



HAL
open science

Favoriser l'insertion de légumineuses dans les grandes cultures en finançant les réductions d'émissions induites sur les marchés du carbone

Pierre-Louis Choquet, Pierre Compère, Amandine Berthoud

► To cite this version:

Pierre-Louis Choquet, Pierre Compère, Amandine Berthoud. Favoriser l'insertion de légumineuses dans les grandes cultures en finançant les réductions d'émissions induites sur les marchés du carbone. *Innovations Agronomiques*, 2014, 37, pp.1-10. 10.17180/dxpw-kd69 . hal-04663162

HAL Id: hal-04663162

<https://hal.inrae.fr/hal-04663162>

Submitted on 26 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Favoriser l'insertion de légumineuses dans les grandes cultures en finançant les réductions d'émissions induites sur les marchés du carbone

Choquet P.-L.¹, Compère P.¹, Berthoud A.²

¹ InVivo Agro Solutions, 83 avenue de la Grande Armée 75782 Paris Cedex 16.

² En poste chez InVivo AgroSolutions lors de la conception du dispositif.

Correspondance : plchoquet@invivo-group.com

Résumé

Alors que le potentiel d'abattement d'émissions de gaz à effet de serre (GES) qu'induirait la réintroduction de légumineuses dans les rotations des grandes cultures est désormais clairement établi et que l'enjeu du déficit européen en protéines végétales est régulièrement mis en avant, la filière protéagineuse peine à se structurer, faute de débouchés pérennes. L'inventaire des coûts liés à l'introduction de légumineuses dans les rotations semble, aussi bien au niveau de l'exploitation agricole qu'au niveau des filières de collecte-stockage, corroborer la faible attractivité des légumineuses dans un contexte de prix élevés des céréales à paille. Dans ce contexte, les coopératives peuvent jouer un rôle clé pour mieux articuler les attentes de l'amont agricole aux demandes des acteurs de l'aval, et ce afin de contribuer à la structuration des filières de légumineuses. Prenant acte de l'importance de construire des ponts entre le secteur agricole et les marchés du carbone pour favoriser des systèmes de culture performants sur le plan économique et environnemental, InVivo AgroSolutions, filiale du groupe coopératif InVivo, a développé un projet de Mise en Œuvre Conjointe¹ de financement des émissions évitées, afin de valoriser les services écosystémiques rendus par les légumineuses. Le présent article a pour objectif de détailler la méthode qui sous-tend le dispositif en question, de présenter la campagne d'expérimentation menée avec six coopératives, et enfin de dégager les principales conclusions à tirer des travaux menés jusqu'alors. Si la méthode de calcul des émissions évitées doit faire preuve d'améliorations pour être systématiquement applicable, il ressort de l'analyse que le niveau d'abattement par hectare et par an est relativement faible ; le prix de la tonne de carbone doit, en conséquence, atteindre un niveau élevé pour que le dispositif reste suffisamment incitatif pour faire évoluer les pratiques agricoles.

Mots-clés : Légumineuses, réchauffement climatique, marchés du carbone, coopératives agricoles, innovation.

Abstract: Financing the reduction of GHG emissions by connecting an innovative agricultural practice, e.g. the insertion of legumes in crop rotations, to carbon markets

The production of legume crops remains at a very low level in France. In spite of the demonstrated ability of these crops to reduce the global carbon footprint of rotations and despite the structural shortfall in vegetable proteins that affects the French trade balance, the cultivation of legume crops keeps on lagging behind. The inventory of all the costs that are related to the introduction of legumes in crop rotations seems to confirm the poor attractiveness of these crops, compared to cereals which benefit

¹ Le Protocole de Kyoto prévoit, à côté du système d'échange de quotas d'émission de GES, deux mécanismes de projet : les mécanismes de développement propre (MDP) et les mises en œuvre conjointes (MOC). A la différence des projets MDP, les projets MOC sont mis en œuvre dans des pays figurant à l'annexe B du protocole de Kyoto, dotés d'engagements chiffrés de réduction des émissions. Les crédits délivrés dans le cadre de la MOC sont appelés Unités de Réduction des Emissions (URE). Jusqu'à présent, les quatre cinquièmes des projets existants étaient concentrés dans les Pays d'Europe centrale et orientale (PECO), le reste se situe en Allemagne et en France ; très peu de projets concernent directement la production agricole.

high prices. In this context, agricultural cooperatives can play a key role by linking together the expectations of producers and the needs of agro-industries, all this in order to give structure to perennial initiatives that would valorize legume crops. InVivo AgroSolutions, subsidiary of the French cooperative group InVivo, has developed a Joint Implementation Program in order to finance avoided emissions that are generated by the insertion of legumes in crop rotations. This article unveils the methodology underlying the JIP, presents the experimentation that was led with six cooperatives, and finally explains the main outcomes of the experimentation and the perspectives it opens. The methodology that has been developed to calculate avoided emissions should be improved before being systematically applied. But nevertheless, it turns out that the level of abatement per hectare and per year is relatively low; therefore, we conclude that the carbon price should reach a high value in order to keep the program incentivizing.

Keywords: Legume crops, global warming, carbon markets, agricultural cooperatives, innovation

Introduction

Les caractéristiques agroécologiques des légumineuses ont fait l'objet, ces dernières années, de nombreux travaux de recherche ; si leur impact positif sur la qualité de l'eau ou sur le maintien de la biodiversité ont été mis en avant, c'est avant tout la fixation symbiotique de l'azote qui reste leur caractéristique la plus remarquable et la plus étudiée. Grâce à cette propriété, les légumineuses accomplissent leur cycle de croissance sans apport d'engrais azotés et laissent à la culture suivante une dose d'azote conséquente, permettant là encore un recours moindre à la fertilisation minérale. Malgré ceci, la part de la surface agricole utile consacrée à ces productions n'a eu de cesse de diminuer au cours des dernières décennies, et ce malgré les dispositifs d'aide publique mis en place. C'est dans ce contexte qu'InVivo AgroSolutions a initié un projet de Mise en Œuvre Conjointe à destination des coopératives, visant à financer les réductions d'émission de GES induites par l'introduction de légumineuses dans les grandes cultures.

1. L'insertion de légumineuses dans les rotations grandes cultures constitue une option d'abattement remarquable pour l'agriculture française

1.1 Un potentiel d'abattement déjà souligné à maintes reprises ...

L'étude publiée par l'INRA (Pellerin *et al.*, 2013) sur les dix options de réduction d'émissions de gaz à effet de serre a retenu l'insertion de légumineuses dans les rotations de grandes cultures comme une option d'atténuation d'intérêt. Dans le cadre de cette étude, l'atténuation unitaire a été estimée en moyenne à 636 kg éq.CO₂ par hectare de légumineuse introduite (et par an) pour les émissions directes et indirectes liées à l'exploitation agricole (1044 kg éq.CO₂/an avec le calcul 'expert'), chiffre auquel il faut ajouter les émissions induites en amont, s'élevant à 947 kg éq.CO₂/an. Selon les choix méthodologiques retenus, le potentiel d'atténuation annuel est estimé entre 0,5 et 0,9 MT éq.CO₂ à l'échelle du territoire français.

La sensibilité aux hypothèses prises est importante, notamment en ce qui concerne le facteur d'émission associé à la fixation symbiotique, ou en ce qui concerne les types de culture auxquelles sont substituées des légumineuses. Etant donné que le volume des émissions est tributaire des hypothèses retenues et des règles de calcul employées, il en va de même pour le coût de la tonne de CO₂ qui est

obtenu ; celui-ci a été estimé à 19 € pour les agriculteurs², et ce avant de prendre en compte les coûts de transaction privés.

Une approche similaire (Dequiedt, 2012) a permis de dégager un résultat allant dans le même sens, avec des hypothèses différentes. Dans chaque département français, la substitution graduelle par des légumineuses des cultures présentant la marge brute la plus faible a été priorisée ; la courbe d'abattement obtenue permet de recouper le diagnostic de l'étude INRA. En effet, un prix de la tonne de carbone à 20€ permettrait d'induire une réduction des émissions de 1 MT éq. CO₂/an ; les ordres de grandeur sont bien similaires dans les deux études.

1.2 ... mais des coûts associés difficiles à quantifier

Si le potentiel d'abattement des légumineuses est remarquable, il n'en reste pas moins qu'à l'heure actuelle, ces dernières restent relativement peu incitatives pour les agriculteurs (et les filières) sur le plan économique. Dans le cadre de l'élaboration du projet domestique porté par InVivo AgroSolutions, l'additionnalité³ a dû être prouvée à deux niveaux ; tout d'abord, sous le prisme de la comptabilité de l'exploitation agricole ; et ensuite, du point de vue de la filière (organismes stockeurs).

Malgré les impulsions données au niveau national et européen pour inciter les agriculteurs à cultiver des protéagineux (primes protéagineux, aides couplées, etc.) et la mise en évidence des bénéfices économiques induits par l'insertion de légumineuses dans les rotations au niveau de l'exploitation agricole (Carrouée *et al.*, 2012), les surfaces consacrées aux légumineuses n'ont cessé de décliner depuis les années 1960, durant lesquelles a commencé à se généraliser le recours aux engrais azotés (Duc *et al.*, 2010). Ce constat nous amène à modérer l'hypothèse d'un gain économique net pour l'agriculteur introduisant des légumineuses dans son assolement ; si les bénéfices étaient si clairs, la surface que consacrent les agriculteurs aux légumineuses n'aurait certainement pas autant diminué.

Plusieurs « coûts cachés » doivent compléter l'analyse :

- Dans un contexte de prix élevés des matières premières agricoles (et plus spécifiquement des céréales à paille), le coût d'opportunité de la culture des légumineuses est élevé. Le raisonnement à l'échelle de la rotation n'est pas systématique, car d'une année sur l'autre et sur une parcelle donnée, les agriculteurs sont tentés de privilégier les cultures améliorant la marge brute à court-terme. Les légumineuses tendent à devenir une variable d'ajustement (Meynard *et al.*, 2013). Ce comportement traduit une aversion au risque des acteurs économiques, dans un contexte d'incertitude.
- La conduite des itinéraires techniques des légumineuses est délicate, et requiert une importante maîtrise technique. La sensibilité au stress hydrique/thermique, la vulnérabilité face à certains ravageurs, ou encore la fragilité au moment de la récolte caractérisent nombre de variétés (le pois notamment). Pour un agriculteur présentant une forte aversion au risque, le recours aux engrais azotés en année N plutôt qu'à la fixation symbiotique via l'introduction d'un précédent légumineuse en année N-1 a donc aussi une fonction assurantielle ; là où la fixation symbiotique comporte d'importants aléas (climatiques, biologiques, haute technicité requise dans la conduite des itinéraires techniques pour que le bénéfice économique soit net), la fertilisation minérale est beaucoup plus prévisible. Privilégier les engrais azotés plutôt que les légumineuses, c'est en quelque sorte pour l'agriculteur se couvrir d'un risque de défaut

² Les auteurs de l'INRA ne donnent pas d'intervalles de confiances mais établissent plusieurs scénarios. Ce coût correspond au scénario dans lequel on a un « coût positif », les deux autres traduisent un « coût négatif ».

³ Un projet MOC est dit « additionnel », si les émissions de gaz à effet de serre résultantes sont inférieures à celles qui seraient survenues en l'absence du projet. Les porteurs de projet doivent donc démontrer les bénéfices spécifiquement apportés par le projet et qui n'auraient pu être observés sans lui.

(matérialisé par une moindre marge brute en année N-1, qui ne compense pas, en termes de rentabilité, le fait d'utiliser moins d'engrais en année N). Dans l'état actuel des choses, les légumineuses ne peuvent être présentées comme une alternative aux engrais sur le plan économique que dans le cas où l'agriculteur maîtrise les itinéraires techniques qui leur sont associés – ce qui est rarement le cas dans la pratique⁴.

- La diminution continue des surfaces cultivées de légumineuses a en effet pu contribuer à « isoler » les agriculteurs cultivant des légumineuses. Les effets de réseau se sont progressivement déliés, augmentant *de facto* de nombreux coûts de transaction ; la moindre disponibilité du conseil technique et la moindre possibilité d'échanger avec les pairs traduisent notamment une hausse des coûts d'information. Dans certaines régions, la réintroduction de légumineuses dans les rotations de grande culture peut être associée par l'agriculteur à un risque de réputation ; l'adoption d'une pratique alternative comporte potentiellement un coût social (moindre reconnaissance des pairs), dans la mesure où elle suppose souvent de s'extraire des réseaux existants. A ce titre, Fares et co-auteurs définissent un régime sociotechnique comme consistant « pour une large part en un ensemble de routines institutionnelles utilisées par des acteurs », et soulignent l'inertie temporelle que peuvent avoir les choix d'investissement.

Pour ces différentes raisons, l'hypothèse d'un bénéfice économique net lié à l'introduction de légumineuses à l'échelle de l'assolement doit être tempérée ; le financement des émissions évitées peut donc contribuer à faire pencher favorablement la balance.

Une analyse coûts/bénéfices se plaçant dans la perspective de la filière aboutit à la même conclusion. Le coût des opérations de collecte de cultures éparses sur le territoire et la concurrence des différentes productions dans la saturation des silos désavantagent le développement des légumineuses (Meynard *et al.*, 2013). Outre cette difficulté à intégrer des légumineuses dans des outils de logistique/stockage déjà soumis à de fortes contraintes de saturation, l'organisme stockeur enregistre des surcoûts complémentaires (entretien du matériel de tri, investissement dans des silos en béton, etc.) ; le service agronomique de l'une des coopératives participant au projet d'InVivo AgroSolutions a ainsi estimé l'écart du coût de stockage par rapport à une production générique (céréales à paille, oléagineux, etc.) à 0,80€ par tonne de légumineuse stockée. Si une meilleure intégration des légumineuses dans les circuits logistiques des coopératives est concevable, les coûts induits et les nouveaux investissements nécessaires restent pour l'instant les barrières principales au développement des filières (voir notamment Bedoussac *et al.*, 2013). L'attractivité des substituts aux légumineuses (engrais azotés pour la fertilisation, protéines importées pour les fourrages) contraint les acteurs qui souhaitent aujourd'hui développer des filières à miser sur des marchés de niche, à forte valeur ajoutée ; ce n'est qu'à cette condition que les surcoûts liés à la collecte et au stockage des légumineuses peuvent être compensés.

Pour encourager les acteurs à développer des stratégies de niche et basculer progressivement vers une reprise en main des filières protéagineuses par les organismes stockeurs, des incitations financières seront nécessaires ; le financement des émissions de GES évitées peut contribuer à aller dans ce sens.

2. Les coopératives ont un rôle à jouer pour redynamiser les filières en difficulté

2.1 Le rôle des coopératives dans l'accompagnement au développement des filières

⁴ Des calculs de marges brutes à l'échelle de l'exploitation effectués avec l'une des coopératives participant à l'expérimentation ont confirmé ce résultat.

Les coopératives agricoles ont une vocation particulière dans le paysage de l'économie française ; elles doivent en effet tenir compte simultanément des ressources locales des territoires et des attentes globales du marché (Assens, 2013). A ce titre, les coopératives ont été amenées à développer ces dernières années des stratégies diverses, adaptées aux spécificités de leurs territoires et aux attentes de leurs adhérents ; tantôt en s'adaptant au marché en fonction de la demande (économies d'échelle sur des produits peu différenciés, regroupement entre coopératives pour atteindre une taille critique), tantôt en structurant le marché en fonction de l'offre (produits agricoles à forte valeur ajoutée, réduction du nombre d'intermédiaires), les coopératives ont fait preuve de leur capacité à construire des démarches de filière répondant à des objectifs différents. Dans un contexte de montée en puissance de l'enjeu écologique, les coopératives ont un rôle moteur à jouer dans la structuration des filières et la gestion des territoires, afin que production agricole et respect de l'environnement ne soient plus antinomiques (Compère *et al.*, 2013) ; en ce sens, les coopératives ont donc une légitimité forte à porter les projets d'appui à la relance des légumineuses, qui, abstraction faite des enjeux liés au carbone, induisent autant des problématiques de filières (cf. 2.2) que de territoires (gestion de la qualité de l'eau, biodiversité).

La séparation des structures de l'amont et de l'aval complexifie, dans bien des filières, l'élaboration de stratégies intégrées, capables de mettre en regard les attentes des différents acteurs de la chaîne. Pour les acteurs de l'amont, des incitations financières en provenance de l'aval et/ou des dispositifs de contractualisation sécurisants sont presque systématiquement nécessaires pour que de nouvelles pratiques soient adoptées (Fares *et al.*, 2012 ; ADEME, 2014). La coopérative agricole, qui occupe une position d'interface entre l'amont et l'aval, peut contribuer au déverrouillage des filières en mettant en avant l'interdépendance des intérêts que partagent les différents acteurs tout au long de la chaîne ; et ce afin de dégager *in fine* des nouveaux espaces d'entente et de compromis.

Cette capacité des coopératives à se fédérer pour accompagner le développement d'une filière a déjà été observée ces dernières années, en ce qui concerne la filière colza par exemple (Meynard *et al.*, 2013). La progression dynamique des surfaces en colza observée lors des dernières décennies a en effet été permise par l'action concertée des organismes stockeurs et des industriels, qui ont su construire une filière en assurant l'adéquation entre les attentes des producteurs (conseil agronomique, références techniques, etc.) et les attentes du marché en produits agricoles issus du colza (alimentation animale, huile alimentaire, biodiesel, etc.). En présence d'un cadre réglementaire stable et d'un signal-prix suffisamment incitatif, les coopératives peuvent donc jouer un rôle clé dans le développement des filières.

2.2 La coopérative, une structure organisationnelle à l'interface entre l'amont agricole et les acteurs de l'aval

Concrètement, le métier d'une coopérative est triple; il englobe l'organisation de la production, la collecte des produits auprès des adhérents, leur stockage (et/ou conditionnement), et enfin leur commercialisation, le plus souvent à des industriels de première transformation.

Par définition, cette activité logistique amène la coopérative à être en contact direct avec les producteurs et avec les industriels. En ce sens, si l'on considère que la coopérative comme un maillon intermédiaire dans la chaîne agroalimentaire, son rôle essentiel est d'assurer la circulation de plusieurs types de flux (synthétiquement : les flux de matière, de l'amont vers l'aval ; les flux financiers, de l'aval vers l'amont ; les flux d'information, dans les deux sens) tout en étant force de proposition en terme d'expérimentation et d'innovation (Bedoussac *et al.*, 2013). Les coopératives contribuent à donner à de nombreuses filières agricole un caractère hybride, situé à mi-chemin entre le modèle d'intégration verticale complète (caractéristique de la firme) et celui du marché atomisé ; cette organisation originale permet de garantir la relative indépendance des différents acteurs tout au long de la chaîne tout en limitant les coûts de transaction.

Au vu du rôle charnière qu'elles assument, les coopératives peuvent donc jouer un rôle moteur dans l'appui au développement des légumineuses en identifiant des débouchés nouveaux et diversifiés pour les valoriser (Voisin et al., 2013). Magrini et co-auteurs (2013) soulignent en effet que les coopératives ayant développé une logistique orientée « qualité » disposent d'une avance pour répondre aux exigences environnementales, qui se matérialisent notamment par la diversification des cultures collectées. Mais ils rappellent également que dans la gestion des nouvelles productions par les coopératives, il ne faut pas considérer la question des capacités de stockage et des outils logistiques déjà en service comme les ultimes facteurs limitants ; la stratégie de la coopérative, sa volonté de fédérer les adhérents autour de nouveaux projets de filière est un enjeu déterminant pour dépasser les contraintes existantes. En témoigne, par exemple, la construction de l'usine de trituration de soja biologique Soja Press, portée par les coopératives lot-et-garonnaise Terres du Sud (60%) et landaise Maisadour (40%) ; l'ouverture de cette usine sécurise les débouchés des producteurs en même temps qu'elle implique les coopératives dans la reconfiguration de leur outil logistique afin qu'il soit capable d'« absorber » ces nouvelles productions.

Plus généralement, Voisin et co-auteurs (2013) envisagent plusieurs types de débouchés potentiels pour les légumineuses, jusqu'à présent peu investigués en France ; l'alimentation humaine, l'extraction de composés à haute valeur ajoutée, la production de bioénergie. En plus du développement de ces débouchés matériels, les auteurs encouragent la mesure des services écosystémiques rendus par les légumineuses, en vue de leur éventuelle valorisation au titre de paiements pour services écosystémiques. Sur ces deux volets, les coopératives ont un rôle à jouer pour que l'ouverture de nouvelles perspectives de valorisation à l'aval (débouchés matériels et immatériels) puisse s'assortir d'incitations financières suffisamment significatives pour les acteurs de l'amont, aujourd'hui peu enclins à introduire des légumineuses dans leurs assolements.

3. Un dispositif innovant de financement des émissions évitées a été testé avec six coopératives lors de la campagne 2011-2012

3.1 Historique du dispositif

C'est par l'intermédiaire du 'Club Expert Agriculture Durable' qu'InVivo AgroSolutions a proposé aux coopératives de son réseau de participer à l'expérimentation sur les crédits-carbone légumineuses. Ce club, animé par InVivo AgroSolutions, a pour objectif d'accompagner les coopératives adhérentes dans leur montée en compétences sur les enjeux agro-environnementaux (acquisition de références, d'outils de diffusion des bonnes pratiques, valorisation des services environnementaux rendus par l'agriculture, etc.).

Une fois arrêtée la méthode de calcul des émissions évitées (détaillée ci-après), les représentants des coopératives membres du 'Club Expert Agriculture Durable' ont été sollicités au début de l'été 2011 pour participer à l'expérimentation du projet sur la campagne 2011/2012.

Les coopératives se sont engagées à promouvoir le projet de leurs adhérents, et à transmettre les données recueillies auprès de ces derniers à InVivo AgroSolutions pour que celles-ci soit saisies et traitées. Les adhérents des coopératives souhaitant se joindre au projet ont signé une convention de partenariat avec leur coopérative, laquelle établit plusieurs conditions : exclusivité du partenariat, exactitude des données fournies, délégation à la coopérative des Unités de Réduction d'Emissions (URE) générées par l'opération. Cela ne signifie pas pour autant que les agriculteurs ne bénéficient pas de leur initiative ; les coopératives sont en effet tenues de fournir une aide en nature aux agriculteurs participant à l'opération (conseils techniques, distribution gratuite de semences, etc.).

Six coopératives se sont finalement portées volontaires pour participer à l'expérimentation : celle-ci a été réalisée avec 316 agriculteurs, dont les exploitations totalisent 50 700 ha sur 18 départements différents, pour un total de 4 700 hectares de légumineuses implantées (soit 9,3% de la sole totale).

3.2 Présentation de la méthode de calcul des émissions évitées

L'objectif du dispositif développé par InVivo AgroSolutions avec le support de la CDC Climat est de favoriser l'insertion de légumineuses dans les rotations de grandes cultures en finançant les émissions évitées dues au moindre recours à la fertilisation azotée. Le programme proposé s'applique en effet aux émissions de protoxyde d'azote produites par les processus de nitrification et de dénitrification des sols agricoles. Il est basé sur le lien entre :

- les quantités d'engrais azotés apportées sur les cultures,
- et les niveaux d'émission de N₂O associés à ces apports.

Pour satisfaire aux exigences de la procédure d'agrément des projets de Mise en Œuvre Conjointe (MOC, article 6 du protocole de Kyoto), le calcul des émissions évitées a été chaque fois effectué via une comparaison entre un scénario dit « de référence » et un scénario dit « de projet », dont nous détaillerons la construction ci-après. Le projet ayant été mis en œuvre avec des coopératives agricoles, cette distinction entre une situation « de référence » et une situation « de projet » s'est géographiquement opérée à l'échelle de chacun des départements sur lesquels la coopérative était présente.

Il est à noter par ailleurs que dans le cadre de ce projet, seule l'introduction de légumineuses en cultures pures a été considérée ; bien qu'ayant fait l'objet de nombreuses recherches et publications (Corre-Hellou *et al.*, 2013 ; Bedoussac *et al.*, 2013) les cultures en association n'ont pas été prises en compte jusqu'alors dans le périmètre du projet.

3.2.1 Construction du scénario « de référence »

Dans le cadre de ce projet MOC, le scénario de référence de chaque projet élémentaire du programme a été défini de la façon suivante :

1. L'assolement de référence correspond à l'assolement du département (dans lequel sont comprises les surfaces éligibles au projet) moyenné sur les trois années précédant l'année d'entrée en application du projet (données Agreste).
2. La fertilisation azotée de référence correspond à la moyenne de fertilisation régionale fournie par les enquêtes pratiques culturales réalisées tous les 5 ans par le MAAPRAT (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire) pour chaque culture (une fertilisation moyenne pondérée par les surfaces des cultures disponibles dans l'enquête sera utilisée pour les cultures hors champ de l'enquête).

Le choix de données statistiques par rapport à des pratiques individuelles pour le poste fertilisation repose sur le fait que le coût de collecte des données était moindre, et que cela permet par ailleurs à tous les agriculteurs (et non pas seulement les agriculteurs équipés des outils nécessaires pour tracer les données de pratiques de fertilisation) de participer au projet dans chaque coopérative.

L'inventaire des postes d'émission liés à l'usage des fertilisants minéraux est le suivant⁵ :

- Emissions provenant de l'épandage de fertilisants minéraux : 10% de l'azote épandu se volatilise en NH₃ et NO_x, et 1,25% du solde se volatilise en N₂O.

⁵ Les valeurs présentées ici sont celles qui ont été retenues lors de l'expérimentation du dispositif ; en cas de poursuite du projet, elles devront être actualisées afin de correspondre aux chiffres qui font actuellement consensus. Elles sont issues des lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, disponibles en ligne : http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

- Emissions provenant de la redéposition de NH₃ et NO_x précédemment émis : on considère que sur les 10% qui se sont volatilisés, 1% est redéposé puis volatilisé en N₂O.
- Emissions consécutives à la lixiviation : 30% de l'azote épandu est lixivié, et 2,5% de cet azote lixivié se volatilise en N₂O.
- Emissions provenant des résidus de culture : 1,25% de l'azote qui y est contenu est volatilisé en N₂O.

Selon nos hypothèses, les légumineuses sont les seules cultures à ne pas recevoir de fertilisation azotée.

3. La fertilisation organique est supposée nulle.

A partir du recroisement de ces deux jeux de données (assolement + fertilisation azotée associée à chaque culture) a été ensuite calculé pour chaque couple (coopérative ; département) un facteur d'émission de référence.

3.2.2 Construction du scénario « de projet »

La construction du scénario « de projet » s'est effectuée à partir de la remontée des déclarations PAC remplies par les agriculteurs participant à la campagne 2011/2012, et ce avec le concours des coopératives.

Là où la construction du scénario « de référence » induisait seulement un travail sur des données statistiques, le scénario « de projet » a nécessité de collecter des données réelles.

Les agriculteurs ayant signé une convention de partenariat avec leur coopérative se sont engagés à transmettre leur déclaration PAC (sous format papier ou électronique) en juin ; les coopératives ont chacune centralisé ces déclarations avant de les transférer à InVivo AgroSolutions pour traitement et saisie. Pour chaque coopérative, les assolements de chaque exploitation ont été entrés et agrégés par département. Une fois obtenues les données d'assolement pour chaque département, le facteur d'émission de projet a été calculé à partir des mêmes données d'inventaires que celles spécifiées ci-dessus.

3.2.3 Calcul des émissions évitées

Le calcul des émissions évitées pour chaque coopérative correspond à la somme des émissions évitées sur chacun de ses départements de collecte, soit :

$$\text{Emissions évitées par coopérative} = \sum_{k=1}^p S_Tot_k \times (FE_Projet_k - FE_Reference_k)$$

(avec S_Tot_k la surface totale du projet pour le département concerné)

La somme des émissions évitées par chaque coopérative correspond au total des émissions évitées grâce à la mise en place du projet.

L'un des intérêts de cette méthode de calcul des émissions évitées est de ne pas avoir recours à des références historiques pour établir le scénario « de référence » ; si celui-ci évolue avec l'actualisation des données Agreste, il reste d'une certaine façon figée et limite ainsi les comportements d'aubaine de la part des agriculteurs (ce que ne permet pas un système basé sur des références historiques au niveau de l'exploitation).

3.3 L'atonie des marchés du carbone complexifie la vente des crédits

L'objectif initial du dispositif était de vendre les crédits-carbone (Unités de Réduction d'Emissions) générés par l'implantation de légumineuses sur le marché européen de conformité EU-ETS. L'absence d'un signal-prix suffisamment convaincant sur ce marché a nécessité de se rediriger vers celui de la compensation volontaire. Ce dernier, étant un marché de gré à gré, est moins fluide que l'EU-ETS. Vendre des crédits-carbone en compensation volontaire induit des coûts de transaction : coûts de recherche et d'information (nécessité d'élaborer une stratégie commerciale, de contacter et rencontrer

des clients potentiels, etc.), coûts de négociation et de décision (rédaction et conclusion de contrats notamment).

Si la demande de crédits-carbone excède l'offre, le marché de gré à gré permet potentiellement au vendeur d'augmenter son surplus en faisant valoir les spécificités de son offre (ici en l'occurrence : impact sur la qualité de l'eau, sur la préservation de la biodiversité, etc.), qui n'auraient pas nécessairement été valorisées comme telles sur le marché de conformité, où les tonnes de carbone échangées sont davantage des commodités que des produits. Les coûts de transaction inhérents au marché de gré à gré peuvent éventuellement être compensés par une plus-value, due au fait que l'on ne vend plus une commodité mais une solution de compensation.

Il n'en reste pas moins que la réorientation de la vente des crédits-carbone générés vers le marché de compensation volontaire complexifie leur vente, là où des prix suffisamment incitatifs sur le marché de conformité auraient à la fois sécurisé les débouchés et facilité le déploiement du projet.

3.4 Des coûts associés conséquents qui justifient la mutualisation du dispositif

Du travail préparatoire sur la méthode jusqu'à sa validation finale, en passant par l'expérimentation du projet avec les coopératives, le portage de la procédure d'agrément demandée par la Direction Générale de l'Energie et du Climat a nécessité un travail important. Ici encore, les coûts de transaction sont nombreux ; ils correspondent pour la plupart à des coûts de surveillance (démarches administratives complexes pour constituer les dossiers, frais d'audits importants liés aux contrôles qualités) et à des coûts liés à la coordination des flux d'information (nombreuses interactions entre les nombreux acteurs du fait du caractère diffus des émissions, saisie des données).

De façon logique, ces coûts de transaction peuvent représenter des barrières à l'entrée rédhibitoires s'ils ne sont pas mutualisés par un seul acteur, capable de réaliser des économies d'échelles sur les coûts de transaction induits aussi bien par le travail de fond (procédure d'agrément de la méthode) que par l'animation et la coordination du projet ; dans le présent projet, ce rôle de mutualisation a été joué par InVivo AgroSolutions, filiale de l'Union InVivo.

4. Des premiers résultats encourageants mettent cependant en avant la nécessité de stabiliser la méthode

4.1 La méthode de calcul permet d'obtenir des résultats robustes, mais elle n'est pas systématiquement applicable

L'expérimentation menée lors de la campagne 2011/2012 a permis de générer un peu plus de 2000 Unités de Réduction d'Emission, soit un montant largement inférieur à ce qui était anticipé.

Ceci tient au fait que la méthode de calcul des émissions évitées ne s'est révélée pleinement applicable que sur 34% de la surface engagée dans l'expérimentation. Pour nombre de départements, il s'est en effet avéré que le scénario « de référence » et le scénario « de projet » n'étaient pas comparables ; les adhérents des coopératives impliquées dans l'expérimentation étant en moyenne davantage tournés vers les grandes cultures que les agriculteurs du département, leur assolement moyen ne correspondait pas nécessairement à l'assolement départemental renseigné par les statistiques Agreste (dans les régions d'élevage notamment). La différence significative entre la valeur élevée des facteurs d'émissions associés aux différentes cultures et celle, beaucoup plus basse, qui caractérise les prairies (permanentes/temporaires) a entraîné des distorsions ; les adhérents participant aux projets n'ayant pas (ou peu) de prairies au regard de la moyenne départementale gardent, après introduction de légumineuses dans l'assolement, un facteur d'émission projet presque systématiquement plus élevé que dans le scénario de référence.

Le cas des Ardennes (Figure 1) est similaire à la grande majorité des départements où le facteur d'émission semble augmenter après introduction des légumineuses (+49 kg éq. CO₂/an ici). Ceci est dû

au fait que les données choisies pour l'état de référence ne coïncident pas avec ce qu'était la sole initiale de l'agriculteur avant sa participation au projet. Quand l'état de départ ne peut être jugé représentatif (c'est le cas ici), la variation (qu'elle soit négative ou positive) du facteur d'émission ne peut donc pas être imputée à l'introduction des légumineuses. Celles-ci disposant du facteur d'émission minimal, leur introduction doit en effet nécessairement se traduire par une baisse des émissions au niveau de la sole globale⁶.

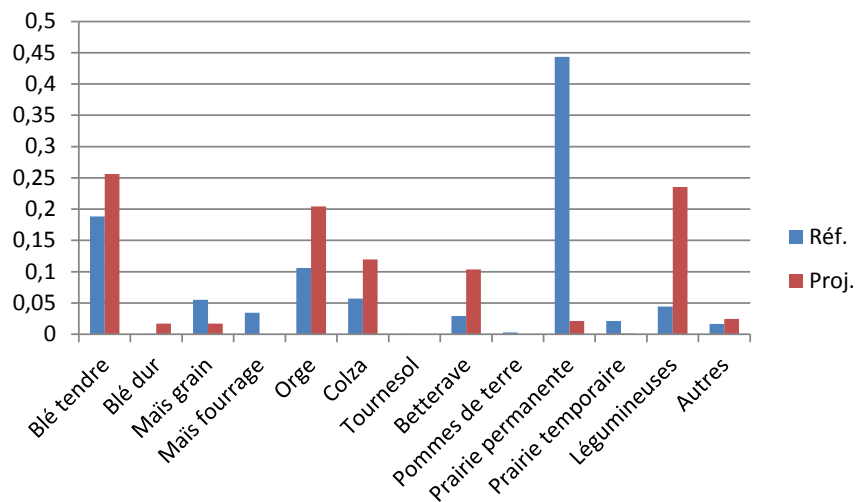


Figure 1 : Sole du département des Ardennes pour le scénario de référence, et pour le scénario projet (pour chaque culture, % de la sole).

En ce qui concerne l'Aube (Figure 2), une bonne coïncidence est observée entre les données départementales moyennes (Réf.) et celles des agriculteurs ayant participé au projet (Proj.), mise à part pour la sole de légumineuses, logiquement plus importante chez les agriculteurs ayant participé à l'expérimentation. Avec des données robustes collectées sur 11 630 ha, on obtient une diminution du facteur moyen d'émission à l'hectare (- 127 kg éq. CO₂/an ici), que l'on peut imputer notamment à l'augmentation de la part de légumineuses, qui passe de 4,5 à 11,1%.

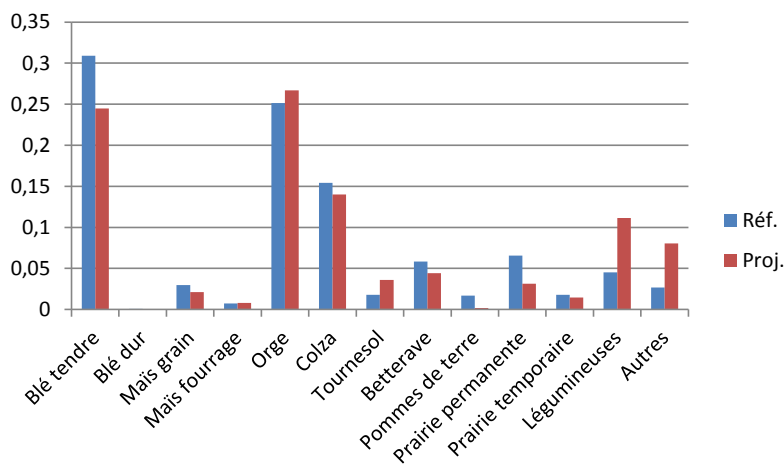


Figure 2 : Sole du département de l'Aube pour le scénario de référence, et pour le scénario projet (pour chaque culture, % de la sole).

Il ressort de ces deux cas particuliers que la méthode ne peut être appliquée que lorsque l'assolement des agriculteurs à l'état initial est similaire à l'assolement départemental moyen. Ces conditions sont notamment réunies lorsque :

- Les produits agricoles collectés par la coopérative auprès de ses adhérents correspondent aux grandes productions du département.,

⁶ Pour les cultures hors du champ de l'enquête (regroupées dans une catégorie « autres »), une moyenne pondérée des autres cultures citées a été réalisée afin de calculer une valeur de fertilisation minérale moyenne.

- Les adhérents participant à l'expérimentation dans le département sont nombreux ; l'agrégation de leurs assolements a alors une probabilité d'autant plus grande de tendre vers la moyenne départementale.

Lorsque ces conditions ne sont pas rassemblées, la méthode ne peut être appliquée et des solutions alternatives doivent être envisagées pour estimer les réductions d'émissions.

4.2 Lorsque la méthode de calcul n'est pas applicable, des alternatives peuvent être identifiées

Lorsque la comparaison entre la référence départementale Agreste et l'assolement de l'agriculteur ayant introduit des légumineuses dans ses rotations n'est pas pertinente, la méthode la plus simple est d'avoir recours à des critères basés sur l'allocation (plutôt que sur le processus ou le résultat final – Butault *et al.*, 2002) pour estimer les réductions d'émissions induites dans le temps par le projet. D'autres options que la référence départementale pourraient être retenues pour définir le scénario de base ; celui-ci pourrait se baser sur la petite région agricole (plus susceptible de correspondre à l'assolement de l'agriculteur), ou sur un département limitrophe correspondant davantage au profil de l'assolement de l'agriculteur participant au projet.

Le recours aux références historiques comporte pourtant plusieurs désagréments, au nombre desquels il faut citer :

- Son manque d'équité ; les agriculteurs travaillant sur des assolements excluant les légumineuses pourront plus facilement améliorer leur bilan que ceux en ayant déjà introduit, et vice-versa.

- Les effets d'aubaine qu'il génère ; les agriculteurs cultivant déjà des légumineuses sont tentés d'arrêter d'en cultiver durant les années de référence, et de les réintroduire ensuite pour bénéficier du dispositif, le tout sans qu'il n'y ait eu de réductions d'émissions réelles.

Malgré ceci, le recours à des références historiques semble être à l'heure actuelle la solution la plus simple pour définir des scénarios de référence robustes. Mais là encore, plusieurs périmètres pourraient être considérés comme valables pour calculer les émissions évitées :

- A l'échelle de l'exploitation : les références historiques peuvent s'établir à partir des déclarations PAC, le problème résidant dans leur collecte (aucun texte législatif n'établit d'obligation pour les exploitants de conserver leurs déclarations) et dans leur saisie informatique. Le calcul des émissions évitées s'effectue donc au niveau de l'exploitation, en comparant l'assolement retenu comme référence historique à l'assolement projet.

- A l'échelle de la coopérative : le calcul des émissions évitées peut s'établir à partir de l'assolement historique de la coopérative (si cette donnée est disponible), ou à partir de tonnages de collectes. Dans ce dernier cas, les rendements moyens permettent d'estimer à partir des volumes collectés une surface indicative de légumineuses, et, suivant, le niveau d'abattement des émissions obtenu. De façon similaire, les émissions évitées pourraient également être estimées à partir des volumes de semences vendues par la coopérative : cette solution a l'avantage de limiter les coûts de transaction, et de ne pas induire d'effets d'aubaine particuliers (les semences achetées par les adhérents seront *a priori* de toute façon utilisées).

4.3 Vers une prudente estimation d'un « forfait-carbone » lié à l'introduction de légumineuses dans les grandes cultures

Déterminer la réduction moyenne d'émissions due à l'introduction d'une légumineuse dans une rotation via une approche d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) pourrait contribuer à simplifier grandement le calcul des émissions évitées. Plusieurs travaux ont permis de dégager des premiers éléments quantitatifs, détaillés dans le Tableau 1.

Le volume d'émissions évitées chaque année dans un assolement incluant une légumineuse reste soumis à une marge importante d'incertitude; si on peut calculer, à partir des données ci-dessus (Nemecek *et al.*, 2008), que l'introduction de 20% de légumineuses aboutit à une moindre émission d'environ 60 kg éq.CO₂/ha/an (cas de la Meuse), des calculs à partir des données utilisées dans le cadre du projet (cf. méthode ci-dessus) permettent d'obtenir des niveaux d'abattement sensiblement plus élevés sur des départements limitrophes (Tableau 2) :

Cette régression agrège les différents résultats, nonobstant les choix de substitution retenus. Si la précision de la régression pourrait être encore améliorée en ajoutant des points au nuage, cette première estimation permet d'évaluer les réductions d'émissions à partir du « taux d'incorporation » de légumineuses dans des assolements qui n'en contiennent pas.

Tableau 1 : Résultats des principales publications établissant une relation entre l'introduction de légumineuses dans les assolements et la moindre émission de GES.

Référence	Description	Part d'introduction des légumineuses	Niveau d'abattement des émissions à l'échelle de l'assolement après introduction de légumineuses
Nemecek <i>et al.</i> , 2008	Insertion d'un pois dans une rotation colza-blé-blé-blé-orge à la place du 'second' blé (Meuse).	20%	8%
Nemecek <i>et al.</i> , 2008	Insertion d'un pois dans une rotation colza-blé-blé-orge entre les deux blés (Sachsen-Anhalt).	20%	11%
Carrouée <i>et al.</i> , 2012	Insertion d'un pois devant une rotation blé-colza-orge (Moselle).	13%	8%
Carrouée <i>et al.</i> , 2012	Insertion d'un pois devant une rotation blé-colza-orge (Bourgogne).	14%	10%
Carrouée <i>et al.</i> , 2012	Insertion d'un pois devant une rotation blé-colza-orge (Beauce).	22%	16%
Jeuffroy <i>et al.</i> , 2013	Insertion de pois dans des rotations triennales à dominante blé-colza (Île-de-France).	33%	20 – 25%
Auteurs	Comparaison de deux scénarios dans l'Aube ⁷ .	6,6% (passage de 4,5% à 11,1%)	8%

Niveau d'abattement associé ex-post

⁷ Dans le cas avancé par les auteurs et à la différence des autres références, le bilan GES *ex-post* ne s'explique pas uniquement par l'introduction de légumineuses ; comme on peut le voir dans la Figure 1, la diminution de la part des prairies permanentes dans l'assolement projet joue en défaveur du niveau d'abattement atteint (étant donné le faible facteur d'émission associé aux prairies). L'effet légumineuses n'est donc pas tout à fait isolé, mais reste significatif, ce qui nous conduit à garder cette référence.

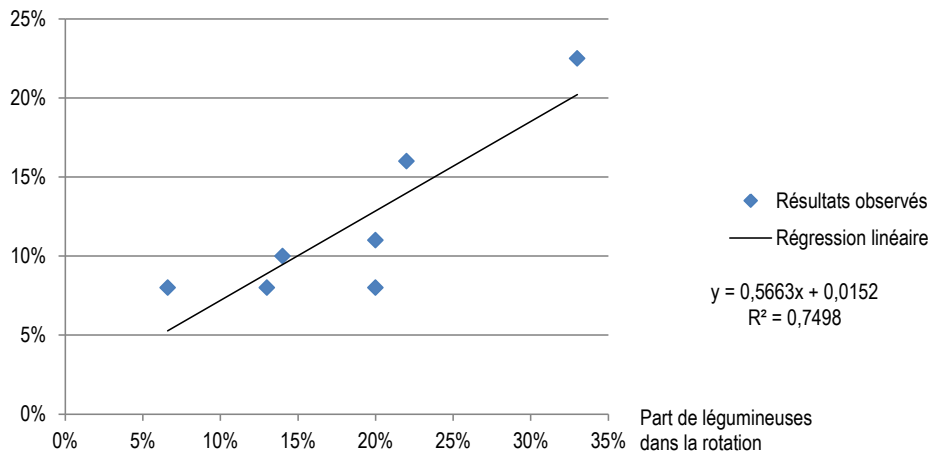


Figure 3 : Niveau d'abattement des émissions à l'échelle de l'assolement après l'introduction des légumineuses.

Le calcul 'expert' proposé dans l'étude INRA (pour plus de détails, voir Pellerin *et al.*, 2013) aboutit à un niveau d'abattement intermédiaire (environ 208 kg éq.CO₂/ha/an) lorsqu'on ventile à l'échelle de l'assolement l'atténuation induite sur un an par l'introduction d'une légumineuse (en l'occurrence 1044 kg éq.CO₂/ha/an).

L'intervalle d'estimation des émissions évitées par hectare et par an tout au long de la rotation est donc encore large ([60 ; 318]). Opter pour une valeur médiane à 200 kg éq.CO₂/ha/an permet par exemple de conclure à l'ordre de grandeur suivant : introduire une légumineuse sur l'équivalent de 20% de la surface cultivée d'une exploitation permet de diminuer l'empreinte carbone de cette dernière d'une tonne de CO₂.

Tableau 2 : Comparaison de l'impact sur le réchauffement climatique de deux assolements (avec/sans légumineuse).

AUBE - ARDENNES - MARNE - HAUTE MARNE

Culture	Facteur d'émission (kg éq. CO ₂ / ha) associé à chaque culture (données Agreste)	Assolement 1 (part de chaque culture)	Assolement 2 (part de chaque culture)
Blé	2047,4	33%	27%
Colza	1537,4	33%	27%
Orge	1547,1	33%	27%
Légumineuses	35,0	0%	20%
Facteur d'émission moyen associé à chaque assolement (kg éq. CO ₂ / ha / an)		1693,6	1375,5
Diminution du facteur d'émission entre les deux assolements			19%
Emissions évitées (kg éq. CO ₂ / ha / an)			318,032

4.4 Le signal-prix sur la tonne de carbone reste un déterminant clé pour le succès du dispositif

L'analyse développée jusqu'à présent a omis de considérer les enjeux économiques, cruciaux aussi bien pour les agriculteurs que pour les filières. Il est nécessaire que le signal-prix donné sur le carbone soit suffisamment incitatif pour les acteurs économiques.

Le prix actuel de la tonne de CO₂ (<10€) sur le marché EU-ETS et le prix plus élevé (entre 10€ et 20€) qui caractérise les transactions sur le marché de la compensation volontaire restent pour l'instant faiblement incitatifs ; en suivant l'hypothèse d'un abattement d'une tonne sur un assolement d'une

durée de cinq ans, le montant obtenu ventilé sur chaque année reste bas, même dans l'hypothèse d'un prix de vente atteignant 20€ la tonne.

Une élévation du prix du carbone sur le marché de conformité permettrait, en ouvrant des opportunités de débouchés « immatériels » (marchés du carbone), d'accélérer la structuration de la filière et la sécurisation des débouchés « matériels » (alimentation animale, alimentation humaine, usages non-alimentaires, etc.). Si le prix de marché du carbone reste aujourd'hui trop bas pour constituer un signal prix incitatif, des compromis intéressants peuvent être atteints sur le marché de conformité ; quoi qu'il en soit, les coopératives ont donc un rôle capital à jouer dans le développement de solutions de mutualisation pour sécuriser des débouchés matériels et immatériels.

Conclusion

La plupart des organismes stockeurs ont, lors des dernières décennies, contribué à façonner des systèmes sociotechniques donnant la priorité aux économies d'échelles plutôt qu'à la diversité des productions collectées. L'actuelle organisation des filières est tributaire de ces choix historiques, ce qui explique la difficulté que rencontrent les productions de faible volume (dont les légumineuses) à « trouver une place » dans les appareils logistiques existants, déjà sous contrainte de saturation.

Les coopératives peuvent cependant contribuer à infléchir cette dynamique via le développement de projets innovants, rendus possible par le principe de mutualisation des coûts et des bénéfices ; en développant le projet crédits-carbone légumineuses, le groupe coopératif InVivo souhaite ainsi actionner un levier supplémentaire – qui ne saurait être le seul – pour redynamiser les filières protéagineuses.

Si la méthode de calcul doit encore être améliorée pour que les émissions évitées soient correctement calculées puis compensées financièrement, l'efficacité du dispositif global a fait ses preuves lors de la campagne d'expérimentation avec les coopératives. Si la plus grande « inconnue » de l'équation réside à ce jour dans l'évolution du prix du carbone sur le marché de conformité, des alternatives commerciales viables peuvent (et doivent) être trouvées par les coopératives pour assurer la pérennité de ce type de projet ; la vente de crédits-carbone sur le marché de compensation volontaire est à ce jour la meilleure option pour valoriser les efforts accomplis pour limiter les émissions de GES d'origine agricole.

Références bibliographiques

ADEME, 2014. Analyse des démarches mises en place par les acteurs des filières agro-alimentaires en vue de réduire l'impact environnemental de la production agricole. Synthèse de l'étude réalisée par InVivo AgroSolutions en partenariat avec BIO Intelligence Services.

Assens C., 2013. Entre territoire et marché – la stratégie bipolaire des coopératives agricoles. *Revue française de gestion*, 230, 35-44.

Bedoussac L., Triboulet P., Magrini M.-B., Rambault G., Foissy D., Corre-Hellou G., 2013. Conséquences de l'introduction des cultures associées céréale-légumineuse à graines dans les filières. Analyse du point de vue des agriculteurs et des coopératives. *Innovations Agronomiques* 32, 199-212.

Bousseau D., 2009. Associations céréales-légumineuses et mélanges de variétés de blé tendre : point de vue agronomique et pratique d'une coopérative. *Innovations Agronomiques* 7, 129-137.

Butault J.-P., Chantreuil F., Dupras P., 2002. Critères d'équité et répartition des aides directes aux agriculteurs. *Économie rurale* 271, 84-91.

Carrouée B., Nemecek T., Schneider A., Flénet F., Jeuffroy M.-H., 2012. Introduction du pois protéagineux dans des rotations à base de céréales à paille et colza : impacts sur les performances économiques et environnementales. *Innovations Agronomiques* 25, 125-142.

Compère P., Poupard A., Pursegile F., 2013. L'agroécologie, une ambition pour les coopératives. *Revue Projet* 333, 76-83.

Corre-Hellou G., Bédoussac L., Bousseau D., Chaigne G., Chataigner C., Celette F., Cohan J.-P., Coutard J.P., Emile J.-C., Floriot M., Foissy D., Guibert S., Hemptinne J.-L., Le Breton M., Lecompte C., Marceau C., Mazoué F., Mérot E., Métivier T., Morand P., Naudin C., Omon B., Pambou I., Pelzer E., Prieur L., Rambaut G., Tauvel O., 2013. Associations céréale-légumineuse multi-services. *Innovations Agronomiques* 30, 41-57.

Dagnino B., 2007. La dynamique des stratégies de coopération. *Revue française de gestion* 2007/7, 176, 87-98.

Fares M., Magrini M.-B., Triboulet P., 2012. Transition agroécologique, innovation et effets de verrouillage : le rôle de la structure organisationnelle des filières – le cas de la filière blé dur française. *Cahiers de l'Agriculture* 21, 34-45.

Jeuffroy M.-H., Baranger E., Carrouée B., De Chezelles E., Gosme M., Hénault C., Schneider A., Cellier P., 2013. Nitrous oxide emissions from crop rotations including wheat, oilseed rape and dry peas. *Biogeosciences* 10, 1787-1797.

Magrini M.-B., Triboulet P., Bedoussac L., 2013. Pratiques agricoles innovantes et logistique des coopératives agricoles. *Economie Rurale*, 338.

Meynard J.-M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Fares M., Le Bail M., Magrini M.B., Savini I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.

Mollard A., 2003. Multifonctionnalité de l'agriculture et territoires : des concepts aux politiques publiques. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales* (66), 28-54.

Nemecek T., Von Richthofen J.-S., Dubois G., Casta P., Charles R., Pahl H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy* 28, 380-393.

Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p.