéraux - réduction des émissions liées à la production des semences (négligée) - réduction des émissions liées à la production de gazole consommé en moindre quantité sur les bandes enherbées (non quantifiée)

• Quantification de l'atténuation

Emissions directes

• L'augmentation du stockage de carbone dans les sols suite à la conversion des sols de grandes cultures en bandes enherbées est de 1,80 ±0,95 $MgCO_2e$/ha/an. Elle est considérée nulle lors du passage d'une prairie (tous types confondus) à une bande enherbée. Les proportions de grandes cultures et de prairies sont respectivement de 39,6% et 60,4% en 2010 (SAA).

• La réduction des émissions de N_2O, suite à l'absence de fertilisation azotée sur les bandes enherbées, est variable selon le type de culture (grandes cultures ou prairies) présent initialement sur la parcelle. Les consommations moyennes d'azote par hectare et par an sur grandes cultures et praires ont été évaluées à 138 et 50 kgN/ha/an respectivement (référence enquête "Pratiques culturales" 2006), soit 85 kgN/ha/an, valeur rapportée à l'hectare toutes espèces de végétaux confondues. La réduction des émissions de N_2O s'élève à :

- selon le calcul "CITEPA" : 466 $kgCO_2e$/ha/an,
- selon le calcul "expert" : 358 $kgCO_2e$/ha/an.

• L'impact des évolutions de pratiques agricoles n'est pas comptabilisé.

Emissions indirectes en aval

• L'un des objectifs visé par l'implantation de bandes enherbées est de limiter les flux du nitrate vers les cours d'eau. L'absence de données quantifiées conduit à une sous-estimation des atténuations de ces émissions.

• La réduction de la fertilisation azotée, évaluée à 85 kgN/ha/an, correspond à une atténuation des émissions de N_2O de :

- selon le calcul "CITEPA" : 352 $kgCO_2e$/ha/an,
- selon le calcul "expert" : 129 $kgCO_2e$/ha/an.

Emissions induites en amont

• La réduction des émissions induites en amont associée à la diminution de la fertilisation (85 kgN/ha/an) s'élève à 452 $kgCO_2e$/ha/an.

• Conclusion : potentiel d'atténuation unitaire de la sous-action

En absence de nombreuses références, la quantification de l'atténuation des émissions de GES sera sous-estimée. Les valeurs unitaires du potentiel d'atténuation sont détaillées dans le Tableau 21.

Tableau 19. Inventaire quantitatif unitaire des émissions directes, indirectes en aval et induites en amont ($MgCO_2e$/ha/an) pour la sous-action "bandes enherbées" selon divers modes de calcul (cf. Annexe 9)

	Inventaire quantitatif unitaire des émissions ($MgCO_2e$/ha/an)		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions unitaires directes	0,466	-0,693	-1,448
Emissions unitaires indirectes	-0,352	-0,129	-0,129
Sous total : émissions unitaires directes et indirectes	**-0,819** (atténuation)	**-0,822** (atténuation)	**-1,577** (atténuation)
Emissions unitaires induites	-0,452	-0,452	-0,452
TOTAL	**-1,270** (atténuation)	**-1,273** (atténuation)	**-2,028** (atténuation)

5.3.b. Ligne de base et conditions de développement de l'action

• Situation actuelle : directive "Nitrate" et conditionnalité de la PAC

En 2003, dans le cadre de la directive "Nitrate" (directive 91/676/CEE du 12 décembre 1991, visant la lutte contre les pollutions liées à l'azote), certaines zones agricoles ont été identifiées comme vulnérables. Bon nombre de départements rendent obligatoire par arrêté préfectoral la mise en place d'une bande d'herbe le long des cours d'eau, d'une largeur allant de 10 à 20 mètres.

L'autre mesure, plus récente et cause principale de la mise en place généralisée des bandes enherbées, provient de la réforme de la PAC en 2003, applicable en 2005. Le gel des terres se décline selon différentes modalités (gel agronomique, gel industriel, gel faune sauvage…) avec pour chacune d'elles une réglementation spécifique (par exemple, le gel faune sauvage peut se retrouver sous forme de jachère fleurie ou de jachère apicole). Toutefois, pour percevoir les aides complémentaires à la vente de sa production, tout agriculteur[1] doit obligatoirement implanter une Surface en Couvert Environnemental (SCE) pour le respect des Bonnes Conditions Agro-Environnementales (BCAE). Elle représente au minimum 3% de la surface SCOP.

Dans le cadre du bilan de santé de la PAC de 2008-2009, la conditionnalité a été renforcée et une nouvelle BCAE (intitulée : "Maintien des éléments topographiques") a été créée : cette BCAE exige le maintien sur l'exploitation d'un pourcentage de "particularités topographiques" : haies, bosquets, jachères, murets, bordures de champs… Des Surfaces Equivalentes Topographiques (SET) ont été définies pour chaque élément. Les SET doivent représenter au total 1% de la SAU en 2010, 3% en 2011 et 3% en 2012. Les mesures PAC post-2013 font mention d'une augmentation à hauteur de 7% de la SAU. Un ha de surface de bandes enherbées (BE) équivaut à deux ha de SET.

• Conditions nécessaires à la mise en place de l'action (critères de détermination de l'assiette maximale technique)

L'implantation des bandes enherbées le long des cours d'eau ne repose pas sur un savoir-faire particulier. Ces pratiques ne nécessitent pas de matériel agricole spécifique ; semoir, broyeur et charrue sont déjà présents dans la plupart des exploitations. Une fois implantées, elles requièrent peu d'intervention (une tonte d'entretien annuelle).

• Assiette maximale technique

La surface potentielle maximale concernée par l'implantation de bandes enherbées le long des cours d'eau en France s'élève à 250 000 ha (Cordeau, 2010). Les surfaces de SCE représentaient 3% des surfaces SCOP en 2003 (environ 356 650 ha, surfaces SCOP en 2010, SAA 2010). Les surfaces de SET équivalentes aux diverses périodes sont synthétisées dans le Tableau 22 (nous avons soustrait les surfaces déjà assignées aux haies, bosquets, forêt, peupleraies et jachères, soit 969 581 ha, calculées sur la base SAA 2010 à partir des données Teruti et Lucas, 2013).

Tableau 20. Surfaces (ha) équivalentes aux différents scénarios de SET

année	Surface SET en % de la SAU	Surface (ha) équivalente (SAU définie en 2010, SAA)	Surfaces (ha) potentielles pour SET*	Surfaces (ha) équivalentes en bandes enherbées (1 ha BE = 2 ha de SET)
2012	5%	1 348 250	378 669	189 335
post-2013	7%	1 887 550	917 969	458 985

* Surface (ha) équivalente topographique (SAU définie en 2010, SAA) moins 969 581 ha correspondant aux haies, forêts, peupleraies, bosquets et jachères (SAA, 2010)

Avec un potentiel d'enherbement de 458 985 ha après 2013, nous considérons que l'ensemble des surfaces situées le long des cours d'eau peut faire l'objet d'un enherbement. L'assiette maximale technique est de 250 000 ha.

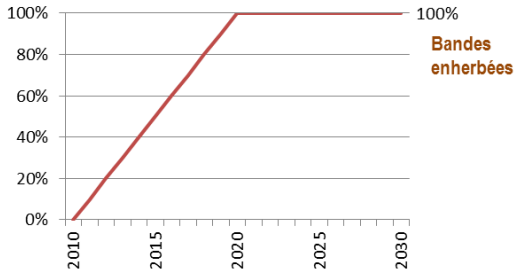
• Scénario de diffusion

Pour bénéficier des aides PAC, les agriculteurs implanteront les "Surfaces en Couvert Environnemental" sur les surfaces définies selon les différentes règlementations. L'absence de quantification des dynamiques d'évolution de l'ensemble des "particularités topographiques" (haies, bosquets, jachères, murets, bordures de champs) rend difficile la définition de scénarios d'évolution, d'autant plus que nous ne considérons que les bandes enherbées situées le long des cours d'eau. Selon Teruti et Lucas (2013) il n'a pas été recensé de bandes enherbées en 2010, alors qu'elles sont très nombreuses en France. A partir de 2013, l'agriculteur sera obligé d'implanter des SET à hauteur de 7%.

A partir de ces considérations, le scénario de diffusion retenu est le suivant :
- point zéro en 2010 et cinétique d'évolution régulière pour atteindre l'assiette maximale technique en 2020,
- de 2020 à 2030 : surface constante de 250 000 ha.

Figure 3. Cinétique de diffusion de la sous-action "bandes enherbées", entre 2010 et 2030, sous l'hypothèse d'un taux de diffusion régulier entre 2010 et 2020 (valeurs exprimées en % de la surface concernée)

[1] sauf les "petits producteurs" c'est-à-dire déclarant une production inférieure à 92 tonnes équivalent céréales, valeur évaluée selon le rendement de référence du département



5.3.c. Potentiel d 'atténuation à l'échelle du territoire français

• Potentiel d'atténuation de l'année 2030

Nous avons considéré que l'assiette maximale technique est atteinte en 2030. Le potentiel d'atténuation résulte du bilan des émissions directes, indirectes et induites. Les valeurs sont synthétisées dans le Tableau 23. Le détail des calculs se trouve en Annexe 9.

Tableau 21. Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) de l'année 2030 (AMT = 250 000 ha), calculé selon différents modes de calcul

	Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) de l'année 2030 (AMT = 250 000 ha)		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	204 690	205 486	394 418
Emissions directes, indirectes et induites	317 567	318 363	507 295

• Potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 en appliquant le scénario de diffusion

Le potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 a été calculé avec un taux de diffusion régulier (cf. Figure 3). Les résultats sont synthétisés dans le Tableau 24.

Tableau 22. Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) cumulé sur la période 2010-2030, calculé avec un taux de diffusion régulier selon différents modes de calcul

	Potentiel d'atténuation ($MgCO_2e$/ha/an) cumulé sur la période 2010-2030		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	3 190 456	3 202 863	6 147 702
Emissions directes, indirectes et induites	4 949 843	4 962 282	7 907 090

5.3.d. Coûts et bénéfices induits par la sous-action

Le détail des calculs se trouve en Annexe 10.

• Inventaire des modifications induites par la sous-action

Les modifications induites concernent les pratiques agricoles :
- réduction moyenne de 85 kgN/ha/an,
- réduction des apports de produits phytosanitaires,
- gestion de la croissance du couvert végétal (plus une coupe par an).

• Estimations des coûts/bénéfices

L'adoption de l'enherbement conduit à un coût unitaire de 633 €/ha/an, puisque aucune production n'est valorisée par l'agriculteur.

• Conclusions : coût unitaire de la sous-action, coût annuel pour l'assiette maximale technique et coût cumulé sur la période 2010-2030

Le coût annuel pour l'assiette maximale technique est de 158 349 346 €/an.

Le coût cumulé sur la période 2010-2030 est égal à 2 468 154 661 € (il correspond à une surface cumulée de 3 896 692 ha).

5.3.e. Synthèse : récapitulatif de l'atténuation escomptée du coût, et du coût de la tonne de CO_2e évité

Le détail des calculs se trouve en Annexe 10. Le Tableau 25 synthétise les coûts unitaires de la tonne de CO_2 évité.

Tableau 23. Coût unitaire d'atténuation du CO_2 (€/MgCO_2e évité) selon différents modes de calcul

	Coût unitaire d'abattement du CO_2 (€/MgCO_2e évité)		
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"	
		Stockage de C : valeur basse	Stockage de C : valeur haute
Emissions directes et indirectes	774	771	402
Emissions directes, indirectes et induites	499	497	312

6. Synthèse : potentiel d'atténuation et coût annuels et cumulés pour l'ensemble de l'action

Les cinétiques d'adoption des différentes sous-actions n'étant pas similaires, aucune valeur annuelle n'a été calculée. Le potentiel d'atténuation et les coûts sont calculés sur la période 2010-2030 (Tableau 26).

Tableau 24. Valeurs de l'atténuation cumulée (TgCO_2e) et des coûts cumulés, sans coûts de transaction privés, calculées sur la période 2010-2030

	Valeurs de l'atténuation cumulée sur la période 2010-2030 (TgCO_2e)				Coûts cumulés sur 2010-2030 (millions €)
	Calcul "CITEPA"	Calcul "expert"			
	Emissions directes + indirectes	Emissions directes + indirectes		Emissions induites	
Sous-action	Valeur moyenne	Valeur basse	Valeur haute	Valeur moyenne	
Cultures intermédiaires	3,30	7,24	16,30	2,15	1890,95
Cultures intercalaires	-0,21	0,75	2,35	-0,09	22,04
Bandes enherbées	3,19	3,20	6,15	1,76	2468,15
Total des 3 sous-actions	**6,28**	**11,19**	**24,80**	**3,81**	**4381,15**

Par rapport au calcul "CITEPA", la prise en compte du stockage de C dans le sol et l'évolution de la valeur des coefficients d'émission liés aux fertilisants azotés minéraux tels que proposés dans le calcul "expert" (GIEC 2006) améliorent de façon notable le potentiel d'atténuation des trois sous-actions. Parmi elles, l'adoption des cultures intermédiaires conduit au potentiel le plus élevé. Ce résultat s'explique par les surfaces importantes ciblées par cette sous-action, la valeur unitaire d'atténuation n'étant pas particulièrement haute. Toutefois, le coût cumulé, à la tonne de CO_2e évité, est important en raison des nombreuses interventions culturales. Le potentiel d'atténuation lié à l'enherbement des vignes et des vergers (introduction de cultures intercalaires) est relativement faible et cette sous-action concerne peu d'hectares. Le coût est peu élevé du fait des faibles évolutions dans les pratiques culturales. Pour les bandes enherbées, malgré un potentiel d'atténuation unitaire élevé, le résultat global est faible en raison des surfaces limitées assignées à cette sous-action. L'adoption s'accompagne d'un coût élevé pour les agriculteurs du fait de la perte de revenus sur ces surfaces.

7. Discussion

7.a. Sensibilité des résultats

La quantification des atténuations, unitaires et globales, est très sensible à divers paramètres. **Le manque de données précises ou l'utilisation de données anciennes** conduisent à formuler de nombreuses hypothèses.

Quelle que soit la sous-action, les évolutions des émissions de N_2O suite à l'adoption des différentes options techniques sont très peu renseignées dans la littérature (Etude INRA 2012). Cependant, elles ne sont pas à négliger dans certaines

conditions pédoclimatiques (sols hydromorphes, sols calcaires). Il en est de même de la réduction de la disponibilité du nitrate dans les sols où une couverture végétale est implantée. La diminution des émissions de N_2O est donc mal prise en considération dans nos calculs.
L'absence de données spécifiques à notre champ d'application sur la réduction de la consommation de gazole suite à l'application des principes d'éco-conduite lors des pratiques agricoles, et particulièrement significative pour le travail du sol (et les labours), n'a pas non plus été intégrée dans nos calculs.

De façon plus spécifique, pour les cultures intermédiaires, nous nous sommes appuyés sur des références anciennes pour quantifier les surfaces des cultures intermédiaires et des repousses et décrire les pratiques culturales usitées (enquête "Pratiques culturales" 2006). Depuis l'application de la réglementation sur les zones vulnérables et non vulnérables, les surfaces ont pu évoluer et les pratiques de destruction des cultures intermédiaires être modifiées (par exemple : favoriser l'implantation d'espèces gélives comme cultures intermédiaires au lieu d'utiliser un désherbant).
Le faible jeu de données spécifiques aux cultures intermédiaires nous conduit à utiliser deux valeurs de stockage de carbone dans les sols.
Enfin, la surface (25 ha) des parcelles élémentaires, prise en compte dans le *Corinne Land Cover* pour calculer les surfaces dont le taux d'argile était élevé n'est pas adaptée aux tailles de parcelles analysées. Les surfaces de sol à forte teneur en argile (sup à 60%) ont pu être sous-estimées, induisant une surestimation des surfaces potentielles pour les cultures intermédiaires.

Pour les cultures intercalaires, les surfaces de vignobles non recensées lors de l'enquête "Pratiques culturales" 2006 représentent plus de 101 000 ha (régions Midi-Pyrénées, Aquitaine, Corse) pour l'année 2010, et conduisent à sous-estimer l'atténuation des émissions de GES à partir des vignobles.
Les données issues des vignobles sont peu nombreuses dans la littérature. Les estimations sont réalisées en référence à d'autres situations. L'utilisation des valeurs issues de l'Etude INRA 2012 concernant les cultures intermédiaires pour quantifier les effets de couvert hivernal temporaire sur le stockage de carbone dans le sol peut être réfutée ; celles utilisées pour les couverts permanents, issues de l'Expertise INRA 2002, un peu anciennes maintenant, sont peu précises (dans le document, il est indiqué que les valeurs modales pour le territoire sont "assorties d'une incertitude relative de l'ordre de 50%"). Les émissions directes en aval ont été calculées à partir de données grandes cultures et ne sont pas spécifiques aux vergers et vignes.
Enfin, la surface des parcelles élémentaires, prise en compte dans le *Corinne Land Cover* pour calculer les surfaces à forte charge en éléments grossiers, n'est pas adaptée aux tailles des parcelles de vigne. Les surfaces pouvant être potentiellement enherbées ont pu être surestimées.

Pour les bandes enherbées, le potentiel d'atténuation des émissions a pu être surestimé car (i) en absence de données des surfaces enherbées en 2010, point initial de notre simulation, nous avons considéré qu'aucun cours d'eau n'était bordé par des bandes enherbées (ce qui n'est pas la réalité), et (ii) que la surface totale leur étant assignée correspondait à la SET (Surface Equivalente Topographique), alors qu'elle peut aussi être affectée aux haies, bosquets, murets.
Comme pour les cultures intercalaires, la référence utilisée pour estimer le stockage de carbone dans le sol n'est pas spécifique aux bandes enherbées.

La grande variabilité de l'expression des processus à l'échelle du territoire français a obligé à simplifier certains calculs.
Les émissions de N_2O sont très variables selon le climat et les caractéristiques physico-chimiques des sols ; une valeur moyenne d'émission à partir des fertilisants azotés minéraux a été appliquée quel que soit le contexte pédoclimatique français pour toutes les actions.

Les conditions climatiques (températures et pluviométrie) plus ou moins favorables au développement et à la croissance des cultures intermédiaires, conditionneront le potentiel des sols à stocker le carbone, et à fixer l'azote pour les cultures intermédiaires à base de mélanges de légumineuses. La valeur de production moyenne de la biomasse d'une culture intermédiaire est de 2 MgMS/ha/an à l'échelle de la France, alors qu'elle est très fluctuante (0 à 5 MgMS/ha/an, Etude INRA 2012). La réduction de la fertilisation azotée a été par voie de conséquence moyennée à l'échelle nationale.

Les pratiques culturales supplémentaires liées à leur implantation ou au maintien des repousses correspondent à des moyennes nationales, alors qu'elles sont variables entre régions. Par souci de simplification, une seule solution de désherbage chimique a été retenue pour détruire les cultures intermédiaires, et tous les calculs sont réalisés avec des matériels agricoles types (par ex : destruction de la culture intermédiaire avec une charrue portée à 3 socs, alors que nous ne disposons pas d'informations sur le type de matériel utilisé dans ces conditions).

Pour les cultures intercalaires, la faible disponibilité de références techniques nous a conduits à généraliser des pratiques, décrites dans des vignobles spécifiques, à l'ensemble du territoire français. Selon la nature des cépages, la qualité des

moûts peut évoluer avec l'enherbement des vignes. Pour ne pas modifier les mécanismes de fermentation, un apport de 10 kgN/ha est conseillé. A l'échelle de la France, nous n'en avons pas tenu compte dans nos calculs.

Certaines données n'ont pas été considérées.
Les évolutions des pratiques culturales dans les vergers n'ont pas été prises en compte (semis des vergers non enherbés, tontes régulières occasionnées par ces nouveaux enherbements).

Le potentiel d'atténuation des bandes enherbées a été sous-estimé car les surfaces leur étant assignées ne prennent pas en compte les surfaces enherbées en périphérie des parcelles ou dans les parties basses des parcelles présentant une forte déclivité, car très difficiles à quantifier à l'échelle de la France. De plus, la consommation de gazole sur les cultures ou les prairies précédant l'implantation la bande enherbée n'a pas été évaluée (i.e. pas été déduite).

Pour les cultures intercalaires et les bandes enherbées, les émissions indirectes en amont liées à la production de semences de graminées sont sous-estimées car nous avons considéré qu'elles étaient soit produites sur le site de l'exploitation, soit qu'il s'agissait d'enherbement spontané.

7.b. Les conditions d'une prise en compte de l'action dans l'inventaire national

• Comptabilisation de l'effet

La méthode "CITEPA" ne prend en compte ni le stockage additionnel de C dans le sol, ni la révision des valeurs des facteurs d'émission des engrais azotés minéraux. Les règles de calcul retenues par le GIEC en 2006 ont à la fois fait évoluer les coefficients d'émissions liés aux fertilisants et permettent l'évaluation du stock de C.

• Vérifiabilité de la mise en œuvre

La mise en œuvre de ces sous-actions pourraient être évaluée soit par le biais d'enquêtes chez les agriculteurs, soit par la réalisation de photographies aériennes permettant d'identifier si les sols sont couverts par de la végétation.

7.c. Les contextes et mesures susceptibles de favoriser le déploiement de l'action

Les options techniques proposées pour les CI et les bandes enherbées ne sont pas difficiles à mettre en œuvre et ne nécessitent pas de matériel spécifique. En revanche, dans certains vignobles, l'enherbement sera délicat à conduire (pour des vignes en gobelet, ou en situations de densité élevée de ceps) et nécessitent parfois l'achat de matériels spécifiques.

Le développement des différents leviers techniques identifiées pour les **cultures intermédiaires** est difficile à chiffrer. En effet, il existe des freins à la réduction de la fertilisation azotée des cultures (cf. action "Fertilisation azotée"), et l'implantation de nouvelles CI conduit à des coûts financiers non négligeables.

L'évolution de l'**enherbement des vignes** est complexe à quantifier. En effet, le devenir des droits de plantation en viticulture, dictés par la nouvelle PAC, n'est pas encore fixé. La règlementation européenne pourrait influer sur les pratiques agricoles, dont l'enherbement. En parallèle, les démarches agronomiques engagées dans le cadre du plan Ecophyto 2018 sont plutôt favorables au développement de l'enherbement des vignobles français. Toutefois, les incertitudes quant à la maîtrise technique de la conduite des vignes enherbées et de la vinification de leurs produits sont à prendre en considération.

La généralisation des **bandes enherbées** le long des cours d'eau est soumise aux règles de la conditionnalité de la PAC qui leur sont favorables.

7.d. Vulnérabilité et adaptabilité de l'action au changement climatique

Un changement climatique qui se traduirait par des précipitations moins abondantes et des températures plus élevées renforcerait la concurrence pour l'eau soit entre les cultures principales et les CI, soit entre les arbres fruitiers ou ceps et le couvert herbacé. Dans ces contextes limitants, l'introduction de CI ou l'enherbement des vergers et des vignes seraient moins développés. Par ailleurs, le risque d'une raréfaction en eau pour l'irrigation pourrait conduire à une diminution des surfaces en cultures d'été, fortement consommatrices en eau, et à la réduction des surfaces en CI.

7.e. Interactions entre sous-actions et avec les autres actions

Introduction de légumineuses dans les systèmes de culture. Les surfaces de cultures intermédiaires assignées aux mélanges à base de légumineuses ne prennent pas en compte les surfaces de légumineuses implantées en culture principale. Toutefois, l'implantation de variétés de légumineuses limitant le développement de l'*Aphanomyces* sera priorisée lors du choix de la nouvelle culture intermédiaire.

Agroforesterie. L'assiette maximale technique assignée aux bandes enherbées correspond aux surfaces maximales potentielles en France. Elles correspondent à moins de 50% des surfaces assignées à la SET (Surface Equivalente Topographique), laissant la possibilité aux haies, bosquets et murets de se développer.

Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse. Les atténuations calculées dans cette action sont additives à celles proposées dans l'Action 1 sur les engrais minéraux de synthèse.

7.f. Autres effets attendus de l'action, synergies/antagonismes avec l'adaptation au changement climatique et avec d'autres objectifs de politique publique

Un changement climatique qui se traduirait par des précipitations moins abondantes et des températures plus élevées renforcerait la concurrence pour l'eau, soit entre les cultures principales et les cultures intermédiaires, soit entre les arbres fruitiers ou ceps de vigne et le couvert herbacé. Dans ces contextes limitants, l'introduction de cultures intermédiaires ou l'enherbement des vergers et des vignes seraient moins développés. Par ailleurs, le risque d'une raréfaction en eau pour l'irrigation pourrait conduire à une diminution des surfaces en cultures d'été, fortement consommatrices en eau, et à la réduction des surfaces en cultures intermédiaires sur la période automne-hiver. Enfin, en situation de climat plus sec, la fourniture au sol en azote à partir des résidus de cultures intermédiaires pourrait être modifiée.

Les contextes et mesures susceptibles de favoriser le déploiement des sous-actions

Les options techniques proposées pour l'introduction de cultures intermédiaires et de bandes enherbées ne sont pas difficiles à mettre en œuvre et ne nécessitent pas de matériel spécifique. En revanche, dans certains vignobles, l'enherbement sera délicat à conduire (pour des vignes en gobelet, où en situations de densité élevée de ceps) et nécessite parfois l'achat de matériels spécifiques. L'adoption des différentes options techniques identifiées pour les cultures intermédiaires est difficile à chiffrer. En effet, il existe des freins à la réduction de la fertilisation azotée des cultures (cf. Action 1 "Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse"), et l'implantation de nouvelles cultures intermédiaires conduit à des coûts financiers non négligeables. L'évolution de l'enherbement des vignes est complexe à quantifier. En effet, le devenir des droits de plantation en viticulture, dictés par la nouvelle PAC, n'est pas encore fixé. La règlementation européenne pourrait influer sur les pratiques agricoles, dont l'enherbement. En parallèle, les démarches agronomiques engagées dans le cadre du plan Ecophyto 2018 sont plutôt favorables au développement de l'enherbement des vignobles français. Toutefois, les incertitudes quant à la maîtrise technique de la conduite des vignes enherbées et de la vinification de leurs produits sont à prendre en considération. La généralisation des bandes enherbées le long des cours d'eau est soumise aux règles de la conditionnalité de la PAC qui leur sont favorables.

8. Conclusions

L'action étudiée vise à estimer le potentiel d'atténuation et les coûts liés à l'implantation de cultures intermédiaires, de cultures intercalaires et de bandes enherbées le long des cours d'eau. Le principal effet visé est le stockage additionnel de carbone dans le sol permis par les apports supplémentaires de matières organiques végétales. Les couverts sont en outre susceptibles de réduire les émissions de N_2O par immobilisation d'azote du sol. Toutefois, ces effets sont peu renseignés dans la littérature. Enfin, les modifications de la fertilisation azotée et des pratiques culturales liées à leur implantation ont un impact sur les émissions de GES (N_2O et CO_2). Selon les sous-actions, différentes options techniques ont été analysées et des cinétiques d'évolution proposées sur la période 2010-2030. A l'horizon 2030, l'assiette maximale technique est atteinte pour l'ensemble des sous-actions.

L'atténuation des émissions de GES a été conduite selon différents modes de calcul.
Par rapport au calcul "CITEPA" (basé sur les recommandations GIEC 1996), la prise en compte du stockage de carbone dans le sol et l'évolution de la valeur des coefficients d'émission liés aux fertilisants azotés minéraux tels que proposés par le GIEC en 2006 améliorent de façon notable le potentiel d'atténuation de ces trois sous-actions. Les différences sont de +0,8, +0,16 et +0,1 $TgCO_2e$ suite à l'introduction des cultures intermédiaires, intercalaires et de bandes enherbées

respectivement. Parmi elles, l'adoption des cultures intermédiaires conduit au potentiel d'atténuation, émissions induites exclues, le plus élevé (+1,1 $TgCO_2e$). Ce résultat s'explique par les surfaces importantes (4,251 Mha) ciblées par cette sous-action, les valeurs unitaires d'atténuation (-45 à +1 305 $kgCO_2e/ha/an$, selon les options techniques retenues) n'étant pas particulièrement hautes. Toutefois, le coût à la tonne de CO_2e évité est important (160 €/$MgCO_2e$) en raison des nombreuses interventions culturales. Le potentiel d'atténuation, émissions induites exclues, lié à l'enherbement des vignes et des vergers est relativement faible (+0,14 $TgCO_2e$) et cette sous-action concerne peu d'hectares (213 000 ha). Le coût est peu élevé (14 €/$MgCO_2e$) du fait des faibles évolutions dans les pratiques culturales. Pour les bandes enherbées, malgré un potentiel d'atténuation unitaire, émissions induites exclues, élevé (+822 à +1 578 $kgCO_2e/ha/an$), le résultat global est faible (+0,3 $TgCO_2e$) en raison des surfaces limitées (250 000 ha) assignées à cette sous-action. Leur adoption s'accompagne d'un coût élevé (528 €/$MgCO_2e$) pour les agriculteurs du fait de la perte de revenus sur ces surfaces.

Alors que l'introduction de cultures intermédiaires ne modifie pas les potentiels de production, l'implantation de bandes enherbées le long des cours d'eau conduit systématiquement à une réduction de la production, générant des pertes de revenus pour les agriculteurs. Toutefois, nous nous sommes placés dans un contexte de non-valorisation des produits de tonte. Dans les vignobles, l'enherbement conduit à des modifications quantitatives et qualitatives des productions non quantifiées de façon spécifique dans chaque vignoble, et ces éléments sont peu renseignés dans la littérature. La densité de ceps /m² et la profondeur des sols des vignes étant très variables selon les régions viticoles, aucune estimation de perte de production à l'échelle nationale n'a été envisagée.

Toutefois, l'adoption de ses sous-actions rend de nombreux services environnementaux non quantifiés actuellement. La répétition de l'incorporation de résidus de culture intermédiaire peut entraîner des effets cumulatifs sur le stockage de matières organiques dans le sol et sur leur potentiel de minéralisation. Ce surcroît de minéralisation permet généralement d'augmenter l'absorption des cultures principales. Le maintien d'une culture en automne et de ses résidus en hiver permet d'améliorer les propriétés physiques du sol (réduction de l'érosion, du ruissellement, de la battance, décompaction du sol) et les propriétés hydriques (infiltration, stockage de l'eau). L'enherbement des vignes conduit à la diminution de l'érosion hydraulique et éolienne des sols (réduction du ruissellement et des transferts de produits phytosanitaires) et à l'amélioration de la structure du sol (décompactage, augmentation de la porosité et de la perméabilité, amélioration de la portance). Le couvert herbacé représente une niche écologique pour les insectes auxiliaires et facilite la maîtrise de certains bioagresseurs, intéressants à valoriser dans certaines régions où les pressions de bioagresseurs sont très élevées comme la Champagne. L'implantation de bandes herbacées participe à la réduction des pollutions d'origines azotée et phytosanitaire des aquifères.

Références bibliographiques citées

ADEME. 2011. 2011 187 *Guide des valeurs Dia ' terre ®.*

Agreste. 2012. 1–4 *Analyse et Résultats Centre - Les exploitations agricoles et l'environnement (partie 1)*.

Alison J. Eagle, Lydia P. Olander, Lucy R. Henry, Karen Haugen-Kozyra, Neville Millar, G. Philip Robertson, Third Edition, J. Companion Report to Assessing Greenhouse Gas Mitigation Opportunities and Implementation Strategies for Agricultural Land Management in the United States, January 2012

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 ? Expertise scientifique collective, INRA, 335 p.

Celette F., 2007, Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté au sein d'une vigne enherbée sous le climat méditerranéen.

Celette, F., et al., *WaLIS—A simple model to simulate water partitioning in a crop association: The example of an intercropped vineyard*. Agric. Water Manage. (2010), doi:10.1016/j.agwat.2010.06.008

CITEPA. 2012. 514 *RAPPORT NATIONAL D'INVENTAIRE POUR LA FRANCE AU TITRE DE LA CONVENTION CADRE DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DU PROTOCOLE DE KYOTO*.

Cohan J.P., Labreuche J., Bouthier A., 2011a. Orge de printemps : tenir compte de la culture intermédiaire dans le calcul de la fertilisation azotée. Perspectives Agricoles, 383 (novembre), 53-57.

Cohan JP., Laurent F., Champolivier L., Lieven J., Duval R., Morin P., 2011b. Effet des couverts intermédiaires sur la fourniture d'azote à la culture suivante. In "Cultures intermédiaires – Impacts et conduite" Ed. ARVALIS-CETIOM-ITB-ITL ; pp. 44-61.

Cohan J.P., Labreuche J., 2013. Couverts intermédiaires - L'azote légumineuses valorisables pour le maïs suivant. Perspectives Agricoles, 398 (mars), 44-47.

Compte rendu de V'innopôle (IFV), 2002, *Effet de l'enherbement semé sur la vigueur et la production en fruits de la vigne*

Cordeau S., 2010. Conséquences de la mise en place des bandes enherbées sur l'évolution de la flore adventice. Thèse de doctorat Université de Bourgogne, 288p

Constantin J., Mary B., Laurent F., Aubrion G., Fontaine A., Kervaillant P., Beaudoin N., 2010. Effect of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. agriculture, ecosystems and Environment. 135 : 268-278

Delabays N., Mermillod G., 2007, *Enherbement des vignes avec des espèces peu concurrentielles*

Dupraz P., Thomas A. : La PAC après 2013 : Présentation et analyse des propositions législatives de la Commission Européenne d'octobre 2011 présentation orale

Eagle A., Olander L., Henry L., Haugen-Kozyra K., Millar N., Robertson G., 2012. Greenhouse gas mitigation potential of agricultural land management in USA 2012, 84p

Enquête pratiques culturales, Agreste, 2006

Expertise stockage de carbone 2002 : données sur enherbement, données sur stockage de c lié au changement des pratiques

Fiche Conditionnalité 2012 - Domaine « BCAE »

Fiche BCAE VII – Maintien des particularités topographiques - page 3/5

Freibauer, A., M.D.A. Rounsevell, P. Smith, and J. Verhagen. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma 122(1):1-23

Guittet M., Sibe V., Gaudin J-C., 2011, *Les vignobles : de nouveaux réservoirs de biodiversité.* Faune Sauvage, n°291, p 34 – 42

Greenhouse gas mitigation potential of agricultural land management in the United States – Technical working group on Agricultural Greenhouse Gases (T-AGG) – Duke University – 2012

Gry, L., 2006. Jachères et bandes enherbées, la PAC met en valeur les couverts environnementaux. Semences et progrès, 23-41.

http://www.vignevin-sudouest.com/index.php

Justes E., Beaudouin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Durr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou JP., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Rechauchère O., 2012. Etude scientifique Inra, "Réduire les fuites de nitrates au moyens de cultures intermédiaires"

Loubet B., Laville P., Lehuger S., Larmanou E., Fléchard C., Mascher N., Genermont S., Roche R., Ferrara R., Stella P.? Personne E., Durand B., Decuq C., Flura D., Fanucci O., Rampon JN., Siemens J., Kindler R., Gabrielle B., Schrumpf M., Cellier P., 2011. Carbon, nitrogen and Greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France. Plant Soil 343:109–137. DOI 10.1007/s11104-011-0751-9

Masson P., Gintzburger G., 2000. "Les légumineuses fourragères dans les systèmes de production méditerranéens : utilisations alternatives", In Sulas L. (ed.). *Legumes for Mediterranean forage crops, pastures and alternative uses = Légumineuses pour cultures fourragères, pâturages et autres usages en région méditerranéenne*. Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 2000. p. 395-406.

Prospective énergie 2013 voir les informations disponibles

Rakotonandrasana M.A., Masson P. (2000), *Dynamique et lessivage de l'azote nitrique sous couvert de trèfle souterrain*

Rapport Agreste Primeur n°230 (Sept 2009), *Lutte sanitaire en viticulture Situation 2006*

Rapport de la FAO et de l'IFA, 2003, *Estimations des émissions gazeuses de NH3, NO et N2O par les terres agricoles à l'échelle mondiale*

Roussel M., Léonard J., Cohan J.P., Dimassi B., Gréhan E., Fleury C., Mary B., 2011. Dynamics of greenhouse gas emissions associated with long-term soil tillage and cover cropping over a 28-month period. EGU - Mars 2011 - Vienne, Autriche

Souiller, C., Coquet, Y., Pot, V., Benoit, P., Réal, B., Margoum, C., Laillet, B., Labat, C., Vachier, P., Dutertre, A., 2002. Dissipation des produits phytosanitaires à travers un dispositif enherbé: mise en évidence des processus mis en jeu par simulation de ruissellement et infiltrométrie (Capacités de stockage et d'épuration des sols de dispositifs enherbés vis-à-vis des produits phytosanitaires. Partie 1). Etude et gestion des sols 9, 269-285.

Steenwerth and Bellina, 2008, Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in vineyard agroecosystem. Applied Soil Ecology 40: 359-369

Steenwerth and Bellina, 2010, Vineyard weed management practices influence nitrate leaching and nitrousoxide emissions. Agriculture, Ecosystems and Environment 138: 127-131

Teruti-Lucas, 2010

Tollner E.W.B., B.J. Haan, C.T. Kao, T.Y. 1976. Suspended sediment filtration capacity of simulated vegetation. Trans. ASAE 19, 678-682.
VandenBygaart, A J, B G McConkey, D A Angers, W. Smith, H. de Gooijer, M. Bentham, T. Martin. 2008. Soil carbon change factors for the Canadian agriculture national greenhouse gas inventory. Canadian Journal of Soil Science, 88:671-680

Annexe 1 : Sous-action "cultures intermédiaires". Pratiques culturales actuelles. Pratiques culturales retenues.

A. PRATIQUES CULTURALES ACTUELLES

1. Surfaces et espèces principales implantées comme cultures Intermédiaires

Les pratiques actuelles de conduite des intercultures en France ont été étudiées à partir des informations recueillies lors de l'enquête "Pratiques culturales en grandes cultures" conduite en 2006 par le Service de la Statistique et de la Prospective du ministère chargé de l'Agriculture. L'enquête porte sur 14 525 parcelles en cultures annuelles (céréales à paille, maïs, betterave, colza, tournesol, pomme de terre, pois et prairies). 7,8% de l'échantillon ont été implantées avec une culture intermédiaire. 20% de l'échantillon ont fait l'objet d'une repousse du précédent cultural.
Selon l'enquête 2006, les cultures intermédiaires sont très souvent implantées après une culture de blé, d'orge, ou de maïs fourrage. Les trois principales espèces sont la moutarde (80% des surfaces), l'avoine (13%), et la phacélie (7%).
Le détail des espèces implantées sont disponibles dans l'Etude "Cultures intermédiaires" INRA 2012.

2. Fertilisation azotée de la culture implantée après une culture intermédiaire

Les cultures intermédiaires peuvent fournir de l'azote à la culture suivante. Ces fournitures dépendent des quantités d'azote absorbées par les cultures intermédiaires et sont très variables selon la nature de l'espèce implantée, la profondeur de son enracinement, et la durée de vie de la culture intermédiaire liée à cette période de destruction. La valeur maximum de l'effet de substitution d'intrant en azote a été évaluée à 50% de l'azote contenu dans les résidus de la culture intermédiaire (Thorup-Kristensen et al., 2003), correspondant à des quantités de 20 à 40 kgN/ha pour des espèces non-légumineuses (graminées, crucifères) en climat scandinave ou tempéré, hors situation de fort excédent d'azote minéral du sol et de 50 à 100 kgN/ha, en cas de culture intermédiaire de type légumineuse bien développée durant l'automne. Contrairement aux légumineuses en culture principale, des cultures intermédiaires composées de légumineuses (désignées dans la littérature « engrais verts ») peuvent systématiquement fournir de l'azote à la culture suivante (Moller et al., 2009). La réduction de la fertilisation azotée a été quantifiée selon l'espèce et le potentiel de croissance de la culture intermédiaire implantée dans les conditions françaises (cf. tableau 1-1, Cohan JP. et al, 2011a).

Tableau 1-1 : Quantités d'azote (kgN/ha) apportées par des quantités de résidus de la culture intermédiaire variées pour la culture suivante, et dans les situation de destruction avant le 1er décembre (conditions françaises)

Production du couvert intermédiaire Espèce implantée	1tMS/ha	2tMS/ha	3tMS/ha
Graminées (seigle et avoine) et phacélie	0	5	10
Crucifères (moutarde,...)	5	10	15
Légumineuses (toutes espèces)	10	20	30

L'effet précédent d'une légumineuse est cohérent avec d'autres résultats issus de la littérature (cf. Action : Introduire des légumineuses dans les rotations).

3. Interventions culturales liées à l'implantation de cultures intermédiaires

La diversité des modes de conduite des cultures intermédiaires en France a fait l'objet d'une typologie construite au moyen de méthodes d'analyse de données multivariées (Etude "Cultures intermédiaires", INRA 2012).

Ces différents types de conduites présentent en commun :
1. Le semis de la culture intermédiaire. Les techniques sont très diversifiées (enquêtes 2006). Nous retiendrons la technique de semis avec un épandeur centrifuge car elle ne nécessite pas d'investissement supplémentaire et correspond à une opération moins couteuse et plus rapide que la pratique d'un semis. Le coût moyen d'un passage d'épandeur est en moyenne de 7 €/ha au lieu de 40 €/ha avec un semoir ; les surfaces semées sont en moyenne de 7-10 ha/h avec un épandeur et de 2-3 ha/h avec un semoir.
2. Le semis est systématiquement suivi d'un roulage.
3. La destruction de la culture intermédiaire se répartit entre la destruction mécanique (80% des surfaces en France) et la destruction chimique (10 à 20% des surfaces selon les régions). Les produits largement utilisés sont des associations de 2-4D de type aminugec 600 (1 l/ha) et glyphosate de type round up max 480 (2.5 l/ha) (mélange préconisé par Arvalis Institut du végétal et modulé à dires d'experts).
Les apports de fertilisants organiques, non spécifiques à l'implantation de la culture intermédiaire ne sont pas pris en compte dans notre approche.
A ces pratiques, s'ajoutent les interventions liées à la gestion des résidus de la culture précédente, très diversifiées entre systèmes de production. Nous retiendrons dans nos calculs les pratiques culturales supplémentaires suivantes :

- 43% des surfaces feront l'objet d'un broyage de résidus,
- 29% des surfaces d'un enlèvement des résidus de récolte,
- 28% sans intervention.

Tableau 1-2 : Consommations de gazole et coûts des différentes pratiques culturales liées à l'implantation de cultures intermédiaires

Activités agricoles	Pratiques culturales et matériels agricoles proposés	Consommation de gazole (l/ha)	Coût du passage, gazole inclus (€/ha)
Gestion des résidus du précédent	Résidus du précédent broyés tracteur 120cv 4RM+ déchaumeur rapide à disques	2.7	28.23
	Résidus du précédent exportés (Tracteur 80cv 4RM+ faneuse andaineuse 3m) + (Tracteur 80cv 4RM+ presse 120 diam) + (Tracteur 80cv 4RM+ remorque autochargeuse 35m3)	14.1	146.76
Semis cultures intermédiaires	Tracteur 80cv 4RM+ épandeur centrifuge : 7-9m	1.6	11.63
Roulage cultures intermédiaires I	Tracteur 80cv 4RM+ rouleau croskill 4m	3.1	19.15
Destruction cultures intermédiaires	Destruction chimique tracteur 80cv 4RM+ pulvérisateur 18m	1.2	10.84
	Destruction mécanique tracteur 120cv 4RM+ charrue portée 3 corps	16.9	82.73

4. Les repousses

Selon l'enquête 2006, 20% des surfaces avant une culture de printemps sont couvertes par les repousses du précédent cultural. Les chiffres retenus sont :

- 50% des surfaces de colza, avec une variabilité entre régions,
- 40% en moyenne des surfaces de céréales à paille, avec une variabilité entre espèces et régions,
- 26% des surfaces de protéagineux, avec une variabilité entre régions.

Les résultats sur l'efficacité des repousses vis-à-vis de l'atténuation des émissions de GES sont cohérents avec ceux obtenus sur les cultures intermédiaires Justes et al. (1999) Henke et al. (2008) cités dans l'Etude "Cultures intermédiaires" INRA 2012. Cependant, les atténuations sont plus variables car la maîtrise de leurs conditions de levée plus incertaine.

Les pratiques culturales liées au maintien des repousses retenues dans notre étude sont le roulage et la destruction (cf. tableau pratiques culturales sur cultures intermédiaires).

Annexe 2 : Sous-action "cultures intercalaires" : Pratiques culturales actuelles. Pratiques culturales retenues.

1 La fertilisation azotée

Les besoins de la vigne en azote sont modestes : autour de 30-60 k/ha pour des productions de 6 à 10 t/ha et jusqu'à 60 à 90 kg/ha pour des productions de 10 à 25 t/ha (fiche culture, 2012 – COMIFER). Ils peuvent être satisfaits, tout ou au moins en partie, par l'azote fourni à partir de la minéralisation de la matière organique des sols. Selon l'IFV (http//www.vignevin) la pratique de l'enherbement va concurrencer la vigne au niveau des prélèvements d'azote. Dans une situation à « bonne » réserve hydrique, lever le facteur limitant "azote" suffit à réduire la concurrence. Dans les situations où la réserve hydrique est limitante, seule la levée des deux facteurs limitants permet de maintenir le niveau de production. Dans ces conditions, il est proposé d'apporter une dose supplémentaire de 30 kgN/ha/an, associé à des tontes appropriées pour réduire cette concurrence. Ces apports supplémentaires seront pris en compte dans nos calculs. Les couverts hivernaux ne seront pas concernés par ces apports supplémentaires, car les dates d'apports (en automne) ne sont pas compatibles avec des pratiques respectueuses de l'environnement (i.e. lixiviation des nitrates accentuée).
La concurrence exercée par le couvert herbacé fait évoluer les compositions chimiques des raisins et des vins qui en sont issus. Un des principaux constats observés est le taux d'azote assimilable dans les moûts en dessous du seuil optimal « garantissant » une cinétique de fermentation linéaire. Pour augmenter « l'expression » aromatique de certains cépages, des apports foliaires de 10 à 20 kg N/ha/an supplémentaires sont appliqués à la véraison (http//www.vignevin). Compte tenu de la variabilité des effets des carences azotées entre vignobles sur la qualité des moûts de raisin, nous ne tiendrons pas compte de ces apports tardifs d'azote sur les vignes.

2. Les évolutions des pratiques culturales

Les modifications des pratiques culturales seront liées à la situation d'enherbement initiale et à l'option technique retenue.
Les pratiques culturales actuelles sont peu décrites dans la littérature. Les données concernent le travail du sol, la fertilisation azotée, le désherbage et les pratiques liées aux semis du couvert végétal, son entretien et sa destruction. Le tableau 2-1 recense les connaissances pour les différentes pratiques culturales : A - sur vignes sans enherbement. B : sur vignes en situation d'enherbement tous les inter-rangs. C sur vignes en situation d'enherbement hivernal

Tableau 2-1 : Les pratiques culturales actuelles sur vignes sans enherbement

Références	**Pratiques culturales et choix retenu dans l'étude**
Références : Institut Français de la Vigne (site : Vignevin)	travail du sol en profondeur, avec comme conséquence une accentuation de l'érosion des sols et un accroissement de la semelle de labour. Ou travail du sol peu profond (10 cm) : environ 4 passages par an d'entretien des inter-rangs et rangs avec des outils de type pulvérisateur à disques et/ou rotavator.
Garland et al, (2011)	3 interventions de type travail du sol superficiel («outils à disques », 15 cm de profondeur) sont pratiquées par an sur les vignobles aux U.S.A.
Enquête "Pratiques culturales (2006)	260 000 ha font l'objet d'au moins un passage d'outils à dents (surface vignobles estimée en 2006 : 699 079) soit 37% des surfaces de vigne française.
Bilan : notre choix	une intervention de type travail du sol superficiel par an sur l'ensemble des surfaces de vigne française.
Fertilisation azotée :	
COMIFER, 2012	les besoins en azote de la vigne sont modestes, et régulièrement couverts par le milieu. A l'échelle national il est pratiqué un apport de 30-60 k/ha, pour des productions de 6 à 10 t/ha, ou de 60 à 90 kg/ha, pour des productions de 10 à 25 t/ha, ce qui correspond à un passage d'épandeur par an en moyenne à l'échelle française)
Notre choix	Un apport annuel de 30kgN/ha/an pour ne pas réduire les potentiels de production
Produits phytosanitaires	
Enquête « Pratiques culturales (2006). Agreste Primeur (n°221, 2009)	Nombreux apports de produits phytosanitaires : 15 traitements par an en moyenne à l'échelle française, dont deux désherbants
Notre choix	Deux désherbants par an

Tableau 2-2 : Les pratiques culturales actuelles en situation d'enherbement tous les inter-rangs. Références Institut Français de la Vigne (site : Vignevin) ; ITAB (fiche technique « Viticulture » « L'enherbement de la vigne »

Pratiques culturales	**Détail de la pratique culturale**
Travail du sol	Une préparation superficielle du sol avec un engin de type outil à dents (équivalent à 1 intervention de type travail du sol superficiel) la première année
Semis de l'herbe	Un semis (semoir direct ou non) la première année, (Dans les situations d'enherbement spontané, le semis sera à déduire
Fertilisation azotée :	Une fertilisation azotée/an
Produits phytosanitaires	Un seul désherbage sur le rang/an
Entretien du couvert herbacé	3 tontes/an

Tableau 2-3 : Les pratiques culturales actuelles en situation d'enherbement hivernal temporaire . Références Institut Français de la Vigne (site : Vignevin)

Pratiques culturales	**Détail de la pratique culturale**
Travail du sol	Une préparation superficielle du sol avec un engin de type outil à dents (équivalent à 1 intervention de type travail du sol superficiel) tous les ans
Semis de l'herbe	Un semis (semoir direct ou non) tous les ans (Dans les situations d'enherbement spontané, le semis sera à déduire)
Fertilisation azotée :	Aucune fertilisation azotée, pour des raisons environnementales (fertilisation d'automne = risque de lixiviation des nitrates accrus)
Produits phytosanitaires	Un seul désherbage sur le rang/an (pour détruire le couvert au printemps)
Entretien du couvert herbacé	Aucune tonte (le couvert se développe peu : températures faibles et courte durée de croissance)

2.2. Tableau 2-4 : Différentiel des pratiques selon la situation initiale et l'option technique retenue

Nous avons considéré que les apports de fertilisants et les pratiques agricoles sont identiques lors du passage d'un enherbement un inter-rang sur deux à un enherbement sur tous les inter-rangs.

Situation initiale	sans couvert herbacé	sans couvert herbacé	sans couvert herbacé	Couvert hivernal temporaire
Option technique retenue	2	2	3	2
Types de pratique cultural				
Travail du sol	Année 1 : identique Ensuite : un passage en moins	Année 1 : identique Ensuite : un passage en moins	identique	Année 1 : identique Ensuite : un passage en moins
Semis	Année 1 : un passage en plus Ensuite : identique	Année 1 : un passage en plus Ensuite : identique	Un passage tous les ans supplémentaire	Année 1 : identique Ensuite : un passage en moins
Fertilisation azotée	30 kgN/ha apportés en plus avec autres apports :nombre passages de pulvérisateur identique	30 kgN/ha apportés en plus avec autres apports :nombre passages de pulvérisateur identique	identique : pas apport supplémentaire d'azote	Identique
Désherbage	tous les ans : un traitement et un passage en moins	tous les ans : un traitement et un passage en moins	tous les ans : un traitement et un passage en moins	identique
Entretien du couvert herbacé	tous les ans : 3 tontes supplémentaires	tous les ans : 3 tontes supplémentaires	identique	tous les ans : 3 tontes supplémentaires

Option technique 2 : enherbement permanent tous les inter-rangs

Option technique 3 : couvert hivernal temporaire

La consommation de gazole en lien avec ces pratiques culturales.

Des tracteurs étroits de puissance proche de 65cv à 80cv sont utilisés dans les vergers et les vignes (dans les calculs, la puissance du tracteur retenue est de 70cv). La consommation de gazole moyenne est fonction du type d'intervention, plus élevée lors de travail du sol profond, moins élevée lors de traitements phytosanitaires ou épandage de fertilisants. Les consommations de gazole ont été évaluées (TRAME – BCMA Viti&Arbo, sept 2010) à : 11.9l/ha pour le travail du sol

superficiel : (valeur moyenne calculée à partir de la consommation d'un rotovator 1m : 13.25l/ha et d'un cultivateur 1 m : 10.6l/ha), 4.2l/ha pour le semis, 5.3l/ha pour un passage de pulvérisateur, 8.0l/ha pour le passage d'un gyrobroyeur et 2.7l/ha pour le passage d'un épandeur à engrais centrifuge.
Par soucis de simplification, nous proposons que le passage de la pratique d'enherbement permanent un inter-rang sur deux à un enherbement permanent de tous les inter-rangs, ne conduit pas à une modification des pratiques culturales.

Tableau 2-5 : Descriptions détaillées des évolutions des pratiques culturales et traduction en terme de consommation de gazole (nombre de litres /ha) entre la situation initiale et l'option technique retenue.

Différentiel de pratiques culturales / consommation de gazole (l/ha/an)					
Situation initiale	Sans couvert herbacé	Sans couvert herbacé	Sans couvert herbacé	Couvert hivernal temporaire	Couvert hivernal temporaire
Option technique retenue/ année concernée	2 / année 1	2 / années 2 à 20*	3 / tous les ans	2 / année 1	2 / années 2 à 20*
Travail du sol superficiel	0 / (0)	-1 / (-11.9)	0 / (0)	0 / (0)	-1 / (-11.9)
Semis	+1 / (+4.2)	0 / (0)	+1 / (+4.2)	0 / (0)	-1 / (-4.2)
Fertilisation azotée	0 / (0)	0 / (0)	0 / (0)	0 / (0)	0 / (0)
Désherbage	-1 / (-5.3)	-1 / (-5.3)	-1 / (-5.3)	0 / (0)	0 / (0)
Tonte	+3 / (+24)	+3 / (24)	0 / (0)	+3 / (+24)	+3 / (+24)
Consommation de gazole (l/ha/an) entre la situation initiale et l'application de l'option technique	+22.9	+6.8	-1.1	+24	+7.9

Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire
années 2 à 20* : la période étudiée est 2010-2030, soit 20 années.

Pour simplifier les calculs, la consommation supplémentaire de gazole liée au semis du couvert herbacé en première année sera répartie sur l'ensemble de la période étudiée (soit 20 années),.

Tableau 2-6. Synthèse : Consommation différentielle de gazole entre la situation initiale et l'option technique retenue. Valeur annuelle sur la période étudiée (20 années).

Situation initiale	Sans couvert herbacé	Sans couvert herbacé	Couvert hivernal temporaire
Option technique retenue	2	3	2
Consommation de gazole (l/ha) entre la situation initiale et l'option technique retenue	+7.6	-1.1	+8.7

Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Pour un passage de désherbant de type glyphosate (180 g/l) et une application de 12 l/ha par passage, les émissions induites (liées à la production du désherbant) sont évaluées à 19,41 kgCO_2e/ha/passage (références ADEME 2010, Dia'terre® V.1.33, Base Carbone®).

Annexe 3 : Pratiques d'enherbement actuelles dans les vergers et vignes en France. Justification des choix réalisés. Quantification des surfaces pouvant être potentiellement enherbées.

A. Pratiques d'enherbement actuelles.

Ne disposant pas d'informations détaillées sur les pratiques d'enherbement dans les vergers en 2010, nous proposons de considérer les 8% de surfaces sans couvert herbacé (i.e. sols nus). L'évolution des pratiques pourra se caractériser comme suit :

- Remplacement de surfaces sans couvert herbacé par un couvert permanent sur tous les rangs et les inter-rangs
- Ne pas apporter de fertilisants minéraux.

Ce choix se justifie car l'implantation d'un couvert herbacé est une technique maitrisée par les arboriculteurs fruitiers puisque largement généralisée en France, et les conditions pédoclimatiques ne semblent pas être limitantes car des vergers déjà enherbés se trouvent à la fois dans des régions dont le climat est chaud et sec (sud France) et dans des zones dont les sols présentent une forte charge en éléments grossiers. Un sol à forte charge en éléments grossiers correspond soit à un sol présentant un taux de graviers (de diamètre inférieur à 7.5cm) supérieur à 35%, soit à un sol sur lequel il a été noté la présence de pierres (de taille sup à 7.5cm) rendant impraticables les opérations mécaniques, soit à un sol présentant ces deux caractéristiques) – 92% des surfaces des vergers (correspondant aux 32 départements français ayant une surface de vergers supérieure à 1 000 ha) présentent une charge moyenne en éléments grossiers de 37% (valeur minimale = 2% ; valeur maximale = 93% : Référence Corine land cover, 2006).
La quantification des surfaces de vignobles est détaillée dans le tableau 3-1. L'estimation de la surface totale des vignes en 2010 s'élève à 687 987 ha, dont 415 858 ha sont enherbées.

Tableau 3-1 : Estimation des surfaces (ha) dédiées aux différentes pratiques d'enherbement des vignes dans les différents vignobles. Valeurs calculées à partir des données 2006 et actualisée avec les valeurs SAA 2010.

Vignobles (départements)	Surface totale des vignobles	Enherbement permanent	Enherbement permanent tous les inter rangs	Enherbement permanent 1 inter-rang /2	Couvert hivernal temporaire	Sans couvert herbacé
Alsace (67. 68)	15 803	948	3 477	9 166	316	1 896
Beaujolais (69)	18 950	948	3 222	569	1 327	12 886
Bordelais (33)	122 000	9 760	42 700	45 140	13 420	10 980
Bourgogne (21. 58.71 .89)	31 560	947	3 787	1 578	14 202	11 046
Champagne (10. 11. 51)	31 699	1 585	1585	634	4 121	23 774
Charentes (16. 17. 79. 86)	83 485	2 505	20 871	27 550	25 880	6 679
Lang-Rous* (11 .30 .34 . 48. 66)	235 306	9 412	18 824	14 118	54 120	138 821
PACA** (04. 05. 06. 13. 83. 84)	90 088	3 604	3 604	6 306	30 630	45 945
Val de Loire (18. 37. 41. 44. 49. 72. 85)	59 096	3 546	15 365	4 137	15 956	20 093

*Languedoc-Roussillon - **Provence Alpes Cote d'Azur

B : Prise en compte des conditions limitantes pour l'enherbement des vignes en France.

Nous proposerons d'implanter un couvert hivernal dans les zones viticoles à « stress hydriques » élevés (par ex. régions du Languedoc-Roussillon et PACA).
Nous ne proposerons pas d'enherber les vignobles présentant une forte charge en cailloux. Elle a été prise en compte dans nos calculs de la façon suivante. Dans chaque région viticole, nous faisons l'hypothèse que les surfaces dont les sols ont une forte charge en éléments grossiers correspondent déjà aux surfaces des vignes non enherbées, puis à celles des vignes ayant un couvert hivernal, et enfin à celles des vignes ayant un enherbement permanent un inter-rang sur deux (c'est-à-dire des surfaces où les pratiques sont de plus en plus intensives). L'estimation des surfaces se fera à partir des données SAA 2010 et des données issues de Corine land cover 2006. Les surfaces ayant une forte charge en éléments grossiers (Corine land cover, 2006) sont calculées dans le tableau 3-2 à partir des données SAA 2010.
Tableau 3-2 : Surfaces (ha) des vignobles de France en 2010 (SAA). Estimation des surfaces (ha) ayant une forte charge en éléments grossiers (Corine land cover, 2006).

Vignobles (départements)	Surfaces (ha) totale du vignoble	% du vignoble avec une forte charge en éléments grossiers (Corine land cover 2006)	Surface équivalente avec une forte charge en éléments grossiers (Corine land cover 2006)
Alsace (67. 68)	15 803	8.20	1 295
Beaujolais (69)	18 950	84.56	16 024
Bordelais (33)	122 000	2.07	2 526
Bourgogne (21. 58.71 .89)	31 560	22.17	6 997
Champagne (10. 11. 51)	31 699	89.13	28 253
Charente (16. 17. 79. 86)	83 485	67.31	56 194
Lang-Rous* (11 .30 .34 . 48. 66)	235 306	39.11	92 019
PACA** (04. 05. 06. 13. 83. 84)	90 088	23.92	21 545
Val de Loire (18. 37. 41. 44. 49. 72. 85)	59 096	22.57	13 335

*Languedoc-Roussillon - **Provence Alpes Côte d'Azur

La largeur des inter-rangs doit être supérieure à 100-120 cm pour ne pas limiter l'accès des parcelles aux engins agricoles. Contrairement aux structures palissées, une vigne taillée en gobelet diminuera l'accessibilité mécanique de l'inter-rang. L'ensemble de ces conditions limitantes doivent être déclinées de façon spécifique sur chacun des vignobles.

Dans les régions viticoles d'Alsace, du Bordelais et de Charente, les conditions climatiques de type continental ou atlantique ne sont pas limitantes, les charges en éléments grossiers ne sont pas élevées et les pratiques d'enherbement semblent bien maitrisées. Les surfaces enherbées sont très élevées et correspondent (toutes options d'enherbement comprises) à 88%, 91% et 92% respectivement pour chacune de ces régions. Nous proposons un enherbement permanent entre tous les inter-rangs (option technique 2) dans les vignobles d'Alsace et du Bordelais sur toutes les surfaces dont la charge en éléments grossiers « n'est pas forte ». Les surfaces non enherbées seraient de 1 295ha et 2 526 ha respectivement dans ces deux vignobles.

Pour le vignoble de Charente, les surfaces où la charge en éléments grossiers est importante (56 194 ha, soit 67.31% du vignoble). Nous proposons de ne pas modifier les pratiques sur : les surfaces de vignes non enherbées (6 679ha), sur les surfaces assignées aux couverts hivernaux (25 880ha) et sur une partie du vignoble (23 635ha) où les pratiques correspondent à un enherbement permanent un inter-rang sur deux (total = 28 253ha). Sur le reste des surfaces il sera proposé un enherbement permanent sur tous les inter-rangs (option technique 2).

La région du Val-de-Loire se situe dans des conditions climatiques non limitantes (zone à climat atlantique) où la pratique de l'enherbement est moins développée (66% des surfaces du vignoble, toutes options d'enherbement comprises). Les surfaces à forte charge en éléments grossiers correspondent à 22.57% du vignoble. Comme l'acquisition et la mise en œuvre des techniques d'enherbement ne semblent pas être un frein dans cette région (vignes hautes) nous proposons de ne pas enherber les surfaces non enherbées, à hauteur des surfaces présentant une forte charge en éléments grossiers (soit 6 757ha), et de faire évoluer les couverts hivernaux et l'enherbement permanent un inter-rang sur deux vers un enherbement permanent de tous les inter-rangs (option technique 2).

La région de Bourgogne, caractérisée par un climat de type continental, permet l'implantation de couverts herbacés. Les caractéristiques d'enherbement sont proches de celles de la région Val-de-Loire (65% du vignobles est enherbé, toutes options d'enherbement confondues). Les surfaces présentant une forte charge en éléments grossiers s'élèvent à 22.17%. Toutefois, les densités de ceps/m² très élevées, limitant les interventions techniques, permet de comprendre le peu d'engouement pour la pratique de l'enherbement (cette densité permet de respecter les quotas de production). Si des pratiques d'enherbement sont proposées, elles devront être accompagnées d'une réduction de densité pour maintenir les potentiels de production. Dans cette région, nous proposons de ne pas enherber les 6 997ha présentant une forte charge en éléments grossiers, et un enherbement permanent de tous les inter-rangs (option technique 2) sur les autres surfaces.

Dans la région du Beaujolais, les surfaces en éléments grossiers sont très élevées (84.56% du vignoble soit 16024ha). L'adoption de l'enherbement des vignes semble délicat d'autant qu'il passerait par des modifications des pratiques agricoles actuelles importantes : arrachage de pieds car distance faible entre rangs limitant le passage des engins mécaniques ; modification des pratiques de taille car en gobelet. Nous ne prévoyons donc aucune augmentation de l'enherbement dans cette région.

Avec 25% du vignoble, la région de Champagne se caractérise par un taux d'enherbement faible. Les surfaces à forte charge en éléments grossiers sont élevées : 89.13% du vignoble (28 253ha). La taille de type gobelet et la distance entre les rangs faible sont autant de freins à l'enherbement. La surface moyenne des domaines viticoles peu élevée (2.52 ha pour une moyenne nationale de 6.6ha en 2006) permet toutefois d'envisager le recours à des interventions « manuelles » plus régulièrement (par exemple : utilisation de tondeuses de petite taille malgré le faible écartement des inter-rangs) et à des pratiques plus régulières de l'enherbement. Les conditions climatiques n'étant pas limitantes (climat continental), et l'enherbement pouvant se révéler salutaires du point de vue parasitaire spécifiquement dans cette région, nous proposons un enherbement permanent de tous les inter-rangs (option technique 2) sur toutes les surfaces ne présentant pas une forte charge en éléments grossiers.

Pour les régions du Languedoc-Roussillon ou de PACA, localisées dans une zone de climat méditerranéen, le frein principal à l'enherbement est la concurrence pour l'eau et les éléments minéraux. Les surfaces avec une forte charge en éléments grossiers sont de 39.11% et 23.92% respectivement. Dans ces régions, nous ne proposerons pas d'enherber les surfaces avec une forte charge en éléments grossiers, et la pratique de l'enherbement hivernal sur les surfaces non enherbées sera conseillée (option technique 3). Cette pratique est moins concurrentielle sur la totalité de la surface des domaines concernés par des problèmes de sécheresse (« Les vignoble ; de nouveaux réservoirs de biodiversité » du n°291 de Faune Sauvage (2011).
La synthèse des options techniques retenues pour chacune des régions viticole est décrite dans le tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Synthèse des options techniques retenues dans chacun des domaines viticoles

Vignobles (départements)	Options techniques retenues
Alsace (67. 68)	2 sur l'ensemble du vignoble : 14 508 ha
Beaujolais (69)	aucune évolution des surfaces enherbées
Bordelais (33)	2 sur l'ensemble du vignoble : 119 474 ha
Bourgogne (21. 58.71 .89)	2 sur l'ensemble du vignoble : 24 563 ha
Champagne (10. 11. 51)	2 sur l'ensemble du vignoble : 3 446 ha
Charente (16. 17. 79. 86)	2 sur l'ensemble du vignoble : 27 291 ha
Lang-Rous* (11 .30 .34 . 48. 66)	3 sur l'ensemble du vignoble : 143 287 ha
PACA** (04. 05. 06. 13. 83. 84)	3 sur l'ensemble du vignoble : 68 543 ha
Val de Loire (18. 37. 41. 44. 49. 72. 85)	2 sur l'ensemble du vignoble : 45 761 ha

*Languedoc-Roussillon - **Provence Alpes Cote d'Azur
Option technique 2 : Enherbement permanent sur tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Les surfaces concernées par les évolutions des options techniques pour chaque région viticole sont détaillées dans le tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Surfaces (ha) concernées par les évolutions des pratiques d'enherbement et de fertilisation azotée minérale pour chaque région viticole (base SAA, 2010)

Situation en 2010 *Fertilisation N*	Enherb. perm *1	Enh Perm *2 *Fertil.* N	Enh Perm *2 *Fertil N*	Couv hiv temp *3 *Non fertil.*	Couv hiv temp *3 *Non fertil.*	Sans couvert herbacé *Non fertil.*	Sans couvert herbacé *Non fertil.*	Sans couvert herbacé *Non fertil*
Op Tech Proposée *Variation de fertilisation N*	1 / 2 *Non modifiée*	2 *Non modifiée*	2 *Non modifiée*	2 *Fertil. N supp*	3 *Non modifiée*	2 *Fertil. N supp*	3 *Fertil.N identique*	Sans couvert *Non modifiée*
Vignobles (départements)								
Alsace (67. 68)	4 425	9 166	0	316	0	601	0	1 295
Beaujolais (69)	4 169	0	0	0	0	0	0	0
Bordelais (33)	52 460	45 140	0	13 420	0	8 454	0	2 526
Bourgogne (21. 58.71 .89)	4 734	1 578	0	14 202	0	4 049	0	6 997
Champagne (10. 11. 51)	3 170	276	358	0	4 121	0	0	23 774
Charente (16. 17. 79. 86)	23 376	3 915	23 635	0	25 880	0	0	6 679
Lang-Rous* (11 .30 .34 . 48. 66)	28 237	0	14 118	0	54 120	0	46 812	92 019
PACA** (04. 05. 06. 13. 83. 84)	7 207	0	6 306	0	30 630	0	24 440	21 545
Val de Loire (18. 37. 41. 44. 49. 72. 85)	18 911	4 137	0	15 956	0	6 757	0	13 335
Total France	**146 689**	**64 212**	**44 417**	**43 894**	**114 751**	**19 861**	**71 252**	**168 170**

*Languedoc-Roussillon - **Provence Alpes Cote d'Azur
*1 : enherbement permanent sur tous les rangs et le inter rangs, et sur tous les inter-rangs
*2 : enherbement permanent un inter rang sur deux
*3 : couvert hivernal temporaire
Option technique 1 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs et sur les rangs
Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Annexe 4 : Détails des calculs pour quantifier les atténuations/augmentations des émissions de GES liées à la sous-action "cultures intermédiaires".

1. Quantification des surfaces où des cultures intermédiaires peuvent être implantées.

Les caractéristiques granulométriques physiques des sols peuvent limiter l'implantation de cultures intermédiaires. Au-delà d'une teneur en argile des sols de 60%, les labours d'hiver sont impraticables (Etude "Cultures intermédiaires" INRA 2012) et la préparation des semis de la culture de printemps suivante peut être compromise. En conséquence, les options techniques 2 (implanter des cultures intermédiaires) et 3 (favoriser les repousses du précédent cultural) ne peuvent être retenues. La localisation et la quantification de ces surfaces ont été fournies par CORINE Land Cover (2006). Cet outil se caractérise par trois principes fondamentaux adoptés à l'échelle européenne, dont la définition de la superficie minimale des unités cartographiées soit 25 hectares. Avec cette surface de maille élémentaire, l'extraction des données à l'échelle de la France ne permettra ni de localiser ni de quantifier les parcelles de taille inférieure à 25 hectares dont la teneur en argile est supérieure à 60%. Les résultats surestiment les surfaces potentielles sur lesquelles des cultures intermédiaires peuvent être implantées.
Deux départements présentent des parcelles d'au moins 25 hectares dont la teneur en argile est supérieure à 60% : - Loire Atlantique (44) avec 0.30% de la surface totale en cultures arables,
- Puy de Dôme (63) avec 5.78% de la surface totale en cultures arables.
Elles seront soustraites des surfaces pouvant potentiellement être assignées aux cultures intermédiaires longues.

2. Réduction de la fertilisation azotée suite à l'adoption de l'option technique 1 (prioriser l'implantation de mélanges à base de légumineuses et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante)

* Zones vulnérables

Tableau 4-1 : Surfaces assignées aux différentes espèces de cultures intermédiaires sur les zones vulnérables et réductions équivalentes des apports de fertilisants azotés en France

	Surfaces françaises (ha)	Réduction de la quantité d'azote (kg) apportée sur la culture suivante
Espèces de printemps[1] (SAA 2010)	5 160 966	
Espèces de printemps[1] (SAA 2010) sur zones vulnérables (2007)	3 361 406	
Teneur en argile supérieure à 60%	326	
Potentielles pour cultures intermédiaires (moins surfaces trop "argileuses; -20% surfaces de repousses)	2 688 864	
Potentielles pour cultures intermédiaires composée de légumineuses (15%)	403 330	8 066 591
Potentielles pour cultures intermédiaires crucifères (68%)	1 828 427	18 284 275
Potentielles pour cultures intermédiaires phacélie (6%)	161 332	806 659
Potentielles pour cultures intermédiaires avoine (11%)	295 775	1 478 875

[1] : betterave alimentaire et non alimentaire, céréales de printemps (avoine, blé tendre, blé dur, orge), maïs grain, maïs fourrage, pois de printemps pomme de terre, soja, sorgho, tournesol alimentaire et non alimentaire

La réduction totale annuelle de fertilisation azotée est évaluée à environ 28 636t/an sur les zones vulnérables.

* Zones non vulnérables

Tableau 4-2 : Surfaces assignées aux différentes espèces de cultures intermédiaires sur les zones non vulnérables et réductions équivalentes des apports de fertilisants azotés en France

	Surfaces Françaises (ha)	Réduction de la quantité d'azote (kg) apportée sur la culture suivante
Espèces de printemps[1] (SAA 2010) sur zones non vulnérables (2007)	1 799 560	
Teneur en argile supérieure à 60% sur zones non vulnérables (2007)	32 102	
Surfaces de repousses existantes	**234 818**	
Surfaces de cultures intermédiaires existantes (7.8% des surfaces)	**140 366**	
Potentielles pour cultures intermédiaires composées de légumineuses (15%)	21 055	421 097
Potentielles pour cultures intermédiaires crucifères (68%)	95 449	954 489
Potentielles pour cultures intermédiaires avoine (11%) et phacélie (6%)	15 440+ 8 422	77 201+ 42 110
Potentielles pour cultures intermédiaires et repousses (moins surfaces trop argileuses)	**1 422 561**	
Potentielles pour nouvelles repousses	**352 131**	
Potentielles pour nouvelles cultures intermédiaires	**1 070 430**	
Potentielles (B) + Potentielles (A) + Potentielles (C)	664057+75018+331354	
Potentielles pour cultures intermédiaires composées de légumineuses (15%)	160 565	3 211 289
Potentielles pour cultures intermédiaires crucifères (68%)	727 892	7 278 924
Potentielles pour cultures intermédiaires avoine (11%) et phacélie (6%)	117 747+ 64 226	588 736+ 321 129

[1] : betterave alimentaire et non alimentaire, céréales de printemps (avoine, blé tendre, blé dur, orge), maïs grain, maïs fourrage, pois de printemps pomme de terre, soja, sorgho, tournesol alimentaire et non alimentaire

La réduction totale annuelle de fertilisation azotée est évaluée à environ 1 495t/an et 11 400 t/an respectivement pour les surfaces de cultures intermédiaires existantes et nouvelles cultures intermédiaires, soit un total de près de 12 895t/an sur les zones non vulnérables.

3. Modifications des pratiques culturales : zones non vulnérables concernées par l'implantation de « nouvelles » cultures intermédiaires (A+B+C) et par les « nouvelles » repousses.

La consommation de gazole supplémentaire

Surfaces assignées à de « nouvelles » cultures intermédiaires :

- précédent cultural broyé sur 48% des surfaces (plus 2.7l/ha), sur 29% des surfaces les résidus sont exportés (plus 14.1l/ha), sur les 28% restant rien n'est fait
- semis sur toutes les surfaces (plus 1.6l/ha)
- roulage sur toutes les surfaces (plus 3.1l/ha)
- destruction par labour sur 80% des surfaces (plus 16.9l/ha) et par désherbage chimique sur 20% des surfaces (plus 1.2l/ha)

Surfaces assignées à de « nouvelles » repousses :

- roulage sur toutes les surfaces (plus 3.1l/ha)
- destruction par labour sur 80% des surfaces (plus 16.9l/ha) et par désherbage chimique sur 20% des surfaces (plus 1.2l/ha)

Tableau 4-3 : Surfaces assignées aux nouvelles cultures intermédiaires et à de nouvelles repousses sur les zones non vulnérables. Conséquences en terme de consommation de gazole (l) à l'échelle de la France

	Surfaces françaises (ha)	Consommation de gazole supplémentaire (l) par an
Espèces de printemps[1] (SAA 2010) sur zones non vulnérables (2007)	1 799 560	
Teneur en argile supérieure à 60% sur zones non vulnérables (2007)	32 102	
Surfaces de cultures intermédiaires existantes (7.8% des surfaces)	140 366	
Potentielles pour cultures intermédiaires et repousses	1 657 379	
Potentielles pour nouvelles repousses	352 131	5 936 922
Potentielles pour nouvelles cultures intermédiaires	1 070 430	
Potentielles (B) + Potentielles (A) + Potentielles (C)	664 057+75 018+331 354	25 384 352

[1] : betterave alimentaire et non alimentaire, céréales de printemps (avoine, blé tendre, blé dur, orge), maïs grain, maïs fourrage, pois de printemps pomme de terre, soja, sorgho, tournesol alimentaire et non alimentaire

La consommation annuelle supplémentaire de gazole s'élève à 31 321 274 l à l'échelle de la France.

La consommation de désherbant supplémentaire

Surfaces assignées à de « nouvelles » repousses et à de « nouvelles » cultures intermédiaires :

- destruction par désherbage chimique sur 20% des surfaces (mélange 1l/ha d'Aminugec 600 et de 2.5l/ha de glyphosate : type round up 480).

Tableau 4-4 : Surfaces assignées aux nouvelles cultures intermédiaires et à de nouvelles repousses sur les zones non vulnérables. Conséquences en terme de consommation de désherbant à l'échelle de la France

	Surfaces françaises (ha)	Consommation de d'aminugec 600 (l) par an	Consommation de glyphosate (l) par an
Potentielles pour nouvelles repousses	352 131	70 426	176 066
Potentielles pour nouvelles cultures intermédiaires	1 070 430	214 086	535 215

[1] : betterave alimentaire et non alimentaire, céréales de printemps (avoine, blé tendre, blé dur, orge), maïs grain, maïs fourrage, pois de printemps pomme de terre, soja, sorgho, tournesol alimentaire et non alimentaire

Les consommations annuelles supplémentaires d'aminugec 600 et de glyphosate s'élèvent respectivement à 284 512 l et 711 281 l à l'échelle de la France.

4. Quantification des émissions directes et indirectes liées aux pratiques culturales lors de l'adoption de l'option technique 2 (implanter des cultures intermédiaires)

La quantification des émissions directes et induites en amont liées aux pratiques agricoles pour l'option technique 2 selon les pratiques culturales retenues sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 4-5 : Inventaire quantitatif des émissions directes et induites en amont liées aux pratiques agricoles pour l'option technique 2 selon les pratiques culturales retenues.

Modifications des pratiques agricoles	Surface concernée (%)	Quantité de gazole consommée (l/ha/an)	Emissions directes ($kgCO_2e$/ha/an) liées au gazole[1]	Emissions induites en amont ($kgCO_2e$/ha/an) liées au gazole[2]	Emissions induites en amont ($kgCO_2e$/ha/an) liées à l'utilisation de désherbant[3]
broyage résidus, semis CI, roulage, destruction mécanique	43X80 = **34.4**	2.7+1.6+3.1+16.9 = 24.3	22.49	4.71	
broyage résidus, semis CI, roulage, destruction chimique	43X20= **8.6**	2.7+1.6+3.1+1.2= 8.6	1.99	0.42	1.36
enlèvement résidus, semis CI, roulage, destruction mécanique	29X80= **23.3**	14.1+1.6+3.1+16.9= 33.6	21.06	4.41	
enlèvement résidus, semis CI, roulage, destruction chimique	29X20= **5.8**	14.1+1.6+3.1+1.2= 20	3.12	0.65	0.92
semis CI, roulage, destruction mécanique	28X80= **22.4**	1.6+3.1+16.9= 21.6	13.02	2.72	
semis CI, roulage, destruction chimique	28X20= **5.6**	1.6+3.1+1.2= 5.9	0.89	0.19	0.89

[1] Réf. ADEME Dia'terre® V.1.33, base 2.69 $kgCO_2e$/l
[2] Réf. ADEME, Dia'terre® V.1.33,, base 0.563 $kgCO_2e$/l
[3] Réf. ADEME, Dia'terre® V.1.33 Ges'tim, 2010, base 15.87 $kgCO_2e$/ha/an

Les émissions unitaires liées aux évolutions des pratiques culturales autres que la fertilisation azotée s'élèvent :
- pour les émissions directes : 63 $kgCO_2e$/ha/an,
- pour les émissions induites : 79 $kgCO_2e$/ha/an.

5. Quantification des émissions directes et indirectes liées aux pratiques culturales lors de l'adoption de l'option technique 3 (favoriser les repousses)

La quantification des émissions directes et induites en amont liées aux pratiques agricoles suite à l'adoption de l'option technique 3 selon les pratiques culturales retenues sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 4-6 : Inventaire quantitatif des émissions directes et induites liées aux pratiques agricoles, suite à l'adoption de l'option technique 3 selon les pratiques culturales retenues.

Modifications des pratiques agricoles	roulage + destruction par labour	roulage+ destruction avec désherbant
Surface concernée (%)	80	20
Quantité de gazole consommée (l/ha/an)	3.1+16.20 = **20**	3+2= **4**
Emissions directes ($kgCO_2e$/ha/an) liées au gazole consommé [1]	54	12
Emissions induites en amont ($kgCO_2e$/ha/an) liées au gazole consommé [2]	11	2
Emissions induites en amont ($kgCO_2e$/ha/an) liées à l'utilisation de désherbant [3]		16

[1] Réf. ADEME Dia'terre® V.1.33, base 2.69 $kgCO_2e$/l
[2] Réf. ADEME, Dia'terre® V.1.33,, base 0.563 $kgCO_2e$/l
[3] Réf. ADEME, Dia'terre® V.1.33 Ges'tim, 2010, base 15.87 $kgCO_2e$/ha/an

Les émissions unitaires liées aux évolutions des pratiques culturales autres que la fertilisation azotée s'élèvent pour :
- les émissions directes : 45 $kgCO_2e$/ha/an,
- les émissions induites : 58 $kgCO_2e$/ha/an.

Annexe 5 : Détails des calculs pour quantifier les potentiels d'atténuations unitaires et sur l'assiette maximale technique de la sous-action "cultures intermédiaires".

Option technique 1 : Implanter des espèces spécifiques de cultures intermédiaires, et réduire la fertilisation azotée de la culture de printemps suivante

		CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert"	Calcul "expert"	Calcul "expert"
	Quantité	Facteur de conversion $kgCO_2e/kg$	Flux de CO_2 unitaire $tCO_2e/ha/an$	Flux de CO_2 (AMT : 2 829 230ha) tCO_2e/an	Facteur de conversion $kgCO_2e/kg$	Flux de CO_2 unitaire $tCO_2e/ha/an$	Flux de CO_2 (AMT : 2 829 230ha) tCO_2e/an
Fertilisation azotée sur les cultures de printemps suivante	-0.011 t/ha/an						
Directes : Emission N_2O		5.48	-0.058		4.21	-0.045	
Indirectes : Lixiviation nitrate		3.65	-0.039		1.05	-0.011	
Indirectes : Dépôts ammoniac		0.49	-0.005		0.47	-0.005	
Emissions directes et indirectes : Sous total			-0.102	-289 863		-0.061	-172 652
Fertilisation azotée sur les cultures de printemps suivante	-0.011 t/ha/an	5.31	-0.056		5.31	-0.056	
Emissions induites en amont :Sous total			-0.056	-159 847		-0.056	-159 847
Total : Emissions directes, indirectes et induites			**-0.159**	**-449 710**		**-0.118**	**-332 499**

Option technique 2 : Implanter des cultures intermédiaires longues et réduire la fertilisation azotée de la culture suivante - AMT:1070430ha

		CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" valeur basse stockage C (1)	1	1	Calcul "expert" valeur haute stockage C (2)	2	2
	Quantités	Facteur de conversion	Flux de CO_2 $tCO_2e/ha/an$	Facteur de conversion	Flux de CO_2 $tCO_2e/ha/an$	Flux de CO_2 AMT tCO_2e/an	Facteur de conversion	Flux de CO_2 $tCO_2e/ha/an$	Flux de CO_2 : AMT tCO_2e/an
Fertilisation azotée sur les cultures de printemps suivante	-0.01065 t/ha/an								
Directes : Emission N_2O		5.48 $kgCO_2e/kg$	-0.058	4.21 $kgCO_2e/kg$	-0.045		4.21 $kgCO_2e/kg$	-0.045	
Indirectes : Lixiviation nitrate		3.65 $kgCO_2e/kg$	-0.039	1.05 $kgCO_2e/kg$	-0.011		1.05 $kgCO_2e/kg$	-0.011	
Indirectes : Dépôts ammoniac		0.49 $kgCO_2e/kg$	-0.005	0.47 $kgCO_2e/kg$	-0.005		0.47 $kgCO_2e/kg$	-0.005	
Stockage carbone**				**0.480** $tCO_2e/ha/an$	-0.480		**1.265** $tCO_2e/ha/an$	-1.265	
Consommation de gazole		2.69 $tCO_2e/m3$	0.062	2.69 $tCO_2e/m3$	0.062		2.69 $tCO_2e/m3$	0.062	
Emissions directes et indirectes : Sous total			-0.041		-0.479	-512 901		-1.264	-1 353 189
Fertilisation azotée sur les cultures de printemps suivante	-0.01065 t/ha/an								
Emission N2O		5.31 $kgCO_2e/kg$	-0.056	5.31 $kgCO_2e/kg$	-0.056		5.31 $kgCO_2e/kg$	-0.056	
Consommation de gazole	0.023 m3/ha/an	0.56 $tCO_2e/m3$	0.013	0.56 $tCO_2e/m3$	0.013		0.56 $tCO_2e/m3$	0.013	
Consommation de désherbant*	**1** m3/ha/an	0.00317 $tCO_2e/m3$	0.003	0.00317 $tCO_2e/m3$	0.003		0.00317 $tCO_2e/m3$	0.003	
Emissions induites en amont : Sous total			-0.040		-0.040	-43 219		-0.040	-43 219
Total : Emissions directes, indirectes et induites			**-0.081**		**-0.520**	**-556 120**		**-1.305**	**-1 396 408**

Option technique 3 : Favoriser les repousses des cultures - AMT (352 131ha)

Calcul selon l'inventaire CITEPA 2010

	Flux de CO_2	Flux de CO_2 (AMT)
	tCO_2e/ha/an	tCO_2e/an
Consommation de gazole en plus (directes)		
Consommation de désherbant supplémentaire*		
Emissions directes et indirectes : Sous total	0.045	15 970
Consommation de gazole en plus (directes)		
Consommation de désherbant supplémentaire*		
Emissions induites en amont : Sous total	0.013	4 460
Total : Emissions directes, indirectes et induites	**0.058**	**20 430**

Annexe 6 : Données financières. Sous-action "cultures intermédiaires". Calculs des coûts associés aux évolutions des pratiques agricoles.

Tableau 6-1 : Conséquences financières de l'adoption de l'option technique 1 (modification de la répartition des espèces de cultures intermédiaires et réduction de la fertilisation azotée) et conséquences sur les coûts de fertilisant (la valeur négative indique un gain)

Fertilisation	variation dose (kg N/ha/an)	Forme azote	prix engrais (€/kg N)	variation coût du fertilisant (€/ha)	% dans un ha type de "nouvelle répartition"	Total (€/ha/an)
cultures intermédiaires composées de légumineuses	-20	nitrate d'ammonium 33%	0,911	-18,22	15%	-2,73
cultures intermédiaires crucifères+ phacélie	-10	nitrate d'ammonium 33%	0,911	-9,11	68%	-6,20
cultures intermédiaires avoine	-5	nitrate d'ammonium 33%	0,911	-4,555	17%	-0,77
TOTAL (€/ha/an)						**-9,70**

Tableau 6-2 : Conséquences financières de l'adoption de l'option technique 3 (favoriser la croissance et le développement des repousses) et conséquences sur les coûts liées aux pratiques culturales supplémentaires (la valeur positive indique une charge)

Nombres de passages					Désherbants					Total (€/ha/an)
Variation nombre de passages suite à l'adoption de l'option technique 3	type	coût (€/ha)	% surface concerné	variation coût passage (€/ha)	variation dose (l/ha)	produit	prix (€/l)	% surface concernée	variation coût désherbant	
+ 1	labour des cultures intermédiaires	82,73	80%	66,184	1	Aminugec 600	6,021	20%	1,2042	67,39
+ 1	Pulvérisation désherbant	10,84	20%	2,168	2,5	Glyphosate	3,2	20%	1,6	3,77
+ 1	Roulage des cultures intermédiaires	19,15	100%	19,15						19,15
TOTAL (€/ha/an)										**90,31**

Tableau 6-3-a : Coût des différentes interventions culturales ayant servi à calculer le coût unitaire de chacune des 3 options techniques de la sous-action « Cultures intermédiaires »

Opérations culturales	Options	Matériel	Coût du passage (€/ha)
Gestion des résidus du précédent	Broyage	tracteur 120cv 4RM+ déchaumeur rapide à disques	28,23
	Enlèvement		146,76
		Tracteur 80cv 4RM+ faneuse andaineuse 3m	*27*
		Tracteur 80cv 4RM+ presse 120 diam	*64*
		Tracteur 80cv 4RM+ remorque autochargeuse 35m3	*55,76*
Semis CI		Tracteur 80cv 4RM+ épandeur centrifuge 7-9m	11,63
Roulage CI		Tracteur 80cv 4RM+ rouleau croskill 4m	19,15
Destruction CI	Chimique	tracteur 80cv 4RM+ pulvérisateur 18m	10,84
	Mécanique	tracteur 120cv 4RM+ charrue portée 3 corps	82,73

Tableau 6-3-b : Coût des différents intrants ayant servi à calculer le coût unitaire de chacune des 3 options techniques de la sous-action « Cultures intermédiaires »

Produit	unité	Prix (€/unité)
Nitrate d'ammonium 33%	uN	0.911
Aminugec 600	L	6.02
Glyphosate	L	3.20
Vesce 2009	kg	2.25
Moutarde SEM Partners	kg	2.25
Avoine Seigle	kg	1
Phacélie	kg	3.50

Tableaux 6-4 : Calculs économiques de la sous action "cultures intermédiaires". A : Calcul de la surface de l'assiette maximale technique. B : Calcul du coût économique sur l'assiette maximale technique et coût unitaire C : Calcul du cumul des surfaces sur la période 2010-20130. D: Coût de la sous action cultures intermédiaires sur la période 2010-2030.

		Surface (ha)	Surface (ha)	Cumul surfaces 2010-2030 (ha)	Cumul surfaces 2010-2030 (ha)	Coûts pour 2030 (€)	Coûts pour 2030 (€)	Coûts cumulés (€) 2010-2030	Coûts cumulés (€) 2010-2030
situation de départ		Zones vulnérables	Zones non vulnérables	Zones vulnérables	Zones non vulnérables	Zones vulnérables	Zones non vulnérables	Zones vulnérables	Zones non vulnérables
cultures intermédiaires		2 688 864	140 366	27 958 772	1 517 253	-26 087 762	-1 361 852	-271 260 200	-14 720 616
Repousses		idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem
sol nu	céréales à pailles	-	352 131		343 730 502		3 806 278		343 730 502
	autres précédents		1 070 470		1 833 202 108		11 570 563		1 833 202 108

Surface de l'assiette maximale technique : 4 251 791 ha Surface cumulée toutes options confondues : 44852866ha

Coût unitaire de la sous-action "cultures intermédiaires : 40.91€/ha/an Coût total de la sous-action: 173 945 422€ - Coût cumulé toutes options confondues = 1890951794€

Tableaux 6-5 : Calculs économiques de la sous-action "cultures intermédiaires". Coûts d'abattement selon différents scénarios. Valeurs calculées pour l'AMT (4 251 791 ha) en 2030

	CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" valeur basse stockage de C	Calcul "expert" valeur basse stockage de C	Calcul "expert" valeur basse stockage de C	Calcul "expert" valeur haute stockage de C	Calcul "expert" valeur haute stockage de C	Calcul "expert" valeur haute stockage de C
	tCO_2e/an	Atténuation unitaire tCO_2e/ha/an	Coût d'abattement €/tCO_2e évitée	tCO_2e/an	Atténuation unitaire tCO_2e/ha/an	Coût d'abattement €/tCO_2e évitée	tCO_2e/an	Atténuation unitaire tCO_2e/ha/an	Coût d'abattement €/tCO_2e évitée
Emissions totales directes et indirectes	317 334	0.075	548	669 583	0.157	260	1 509 871	0.355	115
Emissions totales directes, indirectes et induites	515 939	0.121	337	868 189	0.204	200	1 708 476	0.402	102

Annexe 7: Détails des calculs pour quantifier les potentiels d'atténuations unitaires et sur l'assiette maximale technique de la sous-action "cultures intercalaires

1. Adoption de l'option technique 1 (enherbement total, entre les rangs et sur tous les inter-rangs) à partir d'une parcelle non enherbée : Vergers - AMT = 13 845ha

	CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" Valeur basse stockage C (1)	(1)	(1)	Calcul "expert" Valeur haute stockage C (2)	(2)	(2)
	Flux de CO_2 tCO2e/ha/an	Flux de CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur de conversion tCO2e/ha/an	Flux de CO_2 tCO2e/ha/an	Flux de CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur de conversion tCO2e/ha/an	Flux de CO_2 tCO2e/ha/an	Flux de CO_2 AMT tCO2e/an
stockage de carbone			**-0.844**	-0.844		**-2.753**	-2.753	
Emissions directes et indirectes : Sous total	0.000	0		-0.844	-11 685		-2.753	-38 103
Emissions induites en amont								
Sous total	0.000	0		0.000	0		0.000	0
Total : Emissions directes, indirectes et induites		**0.000**		**-0.844**	**-11 685**		**-2.753**	**-38 103**

2. Adoption de l'option technique 2 (couvert permanent sur tous les inter-rangs) à partir d'une parcelle sans couvert herbacé - AMT = 19 861ha

	CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" Valeur basse stockage C (1)	(1)	(1)	Calcul "expert" Valeur haute stockage C (2)	(2)	(2)
	Quantité	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e /ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e /ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an
Fertilisation azotée t/ha	0.030									
Emission N_2O		5.48 $kgCO_2e/kg$	0.164		4.21 $kgCO_2e/kg$	0.126		4.21 $kgCO_2e/kg$	0.126	
Lixiviation nitrate		3.65 $kgCO_2e/kg$	0.110		1.05 $kgCO_2e/kg$	0.032		1.05 $kgCO_2e/kg$	0.032	
Dépôts ammoniac		0.49 $kgCO_2e/kg$	0.015		0.47 $kgCO_2e/kg$	0.014		0.47 $kgCO_2e/kg$	0.014	
Consommation de gazole	0.008 m3/ha	2.69 $tCO_2e/m3$	0.020		2.69 $tCO_2e/m3$	0.020		2.69 $tCO_2e/m3$	0.020	
Stockage de carbone**	-1	0	0		0.563 teCO2/ha/an	-0.563		1.835 teCO2/ha/an	-1.835	
Emissions directes et indirectes : Sous total			0.309	6 138		-0.370	-7 356		-1.643	-32 625
Fertilisation azotée	0.030 t/ha	5.305 $kgCO_2e/kg$	0.159		5.305 $kgCO_2e/kg$	0.159		5.305 $kgCO_2e/kg$	0.159	
Consommation de gazole	0.008 m3/ha	0.563 $tCO_2e/m3$	0.004		0.563 $tCO_2e/m3$	0.004		0.563 $tCO_2e/m3$	0.004	
Utilisation désherbant*	-1	0.019 tCO_2e/ha	-0.019		0.019 tCO_2e/ha	-0.019		0.019 tCO_2e/ha	-0.019	
Emissions induites en amont Sous total			0.144	2 860		0.144	2 860		0.144	2 860
Total : Emissions directes, indirectes et induites			**0.453**	**8 998**		**-0.226**	**-4 495**		**-1.499**	**-29 764**

3. Adoption de l'option technique 2 (couvert herbacé tous les inter-rangs) à partir d'une parcelle avec un couvert herbacé temporaire - AMT = 43 894ha

	CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" Valeur basse stockage C (1)	(1)	(1)	Calcul "expert" Valeur haute stockage C (2)	(2)	(2)
	Quantité	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e /ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e /ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an
Fertilisation azotée t/ha	0.030									
Emission N_2O		5.48 $kgCO_2e/kg$	0.164		4.21 $kgCO_2e/kg$	0.126		4.21 $kgCO_2e/kg$	0.126	
Lixiviation nitrate		3.65 $kgCO_2e/kg$	0.110		1.05 $kgCO_2e/kg$	0.032		1.05 $kgCO_2e/kg$	0.032	
Dépôts ammoniac		0.49 $kgCO_2e/kg$	0.015		0.47 $kgCO_2e/kg$	0.014		0.47 $kgCO_2e/kg$	0.014	
Consommation de gazole	0.009 m3/ha	2.69 $tCO_2e/m3$	0.023		2.69 $tCO_2e/m3$	0.023		2.69 $tCO_2e/m3$	0.020	
Stockage de carbone** (DESTOCKAGE)	1	0	0		0.0208 teCO2/ha/an	0.021		1.252 teCO2/ha/an	-1.252	
Emissions directes et indirectes : Sous total			0.312	13695		0.216	9 486		-1.056	-46 361
Fertilisation azotée	0.030 t/ha	5.305 $kgCO_2e/kg$	0.159		5.305 $kgCO_2e/kg$	0.159		5.305 $kgCO_2e/kg$	0.159	
Consommation de gazole	0.009 m3/ha	0.563 $tCO_2e/m3$	0.005		0.563 $tCO_2e/m3tCO_2e/m3$	0.005		0.563 $tCO_2e/m3tCO_2e/m3$	0.005	
Emissions induites en amont Sous total			0.164	7 201		0.164	7 201		0.164	7 201
Total : Emissions directes, indirectes et induites			**0.476**	**20 896**		**-0.380**	**16 686**		**-0.892**	**-39 160**

** les valeurs de stockage de carbone dans le sol sont comptabilisées négativement

4. Adoption de l'option technique 2 (couvert herbacé tous les inter-rangs) à partir d'une parcelle enherbée un inter-rang sur deux - AMT = 64 212ha

		CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" valeur basse stockage C (1)	(1)	(1)	Calcul "expert" valeur haute stockage C (2)	(2)	(2)
	Surfaces	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an
stockage de carbone (plus 1/3)*	-1			0.2814	-0.281		0.9175	-0.918	
Emissions directes et indirectes : Sous total		0.000	0		-0.281	-18 069		-0.918	-58 915
Emissions induites en amont									
Sous total		0.000	0		0.000	0		0.000	0
Total : Emissions directes, indirectes et induites		**0.000**	**0**		**-0.281**	**-18 069**		**-0.918**	**-58 915**

5. Adoption de l'option technique 3 (couvert temporaire hivernal) à partir d'une parcelle sans couvert herbacé - AMT = 71 252ha

		CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" valeur basse et haute stockage C (1)	(1)	(1)
	Quantité Surface	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an
Consommation de gazole	-0.001 m3/ha	2.69 $tCO_2e/m3$	-0.003		2.69 $tCO_2e/m3$	-0.003	
stockage de carbone (plus 1/3)**	-1 ha				0.584	-0.584	0.2814
Emissions directes et indirectes : Sous total			-0.003			-0.586	-41 789
Consommation de gazole	-0.001 m3/ha	0.563	-0.001	-211	0.563	-0.001	
Utilisation désherbant	-1	0.019	-0.019		0.019	-0.019	
Emissions induites en amont : Sous total			-0.020	-1 427		-0.020	-1 427
Total : Emissions directes, indirectes et induites		**0.000**	**-0.023**	**-1 638**		**-0.607**	**-43 216**

* valeur agrégée correspondant à l'impact global du désherbant sur les émissions

** les valeurs de stockage de carbone dans le sol sont comptabilisées négativement

Annexe 8 : Calculs des coûts unitaires de la sous-action "cultures intercalaires" liés à l'adoption des différentes options techniques

Tableau 8-1 : Coûts des différentes interventions ayant servi à calculer le coût unitaire de chacune des options de la sous-action « cultures intercalaires ».

Interventions et intrants	**prix (€/ha)**
1 passage labour	72,85
1 passage semoir inter rangs	39,12
1 passage pulvérisateur de pesticide	34,00
1 passage de tonte	50,61
Semences (Ray Grass Italie13.33 kg/ha)	26,66
Desherbant (glyphosate 12L/ha 1 dose)	43,20
Ammonitrate 33% (30uN/ha)	27,33

Tableaux 8-2 : Calculs économiques de la sous action "cultures intercalaires"

	Surface (ha)	Surface (ha)	Cumul surfaces 2010-2030 (ha)	Cumul surfaces 2010-2030 (ha)	Coûts pour 2030 (€)	Coûts pour 2030 (€)	Coûts cumulés (€) 2010-2030	Coûts cumulés (€) 2010-2030
Situation initiale / Situation finale	option technique 3	option technique 2	option technique 3	option technique 2	option technique 3	option technique 2	option technique 3	option technique 2
Sans couvert herbacé	71 252	19 861	770 182	214 683	-626 220	722 639	-6 768 976 €	7 811 202 €
Couvert hivernal temporaire	*	43 894	*	474 462	*	1 942 565	*	20 997 710 €
Couvert permanent 1 inter-rang sur 2	*	64 212	*	694 085	*	0	*	0

Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Surface de l'assiette maximale technique : 199 219ha Surface cumulée toutes options confondues : 2 153 412 ha

Coût total de la sous-action en 2030 : 2 038 985 € - Coût cumulé toutes options confondues sur la période 2010-2030 = 22 039 937€

Coût unitaire sous-action "cultures intercalaires" toutes options confondues (vignes) : 10,23 € (vignes et vergers) : 9,57€ (vergers=13 843ha)

Tableau 8-3 : Détails des calculs des coûts liées à la sous-action "cultures intercalaires" selon différents modes de calcul

1. Inventaire CITEPA 2010

1.1. Emissions directes et indirectes

CITEPA 2010	Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha)			Calcul de l'atténuation totale en 2030		
	situation finale			situation finale		
situation initiale	option technique 3	option technique 2	option technique 1	option technique 3	option technique 2	option technique 1
Vignes : Sans couvert herbacé	0.00296	-0.30904	*	211	-6 138	*
Vignes : Couvert hivernal temporaire	*	-0.31200	*	*	-13 695	*
Vignes : Couvert permanent 1 inter-rang sur 2	*	0	*	*	0	*
Vignes : Couvert permanent tous les inter-rangs	*	*	*	*	*	*
Vergers : Sans couvert herbacé	*	*	0			0

Option technique 1 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs et sur les rangs
Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Calcul de l'atténuation totale en 2030 = -19 622 tCO_2e (c'est une émission). AMT= 199 219ha Coût d'abattement : 103.91€/tCO_2e (émise)

Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha) toutes options confondues, vergers et vignes : -0,09 tCO_2e/ha (c'est une émission)

1.2. Emissions directes, indirectes et induites

CITEPA 2010	Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha)			Calcul de l'atténuation totale en 2030		
	situation finale			situation finale		
situation initiale	option technique 3	option technique 2	option technique 1	option technique 3	option technique 2	option technique 1
Vignes : Sans couvert herbacé	0.02299	-0.45306	*	option technique 3	option technique 2	option technique 1
Vignes : Couvert hivernal temporaire	*	-0.47605	*	1 638	-8 998	*
Vignes : Couvert permanent 1 inter-rang sur 2	*	0	*	*	-20 896	*
Vignes : Couvert permanent tous les inter-rangs	*	*	*	*	0	*
Vergers : Sans couvert herbacé	*	*	0	*	*	*

Calcul de l'atténuation totale en 2030 = -28 256 tCO_2e (c'est une émission). AMT= 199 219ha Coût d'abattement : 72.06€/tCO_2e

Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha) toutes options confondues, vergers et vignes : -0.13 tCO_2e/ha **(c'est une émission)**

2. Calcul "expert" et valeur basse de stockage de carbone

2.1. Emissions directes et indirectes

Calcul "expert" et valeur basse de stockage de carbone	Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha)			Calcul de l'atténuation totale en 2030		
	situation finale			situation finale		
situation initiale	option technique 3	option technique 2	option technique 1	option technique 3	option technique 2	option technique 1
Vignes : Sans couvert herbacé	0.58649	0.370360	*	41 789	7 356	*
Vignes : Couvert hivernal temporaire	*	-0.216100	*	*	-9 485	*
Vignes : Couvert permanent 1 inter-rang sur 2	*	0.281400	*	*	18 069	*
Vignes : Couvert permanent tous les inter-rangs	*	*	*	*	*	*
Vergers : Sans couvert herbacé	*	*	0.8441			11 685

Option technique 1 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs et sur les rangs
Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Calcul de l'atténuation totale en 2030 = -19 622 tCO_2e (c'est une émission). AMT= 199 219ha Coût d'abattement : 29.37€/tCO_2e
Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha) toutes options confondues, vergers et vignes : 0,33 tCO_2e/ha (c'est une atténuation)

1.2. Emissions directes, indirectes et induites

Calcul "expert" et valeur basse de stockage de carbone	Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha)			Calcul de l'atténuation totale en 2030		
	situation finale			situation finale		
situation initiale	option technique 3	option technique 2	option technique 1	option technique 3	option technique 2	option technique 1
Vignes : Sans couvert herbacé	0.60652	0.226340	*	43 216	4 495	*
Vignes : Couvert hivernal temporaire	*	-0.380150	*	*	-16 686	*
Vignes : Couvert permanent 1 inter-rang sur 2	*	0.281400	*	*	18 069	*
Vignes : Couvert permanent tous les inter-rangs	*	*	*	*	*	*
Vergers : Sans couvert herbacé	*	*	0.8441			11 685

Calcul de l'atténuation totale en 2030 = 60 779 tCO_2e - AMT= 199 219ha Coût d'abattement : 33.55€/tCO_2e
Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha) toutes options confondues, vergers et vignes : 0.29 tCO_2e/ha

3. Calcul "expert" et valeur haute de stockage de carbone

3.1. Emissions directes et indirectes

Calcul "expert" et valeur haute de stockage de carbone	Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha)			Calcul de l'atténuation totale en 2030		
	situation finale			situation finale		
situation initiale	option technique 3	option technique 2	option technique 1	option technique 3	option technique 2	option technique 1
Vignes : Sans couvert herbacé	0.58649	1.642660	*	41 789	32 625	*
Vignes : Couvert hivernal temporaire	*	1.056200	*	*	46 361	*
Vignes : Couvert permanent 1 inter-rang sur 2	*	0.917500	*	*	58 915	*
Vignes : Couvert permanent tous les inter-rangs	*	*	*	*	*	*
Vergers : Sans couvert herbacé	*	*	2.7525			38 103

Option technique 1 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs et sur les rangs
Option technique 2 : Enherbement permanent de tous les inter-rangs
Option technique 3 : Enherbement hivernal temporaire

Calcul de l'atténuation totale en 2030 = 217 792 tCO_2e AMT= 199 219ha Coût d'abattement : 9.36€/tCO_2e
Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha) toutes options confondues, vergers et vignes : 1.02 tCO_2e/ha

1.2. Emissions directes, indirectes et induites

Calcul "expert" et valeur haute de stockage de carbone	Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha)			Calcul de l'atténuation totale en 2030		
	situation finale			situation finale		
situation initiale	option technique 3	option technique 2	option technique 1	option technique 3	option technique 2	option technique 1
Vignes : Sans couvert herbacé	0.60652	1.498640	*	43 216	29 764	*
Vignes : Couvert hivernal temporaire	*	0.892150	*	*	39 160	*
Vignes : Couvert permanent 1 inter-rang sur 2	*	0.917500	*	*	58 915	*
Vignes : Couvert permanent tous les inter-rangs	*	*	*	*	*	*
Vergers : Sans couvert herbacé	*	*	2.7525			38 103

Calcul de l'atténuation totale en 2030 = 209 158 tCO_2e - AMT= 199 219ha Coût d'abattement : 9.75€/tCO_2e
Calcul de l'atténuation unitaire (tCO_2e/ha) toutes options confondues, vergers et vignes : 0.98 tCO_2e/ha

Annexe 9 : Détails des calculs pour quantifier les potentiels d'atténuations unitaires et sur l'assiette maximale technique de la sous-action "bandes enherbées". Semis de bandes enherbées le long des cours d'eau - AMT = 250 000ha

	CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	CITEPA 2010	Calcul "expert" Valeur basse stockage C (1)	(1)	(1)	Calcul "expert" Valeur haute stockage C (2)	(2)	(2)
	Quantité	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e /ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e/ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an	Facteur conversion	Flux CO_2 tCO2e /ha/an	Flux CO_2 AMT tCO2e/an
Fertilisation azotée	-0.085 t/ha									
Emission N_2O		5.48 $kgCO_2e/kg$	-0.466		4.21 $kgCO_2e/kg$	-0.358		4.21 $kgCO_2e/kg$	-0.358	
Lixiviation nitrate		3.65 $kgCO_2e/kg$	-0.311		1.05 $kgCO_2e/kg$	-0.089		1.05 $kgCO_2e/kg$	-0.089	
Dépôts ammoniac		0.49 $kgCO_2e/kg$	-0.042		0.47 $kgCO_2e/kg$	-0.040		0.47 $kgCO_2e/kg$	-0.040	
Stockage de carbone * (uniquement partie culture, soit 39.6% SAA)	-0.396	0	0		0.84	-0.334		2.753	-1.090	
Emissions directes et indirectes : Sous total			-0.819	-204 690		-0.822	-205 486		-1.578	-394 418
Fertilisation azotée	-0.085 t/ha	5.31 $kgCO_2e/kg$	-0.452		5.31 $kgCO_2e/kg$	-0.452		5.31 $kgCO_2e/kg$	-0.452	
Emissions induites en amont Sous total			-0.452	-112 877		-0.452	-112 877		-0.452	-112 877
Total : Emissions directes, indirectes et induites			**-1.270**	**-317 567**		**-1.273**	**-318 363**		**-2.029**	**-507 295**

* les valeurs de stockage de carbone dans le sol sont comptabilisées négativement

Annexe 10 : Détails des calculs de coûts de la sous-action "bandes enherbées"

	Surface AMT(ha) en 2030	Coût unitaire €/ha	Coût total (€/an) pour AMT	Surfaces cumulées (ha) entre 2010 et 2030	Coût cumulé (€) sur la période 2010-2030
Grandes cultures	99 000	812.15 €	80 402 525	1 543 090	1 253 215 576 €
Prairies	151 000	516.20 €	77 946 821	2 353 602	1 214 939 085 €
Totale/moyen	250 000	633.40	158 349 346	3 896 692ha	2 468 154 661

Calcul des coûts d'abattement unitaire

	CITEPA 2010	Calcul "expert" Valeur basse carbone	Calcul "expert" Valeur haute carbone
coût unitaire (€/ha)	633	633	633
atténuations des émissions directes et indirectes (tCO_2e/ha)	0.8188	0.8219	1.578
Coût abattement (direct et indirect) €/tCO_2e	774	771	402
atténuations des émissions directes, indirectes et induites (tCO_2e/ha)	1.270	1.274	2.029
Coût abattement (direct, indirect et induit) €/tCO_2e	499	497	312