Étude de faisabilité pour la compensation carbone dans les sols agricoles de territoires agri-urbains

Clarisse Gimat et Jimmy Farjots
Terre et Cité
Avec le soutien de Mathieu Nogues, Alexandre Barret et Maëlis Pouzet

Florent Levavasseur
UMR ECOSYS, INRA Grignon

Renaud Bettin et Luc Bachelet
Carbone 4

Aline Lapierre
Céréopa

Rapport final

Le 23 octobre 2019

Table des matières

I. PARTIE 1 : PRESENTATION DE L'ETUDE 10
A. L'historique de l'étude 11
B. Objectifs et structure de l'étude 12
C. Périmètre de l'étude 15
1. Seine Aval 15
2. La plaine de Versailles 16
3. Cœur Essonne 16
4. L'association Terre et Cité et la coordination du projet 17
D. Parties prenantes dans le projet 19
1. Terre et Cité 19
2. Les territoires partenaires 19
3. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) 19
4. Le Centre d'études et de recherche sur l'économie et l'organisation des productions animales (CEREOPA) 19
5. Carbone 4 19
6. Agriculteurs du périmètre de l'étude 20
7. Institute for Climate Economics (I4CE) 20
8. Le Groupe de Travail numéro 1 du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GT1 du GIEC) 20
9. Chambre d'Agriculture 20
10. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) 21
11. Les collectivités 21
12. Autres parties prenantes 21
II. PARTIE 2 - FAISABILITÉ TECHNIQUE 22
A. Etude du potentiel de compensation de pratiques agricoles 23
1. Introduction 24
a) Gaz à effet de serre et agriculture 24
b) Compensation carbone volontaire 24
c) Contexte et objectif de la présente étude 25
2. Méthodologie de l'étude 25
a) La zone d'étude 25

(1) Présentation générale....25
(2) Agriculture du territoire....26
(3) Contexte pédoclimatique....27
b) Choix des actions et analyse du potentiel de compensation carbone....28
c) Estimation du bilan GES....29
(1) Principe général....29
(2) Recensement des émissions....30
d) Estimation du potentiel de compensation carbone....31
3. Estimation du potentiel de de compensation carbone de changements de pratiques / systèmes de culture....33
a) Compostage de déchets verts et/ou biodéchets....33
(1) Introduction....33
(2) Bilan gaz à effet de serre comparé du compostage et de l'incinération....34
(a) Unité fonctionnelle....34
(b) Stockage de carbone lié au compostage....34
(c) Economie d'engrais PK lié au compostage....35
(d) Économie d'engrais azotés lié au compostage....36
(e) Émissions de N2O au champ lié au compostage....36
(f) Émissions lors du compostage....37
(g) Collecte et fonctionnement d'une plateforme de compostage....37
(h) Émissions liées au transport et à l'épandage de compost....38
(i) Autres émissions associées à l'incinération....38
(j) Comparaison des bilans carbone du compostage et de l'incinération....38
(3) Estimation du potentiel de compensation carbone....39
(a) Additionnalité....39
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions....40
(c) Gisement....40
(d) Evaluation économique pour l'agriculture....40
(e) Conclusion sur le compostage....41
b) Substitution d'engrais de synthèse par l'urine....41
(1) Introduction....41
(2) Bilan gaz à effet de serre du recyclage des urines en agriculture....43
(a) Unité fonctionnelle....43
(b) Recensement des émissions....43

(3) Estimation du potentiel de compensation carbone 44
(a) Additionnalité 44
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions 44
(c) Gisement 44
(d) Evaluation économique pour l'agriculture 45
(e) Conclusion sur l'épandage d'urine 46
c) Réduction du travail du sol 46
(1) Introduction 46
(2) Bilan gaz à effet de serre de la réduction du travail du sol 47
(3) Estimation du potentiel de compensation carbone 47
(a) Additionnalité 47
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions 48
(c) Gisement 48
(d) Evaluation économique pour l'agriculteur 48
(e) Conclusion sur la réduction du travail du sol 49
d) Couverts végétaux 50
(1) Introduction 50
(2) Définition des scénarios 50
(3) Recensement des émissions 51
(a) Semis du couvert 51
(b) Stockage de carbone 51
(c) Economie d'engrais 52
(d) Destruction du couvert 52
(4) Comparaison des bilans GES 53
(5) Estimation du potentiel de compensation carbone 53
(a) Additionnalité 53
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions 54
(c) Gisement 54
(d) Evaluation économique pour l'agriculture 55
(e) Conclusion sur les couverts végétaux 56
e) Optimisation / modification des pratiques de fertilisation 56
(1) Bilan GES 56
(a) Optimisation de la dose d'azote minérale sans perte de rendement, dont meilleure prise en compte des effets de la fertilisation organique 56

(b) Réduction de la dose d'azote minérale engendrant une perte significative de rendement 57
(c) Enfouissement des engrais minéraux....57
(d) Enfouissement des engrais organiques....57
(2) Estimation du potentiel de compensation carbone....58
(a) Additionnalité 58
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions 59
(c) Gisement....59
(d) Evaluation économique pour l'agriculture....60
(e) Conclusion 60
f) Insertion de légumineuses à graines (hors couverts végétaux)....61
(1) Introduction et bilan GES....61
(2) Estimation du potentiel de compensation carbone....61
(a) Additionnalité 61
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions 62
(c) Gisement....62
(d) Evaluation économique pour l'agriculture....62
(e) Conclusion sur les légumineuses 63
g) Inhibiteur de nitrification....63
(1) Introduction et bilan GES....63
(2) Estimation du potentiel de compensation carbone....64
(a) Additionnalité 64
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions 64
(c) Gisement....65
(d) Evaluation économique....65
(e) Conclusion sur les inhibiteurs de nitrification....65
h) Méthanisation 65
(1) Introduction et bilan GES....65
(2) Estimation du potentiel de compensation carbone....67
(a) Additionnalité 67
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions 67
(c) Gisement....67
(d) Evaluation économique pour l'agriculture....67
(e) Conclusion sur la méthanisation....68

i) Bandes enherbées....68
(1) Introduction et bilan GES....68
(2) Estimation du potentiel de compensation carbone....69
(a) Additionnalité....69
(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions....69
(c) Gisement....69
(d) Evaluation économique pour l'agriculture....69
(e) Conclusion sur les bandes enherbées....70
4. Aspects transversaux des méthodologies de suivi....70
a) Economie d'engrais....70
b) Vérification du stockage de carbone dans les sols....70
c) Mesure des émissions de N2O au champ....71
5. Synthèse des potentiels de compensation carbone....72
B. Etude de la compensation carbone en agriculture et sa faisabilité à l'échelle du territoire en île de France....77
1. Objet et périmètre de l'étude....78
a) Problématique....78
b) Périmètre géographique de l'étude....78
c) Les pratiques d'atténuation et compensation pertinentes en région IDF....79
d) Rappel sur les conditions de la labellisation « bas carbone »....80
2. Etat de l'art des projets et méthode de quantification carbone en agriculture....81
a) Exemples de projets labellisés bas carbone....81
b) 3.2.2. Références et outils existants en comptabilisation carbone pour le secteur agricole....83
3. Propositions méthodologiques pour la mesure du bilan GES global système....84
a) Le bilan GES Global Ferme....84
(1) Les approches possibles....84
(2) Les types de systèmes agricoles concernés....85
(3) Les hypothèses à collecter et leur représentativité....85
(4) Estimation du coût pour différentes options....86
b) Le bilan GES Global Territoire....87
(1) Les approches possibles....87
4. Synthèse et recommandations....89
a) Synthèse des approches possibles....89

b) Recommandations pour le suivi global Ferme 89
c) Recommandations pour le suivi global Territoire.....90
d) Utilisation de ClimAgri pour des projets de compensation carbone à l'échelle territoriale.....90
III. PARTIE 3 - FAISABILITÉ SOCIO-ÉCONOMIQUE 92
A. Etude de la faisabilité socio-économique 93
1. Introduction 94
2. L'offre locale en crédit carbone.....94
a) Le cadre de certification du Label Bas Carbone.....94
(1) Carbon Agri 95
(2) Une méthode grande culture spécifique en devenir ? 95
(3) Méthodologies Label Bas Carbone en cours de création : 96
b) Les pratiques agricoles pertinentes pour réduire le bilan carbone.....97
3. La demande en crédit carbone.....97
a) Méthode d'évaluation de la demande 98
b) Catégorisation des organisations ayant répondu 98
c) Résultats et synthèse des entretiens 102
4. Préconisations.....109
a) Les canaux de vente des crédits carbone.....109
(1) Les entreprises.....109
(2) Les marketplaces.....109
(3) Des entreprises spécialisées dans l'intermédiation des crédits carbone 110
(4) Le broker (courtier, en français).....110
(5) Notre préconisation.....110
b) Les cibles potentielles.....110
c) Les axes marketing.....111
(1) Un prix du carbone fixe.....112
(2) Un prix du carbone différencié 113
(3) Quel coût pour la certification ?.....114
(4) Qui pour vendre les crédits carbone ? 115
d) Plan d'action préconisé.....116
B. Etude sociologique 117
1. Introduction 118
a) Objectifs de l'enquête 118

b) Méthode 118
c) Efficacité des prises de contact....118
d) Explication du déroulement des entretiens....120
2. Présentation générale des enquêtés 120
a) Échantillon de la population faisant l'objet de l'enquête 120
b) Catégorie d'âge 120
c) Représentation des territoires 121
d) Type d'agriculture pratiqué 122
e) Activité des exploitations....123
f) Vente en circuit court 124
g) Retours de l'enquête sur le mécanisme de compensation carbone....124
(1) Agriculture et climat 124
(2) Rôle des agriculteurs et lien avec le territoire....127
(3) La compensation carbone :....129
(a) Connaissances préalables sur la compensation carbone 129
(b) Motivations....129
(c) Freins....130
(4) Pratiques déjà en place - Additionnalité 132
(5) Prêt à changer de pratiques ?....133
h) Potentiel pour des changements de pratiques 134
(1) Retours des agriculteurs sur les pratiques envisagées dans le cadre de l'étude 135
(a) Couverts végétaux (hors CIPAN) 135
(b) Légumineuses....136
(c) Plantation de haies / Agroforesterie intra-parcellaire 139
(d) Intégration de bandes enherbées inter-parcellaire....144
(e) Utilisation de la matière organique 145
(f) Epandage d'urine....147
(g) Projet de méthaniseur 149
(2) Durée réaliste de mise en place....151
(3) Etes-vous intéressé par le devenir du mécanisme et à l'idée de proposer un projet le cas échéant ? 152
i) Conclusion....152

IV. PARTIE 4 : CONCLUSION SUR LE POTENTIEL D'UNE DÉMARCHE TERRITORIALE 156

A. Réflexions sur le déploiement d'une méthodologie territoriale.....157

B. Approche territoriale de la compensation 158

C. Les cadres institutionnels mis en place par les collectivités pouvant soutenir la démarche.....159

V. CONCLUSION GENERALE 163

IV. Annexes et Bibliographie 168

A. Annexes de l'Etude de la faisabilité socio-économique de la compensation carbone 168

B. Annexes Etude de la compensation carbone en agriculture et sa faisabilité à l'échelle du territoire en île de France 169

1. Exemple de résultats GES sur systèmes GC+CI (Grandes Cultures + Cultures Industrielles) du Grand Est 169

2. Périmètre et hypothèses de la quantification GES mise en œuvre dans la démarche Grignon Energie Positive.....170

3. Les étapes de la démarche bas carbone proposée dans CARBON AGRI (CNIEL, Idele).....171

C. Bibliographie 172

1. Bibliographie de la faisabilité technique.....172

a) Articles scientifiques 172

b) Autres sources.....174

2. Bibliographie étude sociologique 175

I. PARTIE 1 : PRESENTATION DE L'ETUDE

Clarisse Gimat
Terre et Cité

A. L'historique de l'étude

L'association Terre et Cité, créée par les agriculteurs au début des années 2000 anime un espace d'échange entre tous les acteurs du territoire à travers quatre collèges qui la structurent (agriculteurs, élus, société civile et associations). Aujourd'hui chargée de l'animation et de la gestion d'un programme européen LEADER, Terre et Cité accompagne des projets en lien avec les espaces agricoles et naturels.

Après avoir constaté que le territoire regroupait une forte proportion d'établissements de recherche sur l'environnement et le vivant (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, INRA, LabEx BASC, …), l'association a initié dès 2013 avec le laboratoire d'excellence Biodiversité, Agroécosystèmes, Société, Climat (LabEx BASC) des relations avec les organismes de recherche afin de monter des projets de recherche appliqués au territoire (PROLEG porté par l'INRA, Dynamiques porté par l'Université Paris-Sud, ORACLE porté par le LSCE, les Ateliers de Saclay en partenariat avec la FIRE et le LabEx BASC, …)

Parmi ces entités de recherche présentes sur le Plateau de Saclay, l'Unité de Support Technique (UST) du premier Groupe de Travail (GT1) du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) s'est installée à Saint-Aubin.
Désireux de minimiser l'impact de ses déplacements sur l'environnement, le GT1 du GIEC souhaite compenser ses émissions de carbone localement sur le Plateau de Saclay, en lien avec les espaces agricoles et naturels du territoire.
La compensation carbone pourrait se faire par captage de carbone dans les sols agricoles.

C'est pourquoi, début 2016, en l'absence de possibilité de compenser localement ses émissions sur le Plateau de Saclay, le GT1 du GIEC a sollicité Terre et Cité pour travailler sur ces questions de compensation carbone dans les sols agricoles.

L'association T&C a signé une convention avec l'ADEME datée du 5 juillet 2017, dans le cadre d'une aide financière pour la réalisation d'une étude de faisabilité visant à étudier les possibilités de mener des projets de compensation carbone par le biais de l'agriculture sur le territoire du Plateau de Saclay. Cette subvention de l'ADEME vient en co-financement des subventions apportées par le Conseil départemental de l'Essonne, d'un mécène privé et du GT1 du GIEC, par le biais de l'Université Paris-Saclay.

Afin de mener une étude en phase avec les travaux réalisés par d'autres opérateurs en relation avec le label Bas-Carbone, l'association a fait le choix d'échanger avec d'autres acteurs tels que l'Institut de l'élevage, la Chambre d'Agriculture d'Île-de-France, I4CE, l'ADEME, Carbone 4, ou la responsable du projet Carbocage. Ces échanges ont conduit à une meilleure compréhension des enjeux du label carbone au niveau national, et à reconsidérer le périmètre de l'étude au niveau local. En effet, seize exploitations œuvrent actuellement sur le Plateau de Saclay dont une dizaine en grandes cultures. Or les projets qui pourront être déposés à la DGEC dans le cadre du label Bas-Carbone devront certainement regrouper un nombre d'exploitations supérieur au nombre d'exploitation présentes sur le périmètre statutaire de

Terre et Cité. Il a semblé risqué et dommageable en termes de représentativité des résultats de l'étude de rester sur un périmètre trop restreint.

L'association a donc mené un travail d'information et de construction de partenariats auprès de trois autres territoires agri-urbains.
Les territoires agri-urbains, qui ont vu le jour en 1999 par le programme agri-urbain de la région Ile-de-France, sont des territoires présentés comme des laboratoires où s'inventeraient de nouvelles façons d'organiser et d'imaginer les espaces et les interactions entre la ville et l'agriculture. A proximité immédiate de l'agglomération parisienne, les espaces et les activités agricoles répondent à des enjeux environnementaux, sociétaux et économiques de plus en plus reconnus. Les territoires agri-urbains participant au Programme de Recherche pour et sur le Développement Régional se retrouvent sur certaines thématiques spécifiques comme les critères socio-spatiaux (superficie, densité d'habitants), le modèle de gouvernance (les acteurs sont les agriculteurs, les élus et la société civile) ou encore l'animation (aider au dialogue entre les parties prenantes). Du fait de ces similarités, les projets de ces territoires peuvent se recouper au travers de grandes problématiques : faire valoir l'agriculture comme une composante des projets urbains, développer des filières autour des bioressources, promouvoir la préservation des ressources naturelles (eau, sol, air, biodiversité) en soutenant une agriculture durable, encourager la diversification des productions, développer les circuits courts de proximité, maintenir la fonctionnalité de l'activité agricole, etc.

Le premier comité de pilotage de l'étude s'est réuni en septembre 2018, suivi de5 autres comités réunissant les territoires partenaires, la chambre d'agriculture d'Île-de-France, l'ADEME, l'Essonne, une représentante de l'unité technique du GT1 du GIEC, les agglomérations partenaires de Terre et Cité, l'INRA, le CEREOPA, et Carbone 4. L'I4CE a participé à certains comités de pilotage.

B. Objectifs et structure de l'étude

Le projet présenté à l'ADEME avait pour objectif d'étudier les potentialités du déploiement de projets de compensation carbone dans le cadre du Label Bas-Carbone sur des territoires agri-urbains franciliens par :

- La réalisation d'une étude de la faisabilité technique des mesures de compensation carbone à l'échelle des exploitations individuelles sur le périmètre ;
- La réalisation d'une étude de la faisabilité socio-économique de la compensation carbone sur le périmètre de l'étude ;
- Conclure sur la pertinence d'une approche territoriale ;
- La valorisation et la médiation scientifique du projet.

Le présent rapport est donc construit pour répondre à ces objectifs, chacune d'entre elle incluant des contributions différentes :

- Partie 1 : Faisabilité technique
  - Etude du potentiel de compensation de pratiques agricoles - Florent Levavasseur, INRA
  - Etude de la compensation carbone en agriculture et sa faisabilité à l'échelle du territoire en île de France - Aline Lapierre, CEREOPA
- Partie 2 : Faisabilité Socio-économique
  - Etude socio-économique auprès des entreprises - Luc Bachelet et Renaud Bettin, Carbone 4
  - Étude sociologique auprès des agriculteurs - Clarisse Gimat et Jimmy Farjots, Terre et Cité
- Conclusion sur la pertinence d'une approche territoriale - Clarisse Gimat en restitution du Comité de Pilotage
- La valorisation et la méditation scientifique du projet ne feront pas l'objet d'un paragraphe dans ce document. Comme convenu, l'étude fera l'objet d'une synthèse qui sera imprimée et distribuée par l'association et ses partenaires. Des évènements seront organisés en vue de communiquer sur les résultats auprès du grand public, et des entreprises locales et des panneaux d'expositions permettront de sensibiliser le grand public aux résultats et enjeux soulevés par l'étude.

Dans la suite de l'étude, il sera fait référence à chaque contribution en les nommant respectivement :

- "étude INRA" (Etude du potentiel de compensation de pratiques agricoles - Florent Levavasseur, INRA de la partie 2)
- "étude CEREOPA" (Etude de la compensation carbone en agriculture et sa faisabilité à l'échelle du territoire en île de France - Aline Lapierre, CEREOPA de la partie 2)
- "étude Carbone 4" (Etude socio-économique auprès des entreprises - Luc Bachelet et Renaud Bettin, Carbone 4" de la partie 3)
- "étude T&C" (Étude sociologique auprès des agriculteurs - Clarisse Gimat et Jimmy Farjots, Terre et Cité de la partie 3)

A l'heure actuelle, pour le secteur agricole, seule la méthode Carbon Agri, rédigée par l'Institut de l'Elevage a été finalisée et validée par la Direction Générale de l'Energie et du Climat. La méthodologie Carbon Agri s'adresse aux porteurs de projets d'élevages laitiers ou bovins.
D'autres méthodologies sont en cours de rédaction, notamment au sujet des couverts végétaux, et des haies. Parallèlement à cela, certaines méthodologies portent sur l'échelle de l'exploitation, tandis que d'autres sont pensées à une échelle territoriale. La méthodologie Carbon Agri, par exemple est pensée sur l'ensemble du système « exploitation ». A l'opposée si une méthodologie porte sur les couverts végétaux en grande culture, elle concernera une pratique agricole donnée et pourra être appliquée sur un périmètre à échelle territoriale.
C'est pourquoi la partie 1 propose une entrée par pratiques agricoles avec la contribution de l'INRA, et une entrée par systèmes avec celle du CEREOPA.

Il est à noter qu'il a été fait le choix de ne pas étudier les systèmes de haies et agroforestiers dans l'étude INRA. Ces thématiques nécessitent en effet des compétences qui ne

correspondent pas aux spécialités des contributeurs, et il a semblé préférable d'attendre les résultats du travail mené dans le cadre du projet CARBOCAGE.

L'étude sociologique a permis de balayer les pratiques agricoles étudiées dans la contribution de l'INRA afin d'identifier la réceptivité des agriculteurs à chacune d'elle. Certaines pratiques comme la plantation de haies ou l'agroforesterie ont été ajoutées. En effet, bien que l'étude CARBOCAGE ait également inclut une enquête sociologique, au regard des différences culturelles et pédo climatiques avec le périmètre de la Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, il a semblé nécessaire de capter l'opinion des agriculteurs sur ces pratiques sur le périmètre de l'étude.

C. Périmètre de l'étude

Le périmètre de l'étude est constitué de quatre territoires :

- Le Plateau de Saclay et ses vallées qui regroupent 20 communes et 16 exploitations agricoles ;
- Le territoire du GAL Seine Aval qui regroupe 64 communes et 123 exploitations agricoles ;
- Le territoire de l'agglomération Cœur Essonne qui regroupe 21 communes et 51 sièges d'exploitations ;
- Le territoire de la Plaine de Versailles qui regroupe 27 communes et 96 exploitations agricoles par un partenariat avec l'Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets (APPVPA)

Cela représente 132 communes, et environs 340 agriculteurs.

1. Seine Aval

Seine Aval est un territoire LEADER avec un GAL porté par l'association ADADSA (Association Pour Le Développement Agricole Durable En Seine Aval) créée en 2009 et présidée par Sophie Primas. Le territoire d'action s'étend sur 64 communes de la vallée de la Seine dans le nord des Yvelines (département de l'ouest parisien) sur lesquelles on retrouve 123 exploitations. L'association ADADSA a pour objectifs l'accompagnement des adhérents dans la mise en place de projets (montage, financements) et le rassemblement de tous les partenaires du monde agricole et urbain afin de mettre en place des projets collectifs. Les grandes thématiques sur lesquelles se penchent ce territoire sont le développement d'une offre alimentaire de proximité et de qualité accessible à tous, la valorisation des relations entre les milieux urbain et agricole et le développement de filières innovantes pour la transition écologique.

Figure 1 : Carte du territoire Seine Aval
Electricite Seine Aval. (2019, 2 Octobre). Seine Aval. Consulté sur http://www.electricite-seineaval.fr/images/0-MENU/CarteTransport.jpg

2. La plaine de Versailles

L'Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets a été créée en 2004 et est actuellement présidée par Patrick Loisel. Organisée en 3 collèges (agriculteurs, élus et société civile), son territoire d'action regroupe 27 communes du sud-ouest de la capitale sur lesquelles on retrouve 96 exploitations agricoles et 10 écuries. Ancien territoire LEADER de 2008 à 2014, cette association a pour objectif de créer un espace de communication entre les différents acteurs locaux pour aboutir à des projets de développement durable, communs aux agriculteurs et aux citadins. Aujourd'hui, l'APPVPA travaille sur plusieurs projets comme l'éducation à l'agriculture et l'environnement, la restauration et la valorisation des trames vertes, un projet de transformation de produits locaux etc.

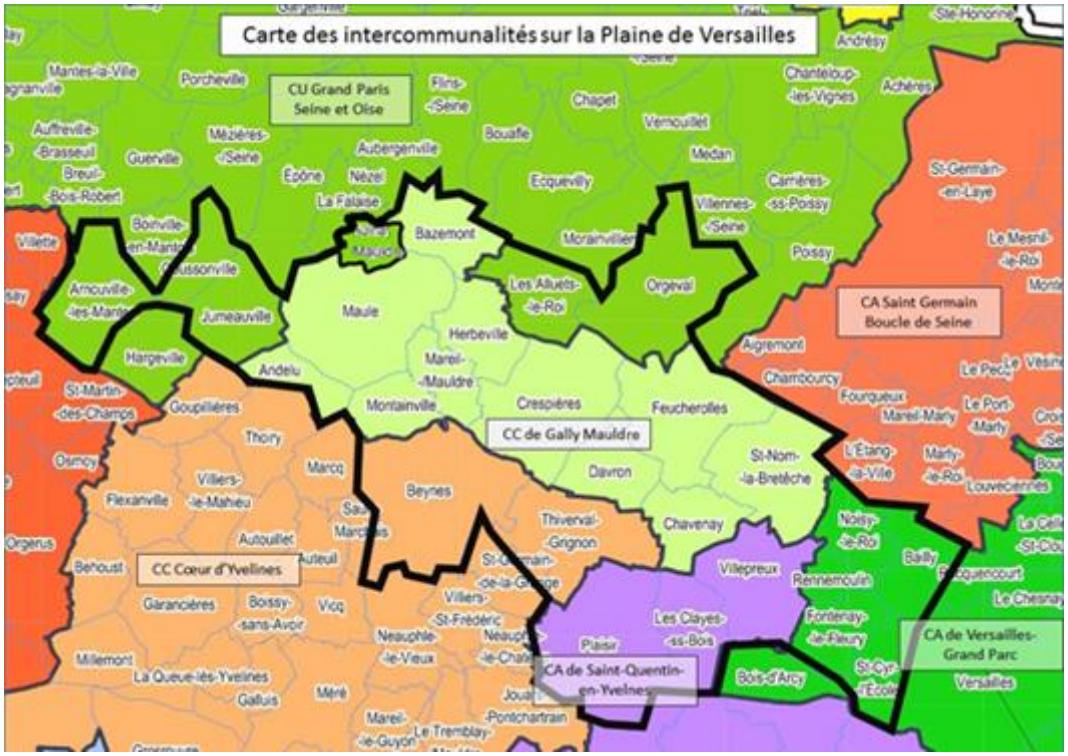


Figure 2 : Carte du territoire de la plaine de Versailles.
Plaine de Versailles (2019, 2 octobre). Consulté sur http://www.plainedeversailles.fr/plaine/commune.php

3. Cœur Essonne

Cœur d'Essonne Agglomération est une communauté d'agglomération qui a été créée en 2016 suite à la fusion de la Communauté d'agglomération du Val d'Orge et de la Communauté de communes de l'Arpajonnais. Le territoire s'étend sur 21 communes du sud parisien en plein cœur du département de l'Essonne sur lesquelles on retrouve 51 exploitations agricoles.

Les grandes thématiques sur lesquelles travaille Cœur d'Essonne sont la préservation de l'agriculture, la valorisation et le développement du lien entre mondes urbain et agricole et de la filière de proximité, le développement des filières agricoles (particulièrement les filières BIO en lien avec son projet de transition agricole et alimentaire Sésame, lauréat de l'appel à projets

TIGA) ainsi qu'un projet de ferme biologique en polyculture élevage au niveau de la base aérienne.

Figure 3 : Carte du territoire de Coeur Essone.
Coeur essone agglomération (2019, 2 octobre). Consulté sur :https://www.coeuressonne.fr/fileadmin/templates/master/img/img_communes.png

4. L'association Terre et Cité et la coordination du projet

L'association Terre et Cité a été créée en 2001 à l'initiative d'agriculteurs locaux pour porter l'audit patrimonial du Plateau de Saclay qui visait à évaluer l'avenir de l'agriculture sur ce territoire face à la pression urbaine. Cent vingt acteurs du territoire (élus, chercheurs, associations, paysagistes, entreprises, …) ont été interrogés, et il en est ressorti qu'il était essentiel qu'une agriculture de qualité et de proximité soit maintenue et développée sur cette espace péri-urbain.

Terre et Cité a pour objectif de pérenniser, promouvoir et développer une agriculture de qualité sur le Plateau de Saclay et ses vallées et de préserver et mettre en valeur le patrimoine associé : naturel, forestier, bâti, hydraulique, culturel…

Pour atteindre cet objectif, Terre et Cité anime un espace d'échange entre les acteurs du territoire.

L'association est administrée par 4 collèges (agriculteurs, associations, société civile, élus) :
- Le collège des agriculteurs, compte aujourd'hui plus de 90% des exploitations agricoles du territoire, avec aussi bien des petites installations en maraîchage bio expérimental, que des grandes exploitations familiales céréalières, ou des fermes expérimentales.
- Le collège de la société civile qui rassemble des habitants du territoire, des entreprises comme EDF recherche ou ENGIE par exemple, des établissements scolaires comme le lycée

agricole Lasalle Igny ou l'université Paris Saclay et des instituts de recherche comme l'INRA Île-de-France ou le LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement)

- Le collège des associations qui réunit des associations locales comme l'AMAP des Jardins de Cérès, ou Les Amis de la Vallée de la Bièvre, etc…
- Le collège des élus qui inclut l'ensemble des 20 communes et des trois communautés d'agglomérations du périmètre de l'association Terre et Cité

Forte de cette diversité d'acteurs, Terre et Cité ouvre un espace de dialogue et d'échange pour préserver une agriculture durable et de qualité sur le Plateau de Saclay. Ces espaces d'échange prennent la forme d'animations territoriales, d'événements autours de la découverte du territoire ou d'actions de sensibilisation pour petits et grands à l'environnement et aux richesses du Plateau de Saclay.

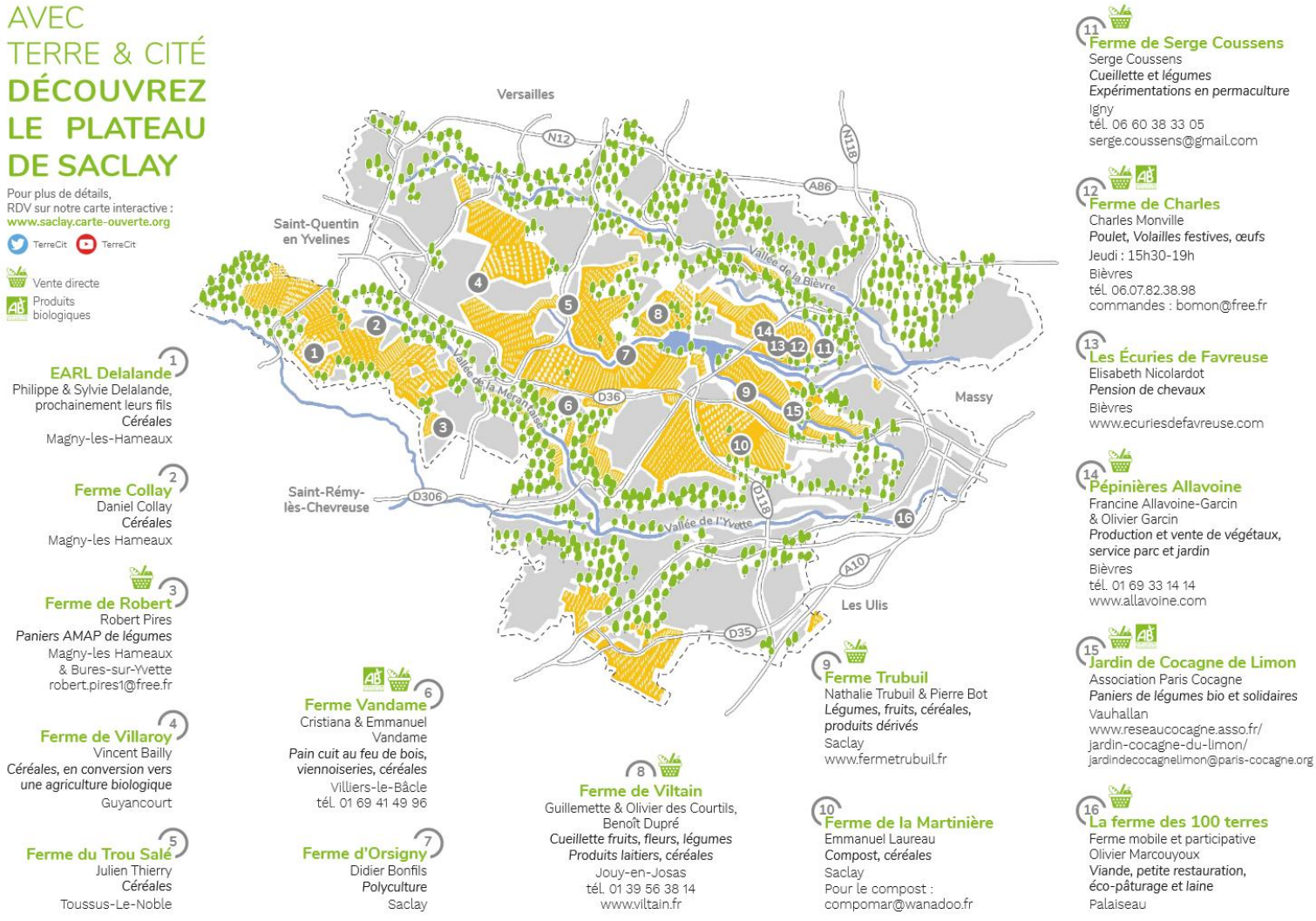


Figure 4 : Carte du périmètre du territoire de Terre et Cité.

D. Parties prenantes dans le projet

1. Terre et Cité

L'association coordonne l'étude ainsi que les actions relatives à l'étude menées sur les autres territoires (enquête sociologique, étude de marché, relevés pour étude technique), et ce en partenariat avec les chargés de missions locaux respectifs. Ces derniers ont eu pour mission de mettre en relation les différents opérateurs de l'étude avec les acteurs du territoire, ou de faciliter la prise de contact. Une convention de partenariat a lié chaque territoire à l'association afin de fixer des responsabilités respectives.

L'association a fait appel aux services de Clarisse Gimat, ingénieur en management environnemental pour une prestation de pilotage de l'étude et pour la réalisation de l'étude sociologique.

2. Les territoires partenaires

Les territoires partenaires (la Plaine de Versailles, Seine Aval et Cœur Essonne) sont aussi parties prenantes du projet en tant que membres du Comité de Pilotage. Ils ont fait le lien avec les acteurs économiques et agricoles de leurs territoires.

3. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)

Premier institut de recherche agronomique en Europe, deuxième en sciences agricoles dans le monde, l'INRA mène des recherches au service d'enjeux de société majeurs, dans les domaines de l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

L'INRA a contribué au projet en apportant toute son expertise technique et agronomique en vue de réaliser l'étude du potentiel de compensation de pratiques agricoles sur le périmètre.

4. Le Centre d'études et de recherche sur l'économie et l'organisation des productions animales (CEREOPA)

Le CEREOPA est un bureau d'étude sous forme associative qui fonctionne à AgroParisTech et dont la vocation initiale de renforcer les liens entre l'enseignement supérieur agronomique et les opérateurs des filières animales.

Le CEREOPA a mené une étude en vue d'étudier les possibilités de considérer une approche de compensation à l'échelle d'une exploitation ou d'un territoire.

5. Carbone 4

Carbone 4 est un cabinet de conseil indépendant spécialisé dans la stratégie bas carbone et l'adaptation au changement climatique.
Carbone 4 a été sollicité pour mener une étude socio-économique auprès des entreprises.

6. Agriculteurs du périmètre de l'étude

Les agriculteurs représentent une partie prenante centrale dans le projet. Leur implication semble fondamentale pour pouvoir proposer une compensation carbone en accord avec les contraintes agricoles existantes et ainsi développer une solution durable.

7. Institute for Climate Economics (I4CE)

L'I4CE est un institut de recherche en économie du climat fondé par la Caisse des Dépôts et l'Agence Française de Développement. Le Think Tank fournit une analyse et une expertise sur les questions économiques liées aux politiques climat-énergie en France et dans le monde. L'I4CE a soutenu l'étude en veillant à maintenir T&C informée des évolutions du label, et en répondant aux questionnements relatifs au référentiel.

8. Le Groupe de Travail numéro 1 du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GT1 du GIEC)

Le GIEC a été créé en 1988 en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade.

Le groupe de travail numéro 1 du GIEC est à l'origine du projet du fait de sa volonté, exprimée début 2016 par l'intermédiaire de Valérie Masson-Delmotte, de compenser localement les émissions de carbone liées aux déplacements professionnels de son unité technique.

9. Chambre d'Agriculture

Les Chambres d'Agriculture, créées en 1924, sont des établissements publics dirigés par des élus.
Elles représentent l'ensemble des acteurs du monde agricole, rural et forestier : exploitants, propriétaires, salariés, groupements professionnels…

La Chambre d'Agriculture d'Île-de-France a apporté son soutien technique, ainsi que son expertise au projet, notamment dans le cadre de l'étude sociologique, et fait bénéficier l'étude de son réseau.

10. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)

L'ADEME a choisi de nous faire confiance, et d'apporter un financement à cette étude.

L'ADEME nous a mis en relation avec les personnes en charge du projet Carbocage et nous a offert l'opportunité d'étudier les possibilités d'utiliser l'outil ClimAgri. L'ADEME fait partie du Comité de Pilotage.

11. Les collectivités

Terre et Cité a informé **la Communauté Paris-Saclay (CPS)** du lancement d'une étude de faisabilité sur la compensation carbone via les sols agricoles du Plateau de Saclay. Intéressée par le projet, la CPS a **souhaité rester informée des avancées de l'étude. Elle a été invitée aux comités de pilotage.**

Terre et Cité a également rencontré l'Agence Locale de l'Energie et du Climat de Saint-Quentin-en-Yvelines, **partenaire de la Communauté d'Agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines (CASQY)** pour la rédaction du PCAET, qui est également intéressée par l'étude de faisabilité, ainsi que la chargée de mission du PCAET. **La SQY a souhaité rester informée. Elle a été invitée aux comités de pilotage."**

La communauté d'agglomération Cœur Essonne a choisi de devenir partenaire de l'étude. A ce titre elle fait partie du comité de pilotage.

Par ailleurs, le département de l'Essonne a choisi de contribuer financièrement à la réalisation de cette étude. Le département fait partie du comité de pilotage.

12. Autres parties prenantes

Les habitants, et usagers du Plateau de Saclay sont parties prenantes du projet car le changement de pratiques agricoles ou le changement d'affectation des sols agricoles peut avoir un impact sur les paysages. De plus, ils sont les consommateurs de certains produits du territoire dont ils peuvent se sentir concernés par le mode de production.
Il semble nécessaire pour une bonne adhésion des **associations locales en lien avec l'agriculture ou la protection de l'environnement**, et habitants et usagers du Plateau d'informer de la démarche, d'expliquer et de recueillir leurs retours.
Pour cela Terre et Cité communique régulièrement sur l'étude.

D'autres structures ont contribué à la réflexion menée sur la question des haies : le bureau d'étude Agroof, l'Association Française Arbres Champêtres et Agroforesterie, et la chargée de mission du projet Carbocage au sein de la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire.

II. PARTIE 2 - FAISABILITÉ TECHNIQUE

Etude du potentiel de compensation de pratiques agricoles

Florent Levavasseur
UMR ECOSYS, INRA Grignon

Etude de la compensation carbone en agriculture et sa faisabilité à l'échelle du territoire en île de France

Aline Lapierre
Céréopa

A. Etude du potentiel de compensation de pratiques agricoles

Florent Levavasseur
UMR ECOSYS, INRA Grignon

1. Introduction

a) Gaz à effet de serre et agriculture

L'agriculture peut être à la fois un émetteur de gaz à effet de serre (GES) et un puits de carbone via la photosynthèse des plantes qui fixe du carbone et qui peut ensuite être stocké dans les sols. On distingue différents types d'émissions (Figure 5) :

- les émissions directes : consommation de carburant, stockage/déstockage de carbone par les sols, émissions de protoxyde d'azote (N_2O) par les sols, etc.,
- des émissions indirectes amonts, liées à la fabrication des intrants (engrais, pesticides…)
- des émissions indirectes aval liées à la commercialisation des produits agricoles.

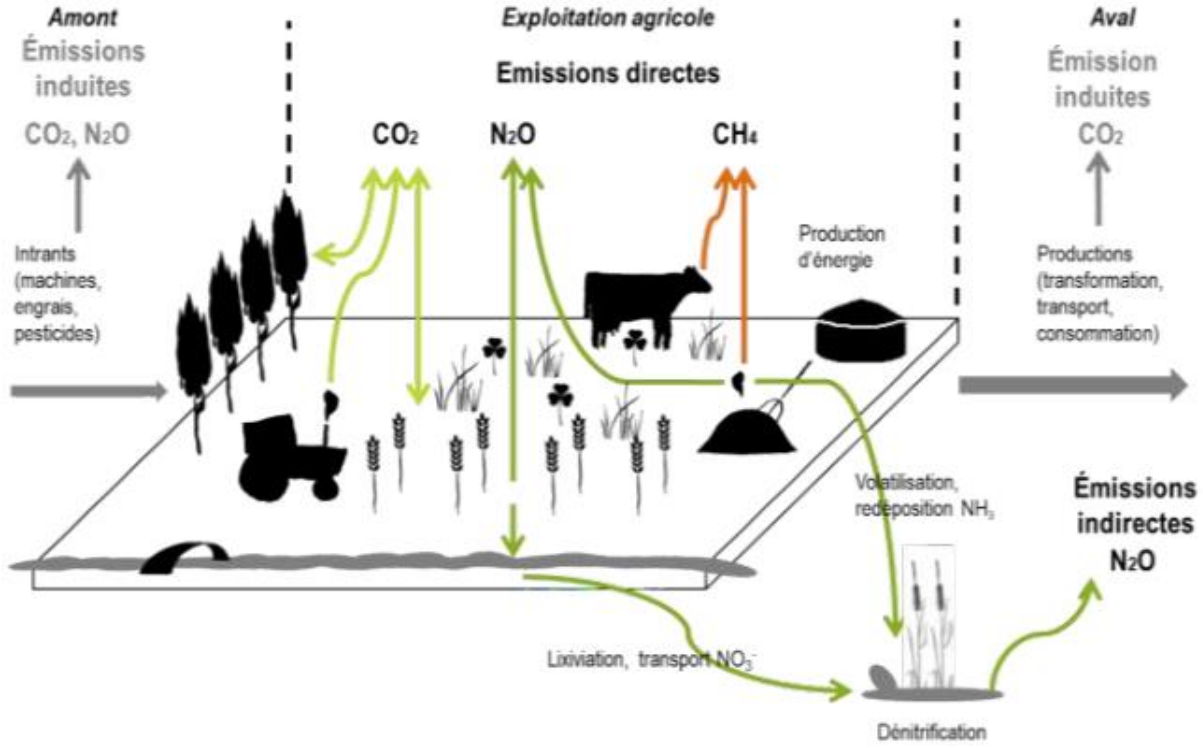


Figure 5 : Emissions de GES dans le secteur agricole (source : Pellerin et al., 2013)

b) Compensation carbone volontaire

Source : Ademe (2012)

La compensation volontaire consiste […] à financer un projet de réduction ou de séquestration d'émissions de GES dont on n'est pas directement responsable.

Le mécanisme de compensation volontaire vise plus spécifiquement les acteurs qui ne sont pas soumis à une contrainte pesant sur leurs émissions GES (particuliers, petites entreprises, collectivités locales…) ou les acteurs contraints mais qui souhaitent aller au-delà de leurs obligations réglementaires. Ces personnes, physiques ou morales, compensent partiellement

ou totalement leurs émissions en acquérant des montants de réductions d'émissions, aussi appelés « crédits carbone ».
Dans le cas de figure le plus commun, l'acheteur de compensation s'adresse à un opérateur spécialisé auprès duquel il acquiert un nombre d'unités « carbone » correspondant au volume des émissions de gaz à effet de serre qu'il souhaite compenser. La somme versée à cette fin contribue, directement ou indirectement, au financement d'un projet spécifique de réduction des émissions ou de séquestration de carbone. Un crédit carbone correspond classiquement à 1 tonne équivalent de CO_2 évitée par le projet.

c) Contexte et objectif de la présente étude

En 2017, certains opérateurs du plateau de Saclay ont manifesté auprès de l'association Terre et Cité leur intérêt à pouvoir compenser localement leurs émissions, en soutenant des projets du secteur agricole. Suite à cette demande, une étude a été lancée par Terre et Cité pour estimer la faisabilité de la mise en place d'une telle compensation carbone localement. Le périmètre d'étude a ensuite été élargi à d'autres territoires périurbains. Le volet technique et agricole de cette étude a été confié à l'INRA et fait l'objet du présent rapport. L'objectif de ce volet technique est d'estimer le potentiel de compensation carbone de différentes pratiques agricoles sur le territoire d'étude.

2. Méthodologie de l'étude

a) La zone d'étude

(1) Présentation générale

Le territoire d'étude correspond à la réunion de quatre petits territoires périurbains franciliens (Figure 6) : l'agglomération Cœur d'Essonne (13 000 ha), le territoire de l'Association de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets (APPVPA) (24 000 ha), le territoire de l'association Terre et Cité (plateau de Saclay) (16 000 ha) et le territoire du LEADER Seine Aval (42 000 ha). Ils sont tous situés entre 10 à 15 km de Paris, de l'ouest (Seine Aval) au sud (Cœur d'Essonne). La proportion de terres agricoles y varie entre 30 % et 58 %, tandis que la part de zones artificialisées varie entre 21 et 52 % (Figure 7).

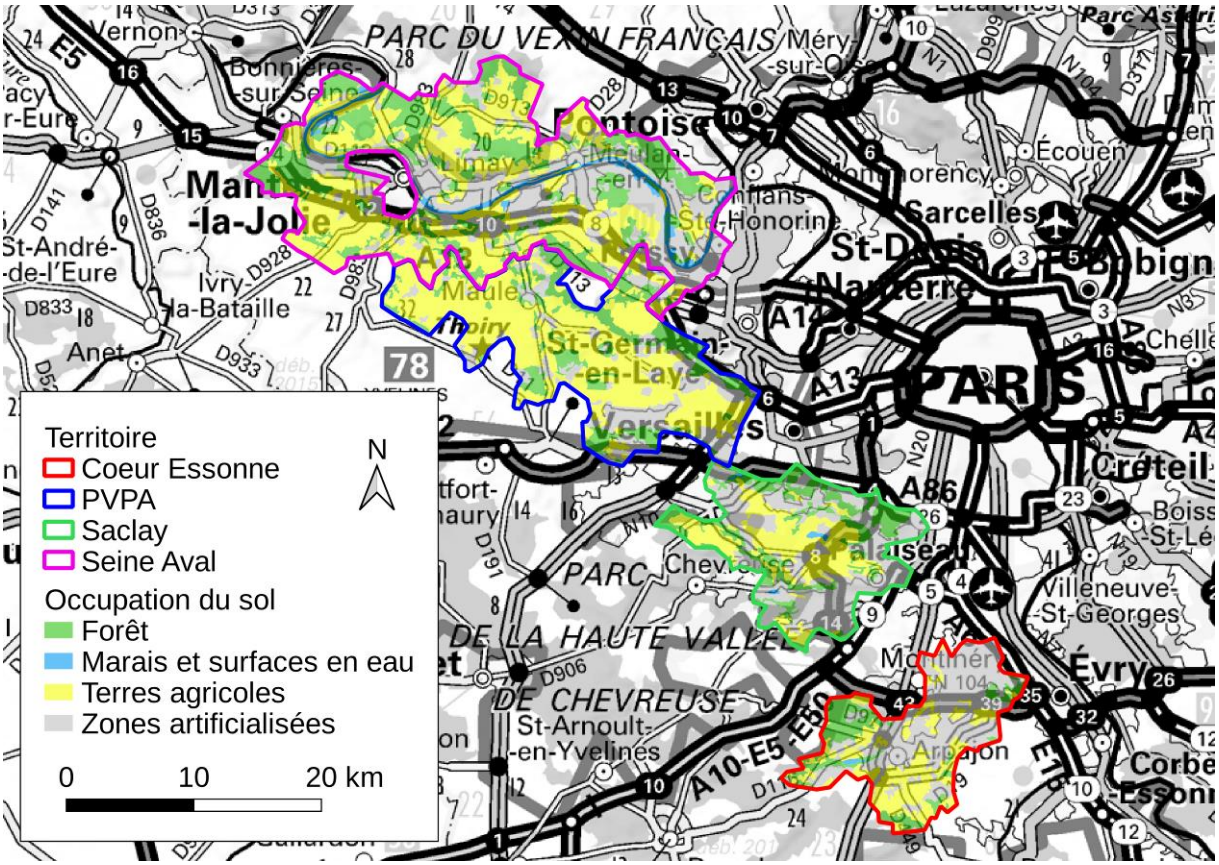


Figure 6 : Localisation du territoire d'étude et occupation du sol (Corine Land Cover, 2012)

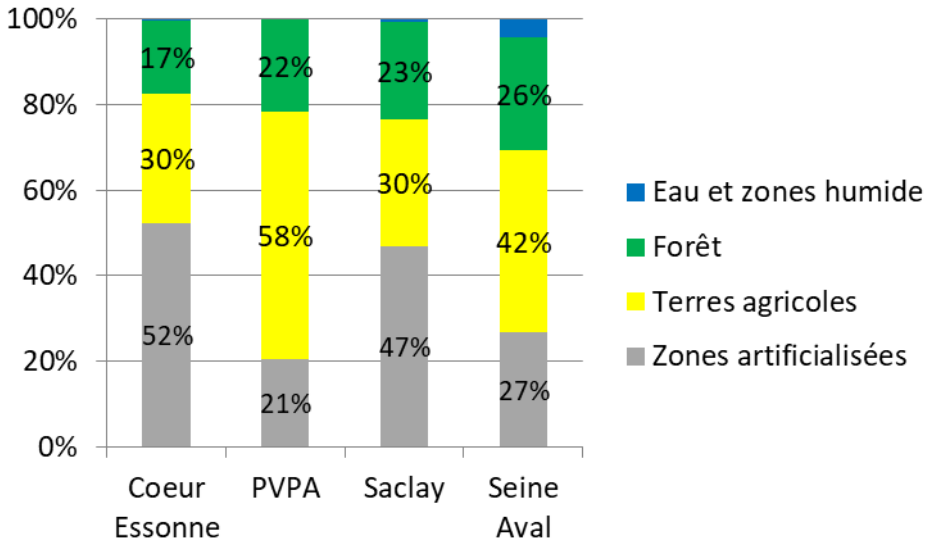


Figure 7 : Occupation du sol pour chacun des 4 territoires composant le territoire d'étude (Corine Land Cover, 2012)

(2) Agriculture du territoire

L'agriculture sur ces 4 territoires est majoritairement une activité de grandes cultures. D'après le recensement général agricole de 2010, environ une centaine d'exploitations ont leur siège au sein du territoire de l'APPVPA ainsi que de Seine aval, contre environ 20 à 30 au sein de

Cœur d'Essonne et du plateau de Saclay (incertitudes dues au secret statistique du recensement). En se focalisant sur les communes de ces territoires non couvertes par le secret statistique, environ 80 % des exploitations sont des exploitations de grandes cultures. En termes de surface agricole, la part des exploitations de grandes cultures varie entre 80 % (plateau de Saclay, du fait de l'importance d'une exploitation d'élevage) et 98 % (Seine Aval). Le registre parcellaire graphique des années 2015 à 2017 permet de déterminer l'assolement du territoire. Celui-ci est largement dominé par le blé tendre d'hiver, le colza d'hiver, le maïs grain et l'orge d'hiver et de printemps, qui représentent à eux seuls 80 % de la surface agricole. En intégrant les jachères, les prairies permanentes, la féverole et les légumes de plein champ, on atteint 90 % de la surface agricole. Peu de différences marquées existent entre les 4 territoires (données non présentées).

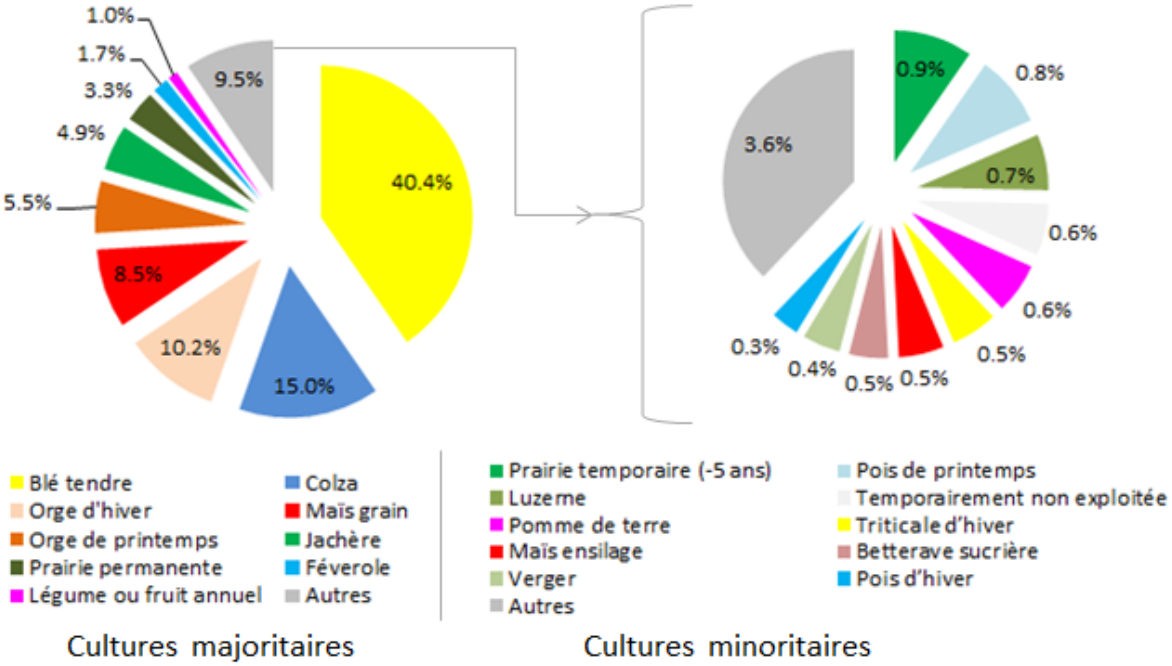


Figure 8 : Assolement moyen du territoire (RPG 2015-2017)

(3) Contexte pédoclimatique

Le référentiel pédologique régional renseigne sur les principaux types de sols du territoire d'étude (Tableau 1). Les luvisols décarbonatés, profonds sont assez majoritaires, de 40-50 % (plaine de Versailles et Seine Aval) à plus de 80 % (Cœur d'Essonne et plateau de Saclay). Les calcosols plus ou moins profonds et calcaires sont l'autre type de sol dominant. Ces deux types de sol ont des potentiels agronomiques différents, globalement plus élevés pour les luvisols. Ils ont aussi des comportements différents d'un point de vue stockage de carbone, les calcosols permettant une plus grande stabilisation de la matière organique (via leur teneur en calcaire et en argile). Les teneurs en carbone y sont globalement plus élevées (Zaouche et al., 2017).

Tableau 1 : Exemples de caractéristiques des types de sols dominants du territoire

Propriétés		Sol 1 : luvisol décarbonaté	Sol 2 : calcosol
Horizon de surface	Argile (g/kg)	150	200
	Calcaire	0	200
	pH	7	8.5
	C/N	9,5	9,5
	Pierrosité	0	20
Profondeur (cm)		> 150	60

Le climat du territoire est un climat océanique dégradé. Les grandeurs climatiques moyennes annuelles utilisées dans cette étude pour estimer la dynamique des stocks du carbone du sol sont issus du modèle SIMEOS-AMG (Tableau 2).

Tableau 2 : Principales valeurs climatiques considérées pour l'ensemble des scénarios (source : scénario climatique Île-de-France du modèle AMG)

Variables climatiques	Valeur moyenne
Précipitations moyennes annuelles (mm)	640
Evapotranspiration moyenne annuelle (mm)	630
Température moyenne annuelle (°C)	12.2

b) Choix des actions et analyse du potentiel de compensation carbone

Les actions considérées dans cette étude doivent concerner des actions mises en place chez l'agriculteur et qui impliquent des réductions d'émissions chez l'agriculteur. Les actions concernant la commercialisation des productions ne sont par exemple pas considérées. Le même principe avait été retenu dans l'étude de Pellerin et al., (2013), qui a dressé un bilan des actions d'atténuation des émissions de GES de l'agriculture en France. Le rapport du projet BANCO (I Care & Consult et al., 2017) précise le bilan dressé par Pellerin et al. (2013) par région. La présente étude est donc logiquement repartie des actions à plus fort potentiel pour l'Île-de-France (Figure 9), à savoir :

- l'optimisation de la fertilisation azotée (action 1),
- l'introduction de légumineuses à graines dans les rotations (action 2),
- les techniques culturales sans labour (réduction ou suppression du travail du sol - action 3),
- l'introduction de couverts végétaux (action 4),
- la mise en place de bandes enherbées (action 4),
- la méthanisation (action 9).

Les pratiques concernant l'élevage (actions 6, 7, 8 et 10) n'ont pas été considérées dans cette étude, au vu du peu d'élevages présents dans le territoire d'étude (paragraphe 2.1). Un potentiel ponctuel existe cependant. Il en est de même pour les pratiques spécifiques au maraîchage, en serre ou en plein champ (action 10). Malgré un potentiel ponctuel, elles n'ont pas été considérées au vu du nombre limité d'exploitations (paragraphe 2.1) et du manque d'expertise sur ce sujet disponible.

L'agroforesterie intraparcellaire n'a pas été considérée dans ce rapport au vu du manque d'expertise disponible pour cette étude, ainsi que de l'absence de projets connus ou d'intérêt des agriculteurs. Les haies ne sont pas traitées dans ce rapport, celles-ci faisant l'objet d'une méthodologie dans le cadre du label bas carbone portée par la chambre d'agriculture des Pays de la Loire.

Enfin, en addition des actions de l'étude Pellerin et al. (2013), des actions adaptées spécifiquement au contexte local ont été envisagées, en lien avec certains projets en cours :

-l'épandage de composts en agriculture,

-le recyclage en agriculture des urines humaines collectées séparativement à la source.

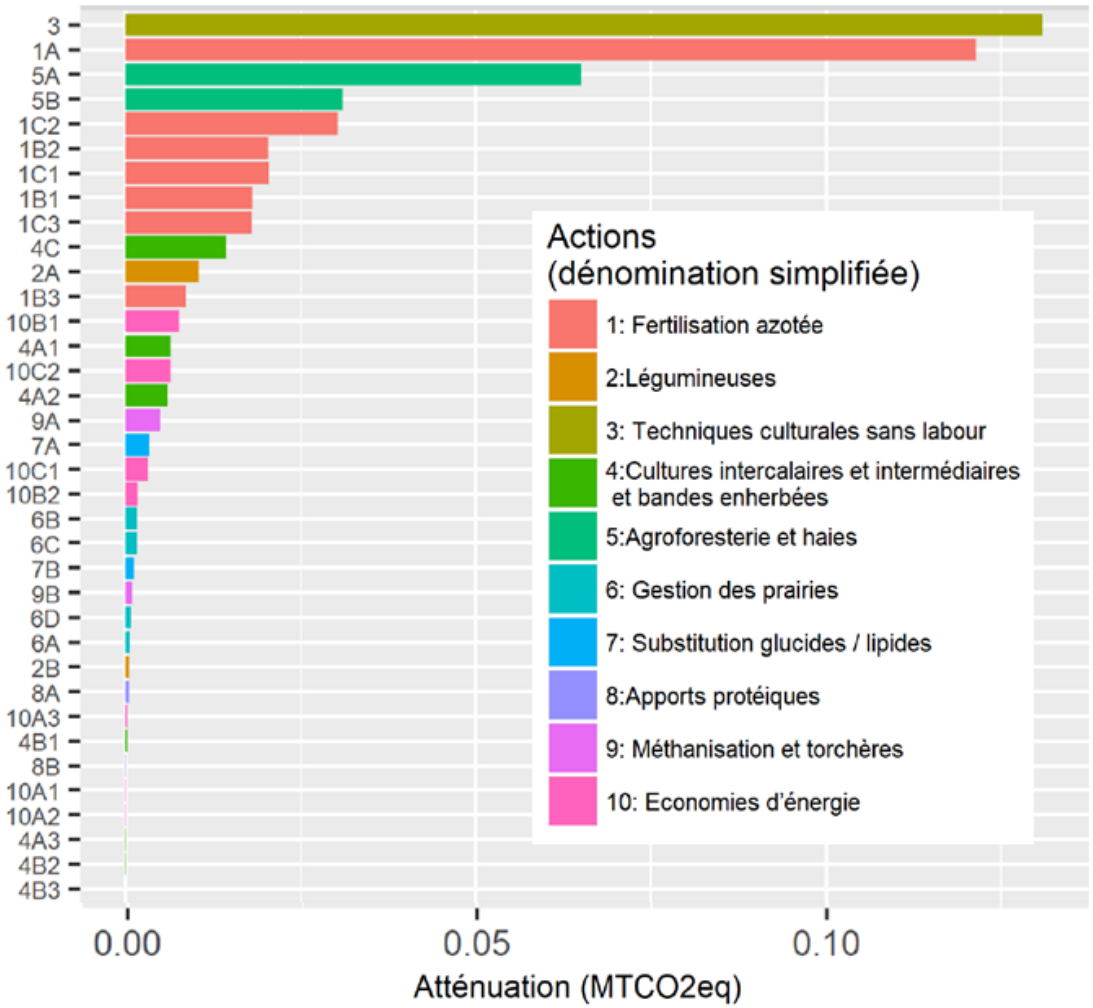


Figure 9 : Potentiel d'atténuation de diverses actions du rapport Pellerin et al., (2013), désagrégées à l'échelle de la région Ile-de-France (source : I Care & Consult et al., 2017)

c) Estimation du bilan GES

(1) Principe général

L'estimation des bilans GES de cette étude repose sur une comptabilité des émissions GES en lien avec la pratique étudiée (figure 10) :

- les émissions directes au champ : consommation d'énergie (fioul lié au machinisme), émissions de protoxyde d'azote (N_2O) par les sols agricoles et stockage de carbone,
- les émissions indirectes amont pour tenir compte de modifications de la consommation d'intrants par l'agriculteur (émissions liées à la fabrication des engrais notamment).

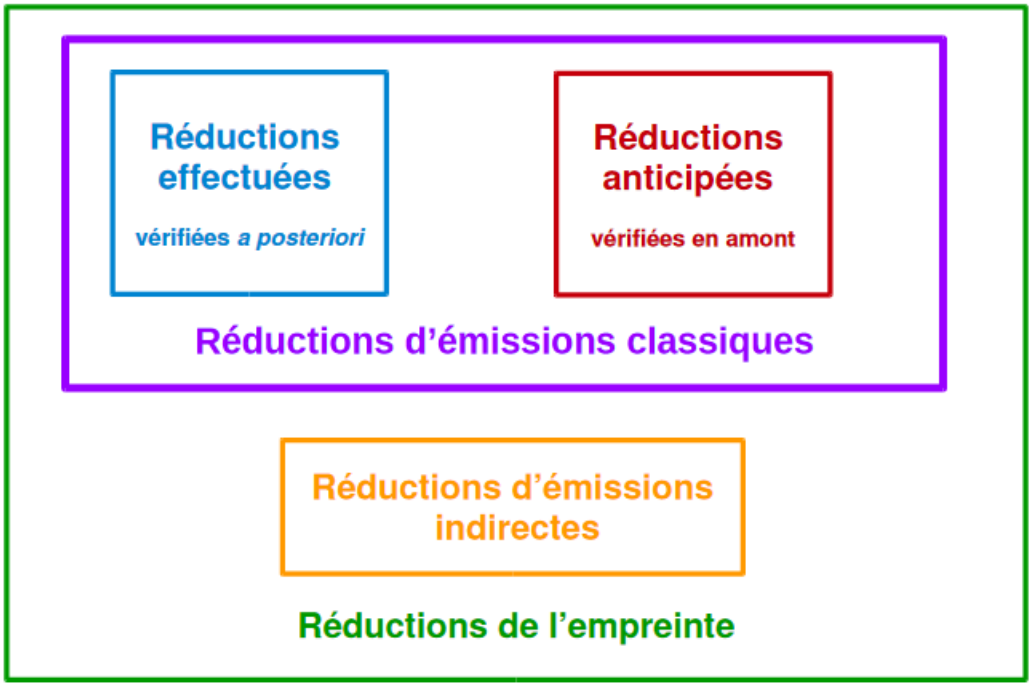


Figure 10 : Présentation des différentes réductions d'émissions (Source : Arrêté du 28 novembre 2018 définissant le référentiel du label « Bas-Carbone »)

Pour les pratiques déjà décrites dans l'étude de Pellerin et al. (2013), l'objectif est de :

- considérer les éventuels spécificités locales de notre zone d'étude qui pourraient moduler le potentiel d'atténuation GES (en fonction des types de sols, du climat, des systèmes de culture existants…),
- préciser le potentiel théorique d'atténuation en mobilisant quand cela est possible les dernières connaissances scientifiques en la matière et/ou en réalisant des modélisations du stockage de carbone.

(2) Recensement des émissions

Le recensement des émissions des différents GES est basé sur la bibliographie (y compris l'étude de Pellerin et al., 2013). Certains calculs ont pu être refaits si nécessaires, en considérant plus spécifiquement les consommations d'engrais et de carburants modifiées par la mise en place des pratiques. A ce titre, des facteurs d'émissions unitaires ont été utilisés (Tableau 3), ainsi que les PRG des différents GES à 100 ans pour la conversion en équivalent CO_2 (Tableau 4). Pour les références d'émissions existantes en équivalent CO_2, les calculs n'ayant pas été refaits avec ces PRG à jour, de légères incohérences peuvent exister. Comme cela est proposé dans la comptabilité carbone, les émissions biogéniques n'ont pas été considérées (base carbone ADEME, 2019a). Certaines pratiques impliquant un stockage de carbone ont été modélisées avec le modèle AMG pour estimer les émissions négatives de

CO_2. AMG est un modèle de dynamique de carbone largement utilisé en France et validé dans divers contextes pédoclimatiques (Clivot et al., 2019).

Tableau 3 : Émissions associées à la fabrication des engrais (source : base carbone, Ademe, 2019a)

Engrais	Emissions	
Engrais azoté (N)	5,28	kg CO2e/kg nutriment
Engrais phosphaté (P_2O_5)	0,51	kg CO2e/kg nutriment
Engrais potassique (K_2O)	0,37	kg CO2e/kg nutriment
Gazole	3,26	kg CO2e/l

Tableau 4 : Pouvoir de réchauffement global à 100 ans des principaux gaz à effet de serre utilisés pour les calculs de ce rapport (GIEC, 2014)

Gaz à effet de serre	PRG à 100 ans
Dioxyde de carbone d'origine fossile	1
Méthane d'origine biogénique (CH_4)	28
Protoxyde d'azote(N_2O)	265

d) Estimation du potentiel de compensation carbone

Afin de passer d'un potentiel d'atténuation GES à un potentiel de compensation carbone, les différents critères suivants ont été retenus, en concertation avec le comité de pilotage :

- La pratique montre-t-elle une additionnalité : l'additionnalité nécessite que la pratique ne soit pas déjà courante ou réglementaire, et qu'elle ne serait mise en place que difficilement sans la mesure de compensation carbone.
- Un suivi de la mise en place de la pratique et de ces effets est-il envisageable ? Dans l'optique d'une contractualisation, un suivi est nécessaire pour vérifier la réduction d'émissions.
- Quelles sont les incertitudes sur les réductions d'émissions qui existeraient si la pratique avec son suivi envisageable étaient mis en place ? Une très forte incertitude pourrait être vue comme un frein à une mesure de compensation.
- Quel est le gisement pour la pratique dans le territoire ? Combien d'hectares, de tonnes de produits, etc. sont envisageables ?
- Quel est le gisement en termes de tonnes de CO_2 évitées, une fois croisés le gisement pour la pratique et son potentiel d'atténuation ?
- Quel est le coût de l'action à mettre en place pour l'agriculteur ?

Pour chacun des critères, une classification a été proposée en 3 niveaux, rouge, jaune et vert :

	• Bilan GES défavorable • Pas d'additionnalité du point de vue agricole (pratique courante…) • Suivi difficile • Gisement faible • Coût de l'action élevée pour l'agriculteur • Potentiel de l'action pour la compensation C faible à nulle • Coût de la tonne de CO_2 évitée pour l'agriculteur élevée
	• Bilan GES incertain ou neutre • Additionnalité limitée, discutable • Suivi envisageable avec difficultés • Gisement modéré • Coût de l'action modérée pour l'agriculteur • Potentiel de l'action pour la compensation C modéré • Coût de la tonne de CO_2 évitée pour l'agriculteur modéré
	• Bilan GES favorable • Additionnalité existante • Suivi envisageable • Gisement important • Coût de l'action faible pour l'agriculteur • Potentiel de l'action pour la compensation C important • Coût de la tonne de CO_2 évitée pour l'agriculteur faible

En croisant ces différents critères, on estime également en 3 niveaux le potentiel de compensation de la pratique. Le croisement des différents critères ne repose pas sur une méthodologie précise, le potentiel final de la pratique ayant été arbitré par le comité de pilotage.

3. Estimation du potentiel de de compensation carbone de changements de pratiques / systèmes de culture

a) Compostage de déchets verts et/ou biodéchets

(1) Introduction

Le compostage consiste en la fermentation aérobie de déchets organiques (déchets verts, biodéchets alimentaires, boues d'épuration…) (Figure 11). Le compost obtenu à la fin du processus est un amendement d'intérêt pour les sols agricoles.

Figure 11 : Compostage de déchets verts en plaine de Versailles (Source : Levavasseur Ecosys INRA, 2019)

L'apport de compost permet d'augmenter la teneur matière organique des sols et les stocks de carbone (Peltre et al., 2012; Ros et al., 2006). Au-delà du stockage de carbone dans les sols, le bilan carbone de l'épandage de compost peut a priori être encore amélioré du fait de la diminution des émissions associées à la fabrication d'engrais suite à :

- l'économie d'engrais phosphatés et potassiques,
- l'économie d'engrais azotés à court terme suite à la minéralisation rapide d'une fraction de la matière organique du compost et/ou à la présence d'azote minéral dans le compost,
- l'économie d'engrais azotés à long terme (suite à l'augmentation de la teneur en matière organique du sol et la minéralisation d'azote associée).

A l'inverse, différentes émissions de gaz à effet de serre sont associées à l'épandage de compost et peuvent dégrader le bilan carbone de la pratique :

- émissions de N_2O au champ potentiellement accrues,
- émissions lors du transport et de l'épandage des composts,
- émissions lors de la fabrication du compost.

Afin d'estimer le bilan gaz à effet de serre de la pratique, il est donc nécessaire d'étudier l'ensemble de ces aspects et de les comparer au bilan gaz à effet de serre d'une gestion alternative des déchets compostés. La principale gestion alternative des biodéchets à l'heure actuelle en Ile-de-France est leur incinération, avec 95 % des ordures ménagères résiduelles incinérées en 2016 (ORDIF, 2018).

De nombreuses études recensent les émissions liées à ces deux filières. La Base Carbone de l'ADEME permet de dresser un bilan gaz à effet de serre rapide des deux filières. Cependant, la base de l'ADEME précise des imperfections dans l'estimation du bilan gaz à effet de serre de la filière compostage : incertitude sur les facteurs d'émissions pendant le compostage et méconnaissance des émissions de N_2O au champ. On peut également rajouter que les émissions liées à l'épandage ne sont pas considérées, que les économies d'engrais sont grossièrement estimées (pas de notion de disponibilité). Enfin, l'hypothèse faite sur le stockage de carbone dans les sols peut être discutée. Il est donc proposé de faire le bilan des émissions dans le contexte spécifique de l'étude et de considérer les incertitudes dans ce bilan afin d'estimer le potentiel de la pratique en termes de compensation carbone.

(2) Bilan gaz à effet de serre comparé du compostage et de l'incinération

(a) Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle utilisée ici est le recyclage d'une tonne de biodéchets et ses impacts associés.
En effet dans l'optique de la mise en place de compensation carbone, il a été jugé plus simple de tracer le recyclage d'une tonne de biodéchets que l'épandage plus ou moins régulier et à des doses variables de compost de biodéchets.
Une tonne de biodéchets est supposée produire 333 kg de composts après compostage (base carbone Ademe).

(b) Stockage de carbone lié au compostage

La teneur en matière organique des composts de déchets et de biodéchets varie entre 157 et 582 g/kg MB (Houot et al., 2014), ce qui donne grossièrement des teneurs en carbone organique comprises environ entre 80 et 290 g/kg MB (moyenne de 150 g/kg MB), qui encadrent effectivement la valeur de la base carbone de 118 g/kg MB.

Le coefficient isohumique K_1 du modèle d'AMG représente la part de carbone humifiée du compost au bout d'un an qui sera ajoutée à la matière organique du sol. Un compost de biodéchets a un K_1 égal à 0.77 dans AMG (variable entre 0,50 et 0,90). Une fois le carbone humifié du compost incorporé à la matière organique du sol, sa minéralisation va être progressive et dépendra des caractéristiques du sol qui influent sur son taux de minéralisation (teneur en argile, en calcaire…) ainsi que des conditions climatiques.

Selon les hypothèses de teneur en carbone et de K_1 du compost et de type sol, la quantité de carbone stockée suite à l'épandage d'une tonne de composts varie fortement à 20 ans, de 2

à 20 kg C, soit de 9 à 73 kg CO_2 eq évitées (Figure 12). A 100 ans, quelles que soient les hypothèses de teneur en carbone des composts, et pour les deux types de sol considérés, il apparaît que le stockage de carbone est quasi nul. Malgré un stockage initial qui peut être important, AMG simule une minéralisation complète à 100 ans. En comparaison, la base carbone de l'ADEME fait mention d'un stockage de 8 % du carbone du compost à 100 ans (11 kg eq CO_2 pour une tonne de biodéchets), mais ne donne pas de valeur pour le stockage à 20 ans. Le choix de la durée du bilan est donc crucial dans la réalisation du bilan GES.

Peu de travaux expérimentaux permettent de discuter ces résultats. En effet, la plupart des expérimentations au champ sont réalisées sur des durées beaucoup plus courtes. De plus, ces essais envisagent des apports répétés de composts, et non l'effet d'un apport unique. L'effet d'un apport unique serait de plus impossible à quantifier à long terme sur le terrain au vu des faibles quantités de carbone en jeu avec un apport unique par rapport aux stocks existants du sol.

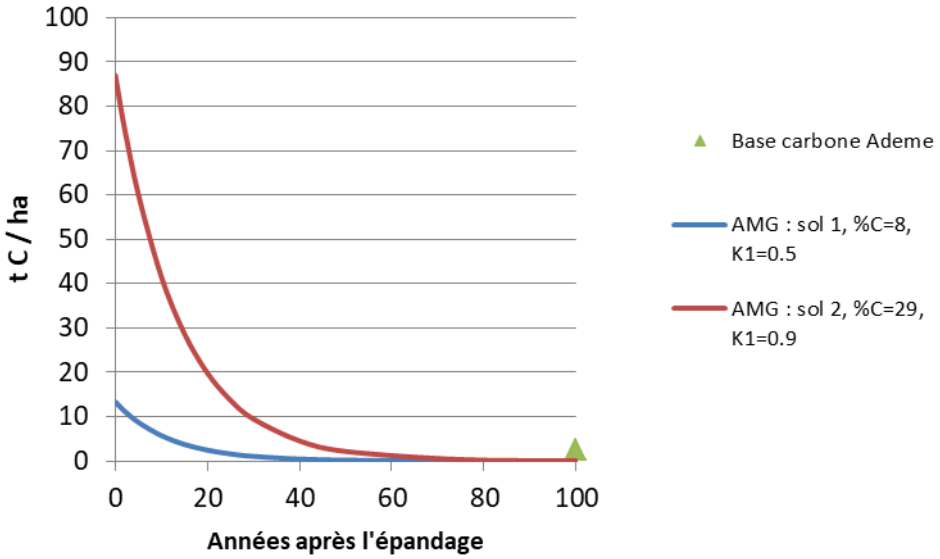


Figure 12 : Carbone résiduel du compost au cours du temps simulé avec AMG en fonction du type de sol (sol 1 : luvisol décarbonaté, sol 2 : calcosol), la teneur en carbone et le coefficient isohumique K_1 du compost, et carbone résiduel à 100 ans selon la base carbone de l'Ademe

(c) Economie d'engrais PK lié au compostage

Les apports de phosphore et de potasse par le compost permettent d'économiser des engrais phosphatés et potassiques. La disponibilité de ces éléments dans le compost est généralement considérée comme similaire à celle d'engrais minéraux (Hao et al., 2018) et l'apport d'une unité de P ou K par le compost peut donc se substituer totalement à la même unité apportée par des engrais minéraux, tout du moins à moyen terme. Par ailleurs, le raisonnement des apports d'engrais PK se faisant généralement sur la base d'analyses de sol, on peut considérer que les apports de PK par le compost sont pris en compte par les agriculteurs. C'est d'ailleurs une des principales raisons de l'apport de compost (Moinard, 2018).

Les teneurs en PK des composts sont par contre fortement variables (Houot et al., 2014), comprises entre 1,4 g P_2O_5/t compost brut et 5,54 g P_2O_5/t compost brut pour le phosphore et 2,4 g K_2O/t compost brut et 11,1 g K_2O/t compost brut, la base carbone de l'Ademe retenant 2 g P_2O_5/t compost brut et 4,5 g K_2O/t compost brut.
En considérant cette variabilité des teneurs en P et K, les émissions associées à la fabrication des engrais (Tableau 3) et le ratio tonnage compost sur tonnage de déchets organiques, les émissions évitées varient entre 0,5 et 2,3 kg eq CO_2/t déchets traités, la base carbone de l'Ademe indiquant 0,9 kg eq CO_2/t déchets traités.

(d) Économie d'engrais azotés lié au compostage

Les économies d'engrais azotés associées à l'utilisation des composts sont difficiles à estimer. En effet, la plupart de l'azote des composts de déchets verts et de biodéchets est généralement sous forme organique, minéralisable à long terme seulement. La teneur en azote minéral de ces composts est très faible (Houot et al., 2014). L'équivalence engrais des composts est donc faible à nulle (Gutser et al., 2005). Cependant, en considérant une période de 100 ans, la quasi-totalité de l'azote organique pourra être minéralisé et donc disponible pour les plantes.

Une première hypothèse consiste donc à retenir qu'une unité d'azote du compost pourrait en théorie se substituer totalement à une unité d'azote d'engrais minéral. Malgré cette disponibilité potentiellement totale à long terme, le surplus annuel d'azote permis par un apport unique de compost est très faible (de l'ordre de quelques kilogrammes d'azote par hectare et par an tout au plus). A court terme, ce très faible surplus d'azote ne pourra pas être considéré par l'agriculteur dans son calcul de fertilisation. Même en cas d'apports répétés à des doses raisonnables (par exemple 30 t compost / ha tous les 4 ans), le surplus de minéralisation du sol suite à l'augmentation de matière organique reste limité (de l'ordre de 20 à 30 kg N/ha/an[1]). Il y a donc également un risque à ce que ce surplus d'azote disponible ne soit pas considéré par l'agriculteur dans son calcul de fertilisation.

Cela amène à considérer une seconde hypothèse de substitution d'engrais azotés nulle.
A côté des différences de substitution, la teneur en azote total des composts de déchets verts et de biodéchets varient fortement, de 6 g N/t compost brut à 13,2 g N/t compost brut (6,2 g N/t compost brut dans la base carbone Ademe). En fonction des hypothèses de substitution (0 à 100 %), l'économie d'engrais azotés amène à des émissions évitées comprises entre 0 et 23 kg eq CO_2/t déchets traités (-10,8 kg eq CO_2/t déchets traités dans la base carbone Ademe).

(e) Émissions de N2O au champ lié au compostage

Par défaut, le facteur d'émission de N_2O retenu par le GIEC pour les engrais organiques comme minéraux est de 1 %. De nombreux travaux ont cherché à quantifier plus précisément les émissions de N_2O suite à des apports de composts. Dans une récente méta-analyse,

[1] Résultat obtenu par simulation avec AMG et en considérant un rapport C/N du sol proche de 10.

Charles et al. (2017) proposent un facteur d'émission pour le compost épandu seul de 0,02 % et de 0,37 % quand les sols reçoivent également des engrais minéraux (situation majoritaire dans notre territoire d'étude). Ces émissions sont par ailleurs fortement variables en fonction du type de sol et du climat.

Le différentiel d'émission de N_2O entre des situations avec ou sans compost va donc dépendre de la différence de facteur d'émission entre le compost et l'engrais minéral et si le compost se substitue ou non à l'engrais minéral. En reprenant les hypothèses de substitution précédentes (paragraphe 3.1.2.4) et en retenant le facteur d'émission de 1 % pour les engrais minéraux (lui-même sujet à débat), le différentiel d'émission de N_2O varie entre -0,63 % (coefficient d'émissions du compost de 0.37 % et substitution totale de l'engrais) à +1 % (coefficient d'émissions du compost de 1 % et absence de substitution). En reprenant les teneurs en N précédentes du compost et ces différentiels d'émissions de N_2O, les émissions de N_2O au champ varient entre -11 et +18 kg eq CO_2/t déchets traités.

(f) Émissions lors du compostage

Les émissions lors du compostage sont de deux types :

- émissions de méthane dues à une fermentation anaérobie localement dans l'andain,
- émissions de N_2O suite à la nitrification et à la dénitrification de l'azote présent dans les déchets compostés.

Il existe une grande variabilité de ces émissions, comme en atteste un rapport de l'Ademe de 2008 qui synthétise plusieurs études sur le sujet (Tableau 5). Ces émissions dépendant fortement de la conduite du compostage et de la teneur en azote des déchets compostés, il n'est pas possible ici de réduire cette incertitude. La base carbone de l'Ademe retient pour sa part une valeur unique.

Tableau 5 : Valeur d'émissions lors du compostage (en kg eq CO_2/t déchets traités)

GES	Rapport Ademe 2008		Base carbone Ademe
	Valeur minimale	Valeur maximale	
CH_4	0.7	200	27
N_2O	0.7	389	43

(g) Collecte et fonctionnement d'une plateforme de compostage

En l'absence de données plus précises, les hypothèses d'émissions liées à la collecte et au fonctionnement la plateforme de compostage sont reprises de la base carbone de l'Ademe, soit 18 kg eq CO_2/t déchets traités pour chacun de ces postes.

(h) Émissions liées au transport et à l'épandage de compost

Les émissions liées à l'épandage du compost ont été calculées à l'aide du logiciel d'évaluation multicritère Criter[2]. L'épandage de matière organique solide à l'aide d'un épandeur consomme 7,33 l/ha de fioul, soit une émission de 23,9 kg eq CO_2/épandage. Les doses d'épandage de compost usuelles dans le secteur d'étude sont de l'ordre de 30 t compost/ha, ce qui revient à des émissions par tonne de déchets traités de 0,26 kg eq CO_2/t.
A défaut d'information sur la destination du compost, les émissions liées à son transport sont négligées, la distance entre plateforme de compostage et champ épandus étant souvent faibles. Cette hypothèse est discutable, mais au vu des résultats finaux du potentiel de cette pratique, il n'a pas été jugé nécessaire de la raffiner. Pour la même raison, les émissions liées au chargement du compost sont négligées.

(i) Autres émissions associées à l'incinération

Lors de l'incinération, les émissions sont considérées être limitées au CO_2 d'origine biogénique, qui n'est donc pas comptabilisé.
Pour la collecte et le fonctionnement de l'incinérateur, sont retenus des émissions de 18 et 15 kg eq CO_2/t déchets traités respectivement.
Enfin, la totalité des incinérateurs en Ile-de-France récupère l'énergie produite lors de l'incinération (Ordif, 2018), la plupart en cogénération (valorisation électrique et récupération de chaleur). La base carbone de l'Ademe donne des émissions évitées pour l'incinération d'une tonne de déchets alimentaires de 158 kg eq CO_2/t.

(j) Comparaison des bilans carbone du compostage et de l'incinération

Trois scénarios de bilan GES pour le compostage ont été retenus : un scénario correspondant aux hypothèses de la base carbone de l'Ademe, un scénario correspondant à l'assemblage des hypothèses « optimistes » (minimisant les différentes émissions), et un scénario pessimiste (maximisant les émissions). Le bilan GES présenté est réalisé avec un stockage de carbone à 20 ans (Figure 13). On remarque que le bilan carbone de la filière compostage est défavorable par rapport à celui de l'incinération dans tous les cas, ceci pour trois raisons principales :

- la durabilité limitée du stockage de carbone,
- les émissions de gaz à effet de serre pendant le processus de compostage,
- la récupération d'énergie pendant l'incinération.

Le potentiel d'un point de vue de la compensation carbone apparaît donc faible, voire nul, au vu des incertitudes qui entourent le bilan GES de cette pratique, cette incertitude pouvant difficilement être réduite facilement sur le terrain.
Le potentiel de compensation carbone pourrait cependant être réel dans le cas où le scénario de référence n'est pas une incinération avec récupération d'énergie. La mise en place de mesures pour limiter les émissions de GES (Brown et al., 2008) pendant le compostage

[2] http://www.erytage.org/webplage/index.php?option=com_flexicontent&view=item&cid=91:critermasc&id=223:critermasc&Itemid=128

pourrait également réduire l'incertitude et augmenter le potentiel de la pratique. A l'inverse, avec un stockage de carbone envisagé à 100 ans (qui devient alors quasi nul), le bilan GES du compostage se détériore (résultats non présentés).

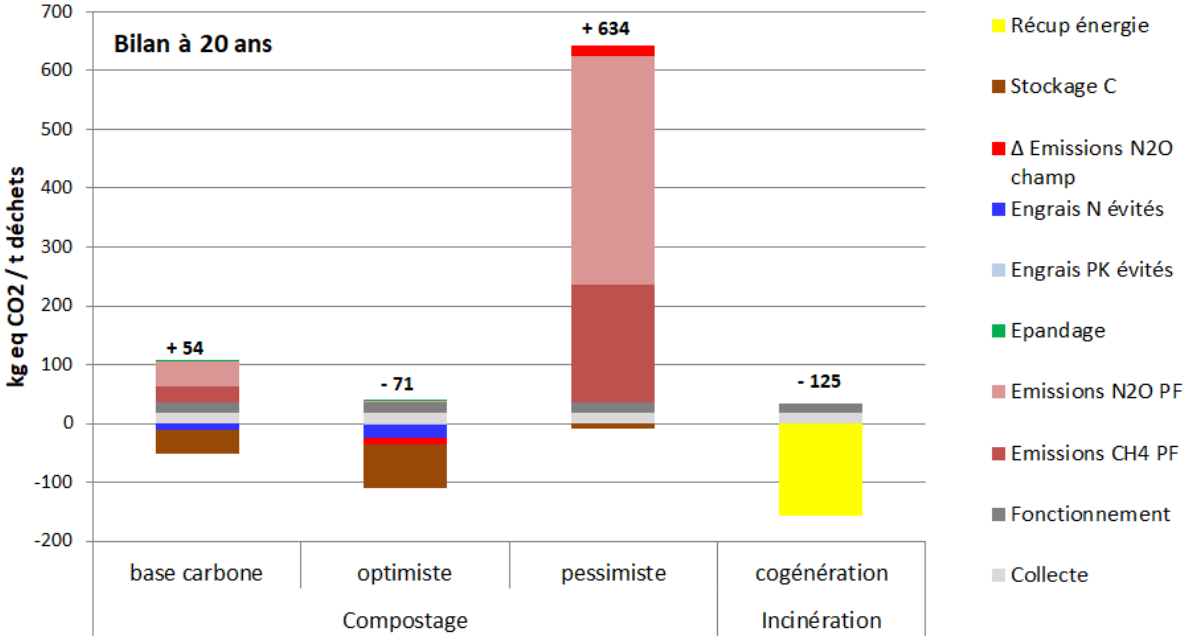


Figure 13 : Bilan gaz à effet de serre avec stockage de carbone à 20 ans du recyclage d'une tonne de biodéchets par compostage (selon la base carbone de l'Ademe ou selon les hypothèses optimistes et pessimistes) et par incinération avec cogénération. La base carbone n'indiquant pas de stockage de carbone à 20 ans, la moyenne des scénarios pessimistes et optimiste a été retenue.

(3) Estimation du potentiel de compensation carbone

Le bilan gaz à effet de serre du compostage d'une tonne de déchets organiques étant défavorable en comparaison à son incinération, les aspects complémentaires permettant d'estimer le potentiel de compensation carbone seront peu développés par la suite. Ils le sont tout de même dans le cas où l'incinération ne devrait plus être considérée comme un scénario de référence et où le bilan GES du compostage pourrait être favorable (hypothèse « optimiste » précédente).

(a) Additionnalité

L'épandage de compost dans l'agriculture francilienne est une pratique courante et la totalité des composts produits trouvent leur débouché (Moinard, 2018). Les agriculteurs recherchent ces composts pour leur capacité à entretenir la matière organique des sols et l'amélioration des propriétés des sols associées (limitation de la battance…), ainsi que pour les apports en phosphore et potasse. Pour le moment, ce sont cependant principalement des composts de déchets verts qui sont épandus. Les composts de déchets verts et co-composts de déchets verts et de biodéchets étant très similaires, aucun frein ne semble exister à l'épandage de nouveaux composts, dans la mesure où leur prix reste similaire (très faible). L'additionnalité d'une mesure de compensation carbone qui viserait à l'épandage de compost ne semble donc pas justifiée.

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

Le suivi de la mise en place d'une telle action devrait a minima comprendre l'enregistrement des quantités de composts épandus, des économies d'engrais réalisées (en système conventionnel) (voir le paragraphe 4.1 pour les économies d'engrais). Ces données permettraient d'estimer les émissions évitées sur la base de la littérature. Cette estimation du bilan GES serait cependant associée à une très forte incertitude, du fait de la variabilité des émissions en amont sur la plateforme de compostage et au champ.
Une mesure des émissions sur site afin de réduire cette incertitude est cependant inenvisageable dans le cadre de la compensation carbone. De même, un suivi des émissions au champ de N_2O et du stockage de carbone est également inenvisageable dans le cadre de la compensation carbone (partie 2.4.).
Enfin, les émissions liées au fonctionnement et à la collecte pourraient a priori être affinées via une analyse des flux de matière entrante, du type de matériel, etc.

(c) Gisement

Concernant le gisement, la quasi-totalité des déchets alimentaires était incinérée en Ile-de-France en 2016 (Ordif, 2018), y compris donc sur les terrains d'étude. Une part des déchets verts n'est également pas encore mobilisée. Le gisement correspondant représente 700 000 t par an en Ile-de-France (Conseil Régional Île-de-France, 2018). Une part non négligeable pourrait être compostée, y compris sur le territoire d'étude. Des projets sont d'ailleurs en cours en ce sens (compostage de déchets alimentaires). Le gisement potentiel apparaît donc important.

Concernant les surfaces épandables en compost, la quasi-totalité des surfaces agricoles des territoires d'étude (soit environ 35 000 ha) pourrait recevoir des apports, y compris les surfaces en bio (si compost normalisé respectant la réglementation bio). A raison de doses agronomiques de 30 t/ha tous les 4 ans pratiquées couramment dans la zone d'étude (données internes ECOSYS), le potentiel annuel correspondrait à 262 500 t de composts épandus, ce qui absorberait une bonne partie du potentiel de production supplémentaire à l'échelle de l'Ile-de-France.
Finalement, en termes de gisement de tonnes de CO_2 évitées, le gisement est nul au vu du bilan GES défavorable.

(d) Evaluation économique pour l'agriculture

Quelques exemples de prix recensés dans le territoire d'étude varient entre 2 et 5 €/t de compost de déchets verts. Selon différents barèmes d'entraide consultés, le prix d'épandage d'une tonne d'amendement organique varie entre 2 € et 5 € la tonne. Enfin le coût de transport peut varier de 0 €/t (parcelle à proximité immédiate) à 5 €/t pour des parcelles lointaines (plus de 20 km). Le prix d'une tonne de compost épandu revient donc entre 4 et 14 €/t.
En ne comptabilisant uniquement les économies d'engrais directs (P et K), les autres étant plus difficilement chiffrables (matière organique et N), l'économie en engrais varie entre 3 et 13 €/t de compost selon les teneurs en PK.
Le coût net (incluant les économies d'engrais) d'une tonne de compost épandu varie donc entre -9 €/t et 11 €/t.

Finalement, le coût de la pratique comme le temps de travail à y consacrer dépend fortement de si l'agriculteur réalise lui-même le transport et/ou l'épandage du compost ou de si il paye un prestataire pour le réaliser. Dans le cas où il le réalise lui-même, l'épandage de compost est une opération chronophage (1,6 ha/h contre 10 ha/h pour les engrais solides d'après la base de données du logiciel CRITER), qui peut cependant être réalisée à une période de moindre activité (automne)

(e) Conclusion sur le compostage

Au vu du bilan GES du compostage défavorable par rapport à l'incinération, des difficultés de suivi des effets de la pratique et du manque d'additionnalité, la pratique ne semble pas montrer de potentiel pour la compensation carbone.

Bilan GES	Incertain, mais a priori toujours défavorable par rapport à l'incinération
Additionnalité	Nulle (pratique courante)
Suivi	Quantité de composts épandus, économies d'engrais et applications de facteurs d'émissions
Incertitude GES associée au suivi	Forte (émissions amont et au champ)
Gisement pour la pratique	Important (production importante et surfaces épandables disponibles)
Gisement t CO_2	Nul
Coût action	Variable selon le coût du compost, la distance d'épandage…
Potentiel de compensation C	Nul
Coût t CO_2	-

b) Substitution d'engrais de synthèse par l'urine

(1) Introduction

Source : Esculier, 2018, Martin, 2017, Tidaker, 2003

L'épandage d'urine humaine en agriculture est une pratique qui repose sur la collecte sélective à la source des urines, grâce à des toilettes adaptées (toilette à séparation, urinoir sec). L'urine présente l'avantage de concentrer la majorité des nutriments contenus dans les eaux usées dans seulement environ 1 % de leur volume. Cette technique est actuellement peu développée en France, mais plusieurs projets sont en cours ou à l'étude en Île-de-France.

Figure 14 : Premiers essais d'épandage d'urine sur le plateau de Saclay (Source : Levavasseur Ecosys INRA, 2019)

Cette technique pourrait a priori donner lieu à des mesures de compensation carbone du fait de :

- une réduction de la consommation d'engrais du fait du recyclage des nutriments contenus dans l'urine,
- une réduction d'énergie en station d'épuration pour le traitement des effluents,
- une réduction des émissions de N_2O en STEP[3] au moment du traitement des eaux usées par dénitrification.

A l'inverse, la mise en place de cette filière pourrait s'accompagner de nouvelles émissions :

- émissions liées à la mise en place de nouveaux stockages pour l'urine, ainsi qu'à l'éventuel traitement de l'urine (concentration, nitrification…),
- émissions liées au transport de l'urine ainsi qu'à son épandage (consommation de fioul),
- une augmentation des émissions de N_2O au champ suite à l'épandage d'urine du fait des quantités plus importantes d'azote apportées (en lien avec une possible moindre efficience de l'urine que des engrais azotés).

Concernant un potentiel effet sur le stockage de carbone, celui-ci est supposé nul du fait de la teneur en matière organique très faible de l'urine. Les effets des apports d'urine sur la minéralisation de la matière organique sont également supposés nuls, comme le sont traditionnellement les apports d'engrais.

[3] Station d'Epuration

(2) Bilan gaz à effet de serre du recyclage des urines en agriculture

(a) Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle utilisée ici est le recyclage d'une tonne (ou m^3) d'urine en grandes cultures. En effet dans l'optique de la mise en place de compensation carbone, il a été jugé plus simple de faire le bilan GES d'une tonne d'urine recyclée en grandes cultures que d'un hectare fertilisé avec de l'urine avec des pratiques variables.

(b) Recensement des émissions

A l'heure actuelle, au vu du développement balbutiant en France et de l'absence de références dans notre contexte, la réalisation d'un bilan GES s'avère délicat. Afin d'estimer le potentiel de la filière, on peut s'appuyer sur les résultats d'une étude suédoise (pays plus en pointe sur le sujet) relatés dans Tidaker (2003). Dans cette étude, l'unité fonctionnelle choisie est cependant la production d'un kilogramme de grain de blé, fertilisé avec des engrais minéraux ou avec des engrais minéraux et de l'urine. Le bilan GES de la production de ce kilogramme de grain de blé est favorable pour la fertilisation à l'urine, avec un gain de l'ordre de 44 g eq CO_2/kg grain blé produit. Cette diminution des émissions est notamment permise par la réduction des émissions liées à la fabrication des engrais (substitution partielle dans cet exemple), malgré une augmentation des émissions au champ (N_2O), du transport de l'urine et de la mise en place de stockage.
Ces résultats ont été obtenus par l'épandage de 34,5 t/ha d'urine. La plupart des impacts (réduction d'engrais, émissions au champ, transport et stockage d'urine) peuvent en première approximation être considérés proportionnels au tonnage d'urine utilisée. En considérant le rendement objectif du blé de cette étude (6 t/ha), le différentiel d'émission ramené à la tonne d'urine épandue est 8 kg eq CO_2/t en faveur des épandages d'urine.

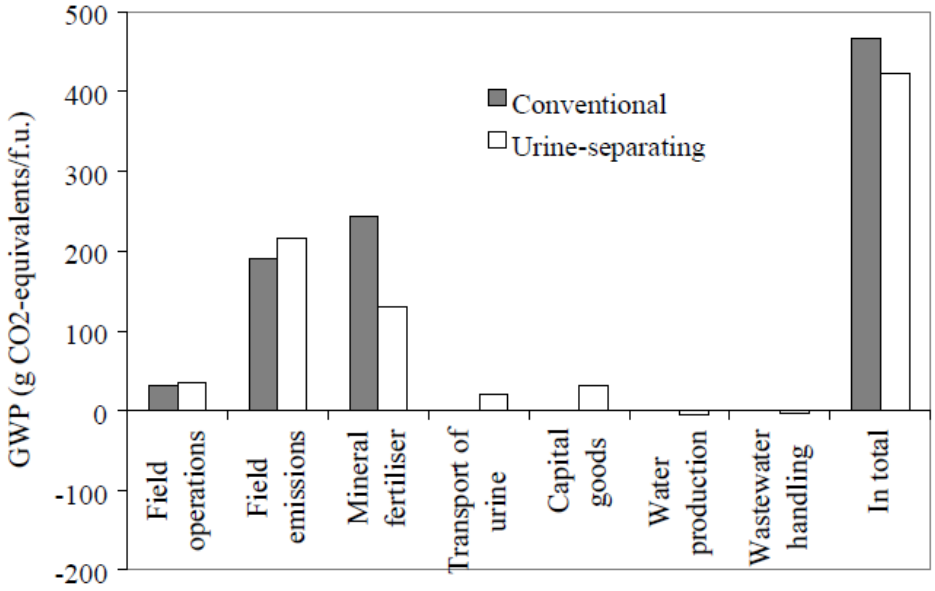


Figure 15 : Bilan GES d'un kg de grain blé produit selon un scénario conventionnel ou fertilisé en partie avec de l'urine (Tidaker et al., 2003)

Il est à noter qu'un travail de doctorat est en cours à l'INRA sur le sujet. La thèse doit apporter des références dans le contexte francilien en termes d'efficacité agronomique, de dissémination de contaminants, et de bilan environnemental (ACV) avec notamment un bilan GES. Les résultats de la thèse permettront donc d'affiner l'analyse de Tidaker (2003) à notre contexte et de mieux qualifier le potentiel de la technique en termes de bilan GES.

Enfin, le bilan GES proposé ici considère des émissions évitées via les économies d'engrais. Dans le cas de l'agriculture biologique, ces émissions évitées ne seraient pas justifiées (pas d'usage d'engrais de synthèse), le bilan GES serait alors à reconsidérer complètement. L'usage d'urine est cependant non autorisé pour le moment en agriculture biologique.

(3) Estimation du potentiel de compensation carbone

(a) Additionnalité

Pour le moment, l'épandage d'urine en agriculture est quasi inexistant en France (hormis des épandages ponctuels d'urines collectées lors de grands événements type festival). Toute la filière est à créer, de la collecte sélective dans les bâtiments, au stockage, transport, traitement éventuel, et organisation des épandages. L'additionnalité est donc difficile à caractériser du point de vue agricole. Différentes enquêtes préliminaires (Brun, 2018) semblent indiquer que certains agriculteurs seraient prêts à épandre des urines si elles étaient disponibles, d'autant plus que la pratique pourrait être rentable (cf. paragraphe 2.3.2.3.4). L'additionnalité pourrait être plus facile à justifier du point de vue des promoteurs immobiliers afin de les inciter à mettre en place une filière. Il est cependant à noter que des incitations financières existent déjà (subvention à 80 % des projets de collecte sélective des urines par l'Agence de l'Eau Seine Normandie) (AESN, 2018).

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

Le suivi de la mise en place d'une telle action devrait au minimum comprendre l'enregistrement des quantités d'urine épandues et des économies d'engrais réalisées (en système conventionnel) (voir le paragraphe 4.1 pour les économies d'engrais). Ces données permettraient d'estimer les émissions évitées sur la base de la littérature.
Un suivi plus poussé des émissions au champ est difficile à mettre en œuvre (cf. paragraphe 2.4). Ce n'est cependant pas sur ces postes que les incertitudes semblent les plus importantes. A l'inverse, l'estimation des émissions des autres postes (collecte, stockage, transport de l'urine, émissions évitées en STEP) devrait être affinée. La thèse en cours sur le sujet dans le territoire d'étude devrait permettre d'affiner ces estimations.
En attendant, le suivi de la mesure serait associé à une forte incertitude.

(c) Gisement

Le gisement théorique d'urine est très important en Ile-de-France avec une dizaine de millions d'habitants excrétant chacun environ 0,5 t/an d'urine (soit environ 5 10^6 t urine/an). En limitant aux quatre territoires d'étude (environ 900 000 habitants), le gisement est de 4.5 10^5 t urine/an. D'autre part, la quasi-totalité des surfaces en grandes cultures du territoire (hormis les terres

en bio) pourraient être épandues avec de l'urine, soit 35 000 ha. Si on retient les chiffres de l'Unifa de 99 kg N/ha fertilisables en moyenne en Ile-de-France (Unifa, 2011) et les teneurs en N de l'urine de l'étude de Tidaker (2003), jusqu'à 47 t/ha d'urine pourrait être épandue chaque année sur le territoire, soit $1{,}9.10^6$ t d'urine au total.
En reprenant les 8 kg eq CO_2/t d'urine, le gisement en Île-de-France se chiffre donc autour de $1{,}5.10^4$ t eq CO_2. Cette estimation est cependant très grossière et vise seulement à indiquer un ordre de grandeur du potentiel théorique de la pratique.

(d) Evaluation économique pour l'agriculture

L'hypothèse retenue pour la valorisation des urines en agriculture est le rendu racine gratuit (urine gratuite et transport et épandage pris en charge par la collectivité), comme cela est pratiqué pour les autres déchets de la ville valorisés en agriculture (boue d'épuration, digestats). Dans ce cas, la pratique s'avère rentable pour l'agriculteur chez qui l'urine serait épandue. L'opération ne lui rajoute également aucun surplus de travail (opération d'épandage réalisée par le prestataire dans le cadre du rendu racine gratuit), voire lui en enlève, étant donné qu'il peut supprimer certains apports d'engrais.
En reprenant les hypothèses de concentration indiquées dans Tidaker (2003) (NPK : 0,21, 0,023, 0,071 % sur brut) et en considérant une efficacité similaire aux engrais minéraux, l'économie d'engrais pour l'épandage d'une tonne d'urine serait de 2,9 €/t d'urine. Ces économies peuvent fortement varier selon les teneurs en nutriments de l'urine, l'urine considérée dans Tiaker (2003) étant assez diluée. En reprenant le bilan GES et ces éléments, le coût de la tonne de CO_2 évitée se situerait autour de –380 €/t.

(e) Conclusion sur l'épandage d'urine

Au vu du bilan GES favorable, de l'importance du gisement sur le territoire d'étude, le recyclage des urines en grandes cultures pourrait avoir un bon potentiel pour la compensation carbone. Cependant, l'additionnalité est difficile à justifier tant que la filière n'est pas en place. De plus, toute la filière est à faire émerger et une étude plus approfondie du bilan GES est à mener dans le contexte du territoire d'étude avant de proposer une méthode de suivi adaptée.

Bilan GES	Favorable, à confirmer dans le territoire d'étude
Additionnalité	Incertaine (filière inexistante à l'heure actuelle)
Suivi	Quantité d'urine épandue par hectare, économie d'engrais réalisée et applications de facteurs d'émissions
Incertitude GES associée au suivi	Fortes pour le moment (manque de références en contexte français)
Gisement pour la pratique	Important (production importante et surfaces épandables disponibles)
Gisement t CO_2	15 000 (ordre de grandeur)
Coût action	Négatif (si urine en rendu racine gratuit)
Potentiel de compensation C	Incertain (manque de références, mais potentiel à terme)
Coût t CO_2	Négatif

c) Réduction du travail du sol

(1) Introduction

En agriculture, le travail du sol peut avoir plusieurs objectifs : destruction des adventices et enfouissement de leurs graines, enfouissement des résidus de cultures, enfouissement des engrais minéraux ou organiques (pour limiter leur volatilisation par exemple), décompactage, émiettement du sol pour préparer les semis, etc. La réduction du travail du sol est souvent motivée par une réduction du temps de travail et des effets positifs sur l'activité biologique des sols.

(2) Bilan gaz à effet de serre de la réduction du travail du sol

Des travaux ont montré ces dernières années l'absence d'effet du travail du sol sur les stocks de carbone du sol dans les conditions pédoclimatiques de la zone d'étude considérée ici (Dimassi et al., 2013). Le non travail conduirait simplement à une stratification de la matière organique dans le sol (enrichissement en surface, appauvrissement en profondeur). Certaines méta-analyses mettent aussi en évidence cette absence d'effet, notamment dans les conditions climatiques tempérés humides de la zone d'étude, même si des études complémentaires sont toujours jugées nécessaires (Chenu et al., n.d.). Les augmentations de stock de carbone observées en agriculture de conservation (non travail du sol, couverture du sol, allongement des rotations) seraient ainsi davantage liées aux augmentations d'entrée de carbone dans le sol via la mise en place de couverts végétaux (Autret et al., 2016).
L'arrêt du travail du sol engendre des réductions d'émissions directes de GES du fait de la réduction de l'énergie nécessaire pour travailler le sol. En semis direct, ces économies sont évaluées entre 15 à 60 l/ha de fioul selon le type de sol et l'itinéraire (Labreuche et al., 2011), ce qui représente entre 49 à 195 kg CO_2 eq/ha.
Ces réductions pourraient cependant être faibles face aux possibles augmentations des émissions de N_2O en système sans labour (Antle and Ogle, 2012). L'effet du non labour sur les émissions de N_2O est encore débattu et dépendrait de nombreuses caractéristiques du système de culture et du contexte pédoclimatique (Feng et al., 2018; Mei et al., 2018).
Finalement, le potentiel de la réduction du travail du sol ou du non travail pour atténuer les émissions de gaz à effet de serre peut être considéré faible à nul (Powlson et al., 2014), et dans tous les cas associés à une forte incertitude.

(3) Estimation du potentiel de compensation carbone

Le bilan gaz à effet de serre de la réduction du travail du sol étant a priori nul ou très incertain dans les conditions pédoclimatiques de notre territoire d'étude, les aspects complémentaires permettant d'estimer le potentiel de compensation carbone seront peu développés par la suite.

(a) Additionnalité

De nombreux agriculteurs ont déjà réduit le travail du sol dans le territoire d'étude : labour non systématique mais travail du sol superficiel, semis direct occasionnel, etc (données internes UMR ECOSYS), comme c'est le cas à l'échelle de toute l'Île-de-France (Agreste, 2014). Pour ces pratiques usuelles, l'additionnalité ne semble donc pas justifiée. Le semis direct systématique (aucun travail du sol quelle que soit l'année) est cependant beaucoup moins développé. Seuls deux agriculteurs sur une centaine ont par exemple été recensés en plaine de Versailles (données internes UMR ECOSYS). A l'échelle de l'Ile-de-France, les surfaces concernées par l'absence totale de travail du sol ne représente que 3 % de la surface totale (Agreste, 2014). Le semis direct systématique pourrait donc justifier d'une additionnalité.

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

Le remplacement du labour par du travail superficiel paraît difficile à vérifier sur le terrain. La vérification de l'absence complète de travail du sol semble plus aisée, via la présence de débris végétaux ou la présence d'un semis de cultures sous un couvert vivant). Ces vérifications se font déjà dans le cadre de la MAEC semis direct sous couvert

Sur la preuve d'une absence de travail du sol, des réductions d'émissions pourraient être estimées sur la base de la littérature si un consensus venait à émerger (stockage de C, émissions de N_2O…). Cependant, au vu des incertitudes entourant les effets de la pratique, une mesure de compensation reposant uniquement sur une preuve d'absence de travail du sol serait associée à une forte incertitude sur son bilan GES.

Le suivi des stocks de carbone au champ ou des émissions de N_2O serait souhaitable, mais fait face à de nombreux problèmes méthodologiques (paragraphe 4), ce qui le rend non réaliste dans le cadre de la compensation carbone.

(c) Gisement

Le gisement potentiel est important sur le territoire d'étude. Les techniques culturales sans aucun travail du sol sont pour le moment très peu représentées (moins de 2 % de la SAU environ). En termes de tonnes de CO_2 évitées, le gisement est cependant nul (bilan GES nul ou incertain).

(d) Evaluation économique pour l'agriculteur

Le coût de la réduction du travail du sol est très variable selon le système de culture et le changement réalisé, le matériel, le contexte pédoclimatique, la variation du rendement ou non suite à la mise en œuvre de la pratique, etc. Il est ainsi très difficile de proposer un coût moyen représentatif des systèmes de culture des territoires d'étude. Une évaluation fine et spécifique serait à réaliser.

Cependant, au vu des références sur le sujet, le coût peut être estimé faible à négatif (Le Garrec and Revel, 2004, Thomas, 2006, Pellerin et al., 2013), et le temps de travail réduit.

(e) Conclusion sur la réduction du travail du sol

Au vu du bilan GES incertain d'une réduction (ou suppression) du travail du sol, le potentiel pour la compensation carbone est également incertain. Dans tous les cas, il n'existerait que pour le semis direct permanent, la simple réduction du travail du sol étant déjà une pratique courante, qui est de plus difficile à vérifier.

	Semis direct permanent	Autres TCS
Bilan GES	Incertain (émissions N_2O)	
Additionnalité	Oui	Pratique courante
Suivi	Vérification visuelle au champ et application de facteurs d'émissions	Difficile
Incertitude GES associée au suivi	Forte sans mesure terrain	Forte sans mesure terrain
Gisement pour la pratique	Important (< 2 % SAU actuellement)	Important (plus de 50 % de la SAU labourés chaque année)
Gisement t CO_2	Nul ou incertain	Nul ou incertain
Coût action	Faible à négatif	Faible à négatif
Potentiel de compensation C	Nul ou incertain	Nul
Coût t CO_2	Faible à négatif si bilan GES favorable confirmé	Faible à négatif si bilan GES favorable confirmé

d) Couverts végétaux

(1) Introduction

Les couverts végétaux sont implantés par les agriculteurs avec différents objectifs : couverture du sol pour le protéger de l'érosion, piégeage de l'azote pour limiter les pertes par lixiviation, fourniture d'azote (couverts de légumineuses), étouffement des adventices, et augmentation des restitutions de matière organique du sol. Ils peuvent être implantés entre deux cultures récoltés (interculture longue avant une culture de printemps ou courte avant une culture d'hiver) ou en association avec une culture (Figure 16). Ils peuvent être détruits chaque année ou être semi-permanents (en lien avec une absence de travail du sol).

Figure 16 : Couvert de féverole dans un colza (source : www.paysan-breton.fr, consulté le 2 octobre 2019), et couvert d'interculture (Source www.arvalis-infos.fr, consulté le 2 octobre 2019)

(2) Définition des scénarios

Les seuls opérations et effets pris en compte ici sont le semis et la destruction du couvert, l'augmentation de la matière organique du sol et la possible économie d'engrais azoté. La rotation est supposée inchangée hormis l'implantation des couverts, aucun autre effet sur les rendements ou les traitements phytosanitaires n'est considéré.
La diversité des systèmes de culture existants et des systèmes alternatifs intégrant davantage de couverts végétaux est très importante. Plutôt que de définir un système de culture de références et quelques alternatives possibles, et étant donné l'additivité du modèle AMG qui est utilisé pour simuler le stockage de carbone, les scénarios alternatifs ont été raisonnés en termes de quantité moyenne annuelle de biomasse aérienne supplémentaire produite par le couvert, plutôt qu'avec des systèmes précis.

(3) Recensement des émissions

(a) Semis du couvert

De nombreuses techniques de semis des couverts existent : semis direct avec un semoir à disques ou à dents, semis après déchaumage avec un semoir à disques, semis à la volée avec un épandeur à engrais, passage de rouleau ou non… La variabilité de ces techniques peut faire fortement varier la consommation de fioul pour le semis du couvert. Une consommation moyenne de 6 l/ha a été retenue, correspondant à la moyenne des différentes techniques de semis de couverts indiqués dans le logiciel Criter. A raison de 3,25 kg eq CO_2/l (base carbone, Ademe, 2019a), les émissions liées au semis sont de 19,6 kg eq CO_2/ha. Ces émissions sont à affecter à chaque hectare chaque année où un couvert est semé.
Les dépenses énergétiques de production des semences sont négligées.

(b) Stockage de carbone

La simulation du stockage de carbone suite à l'ajout de 1 t MS/ha/an de couverts est représentée en Figure 17, selon la durée considérée. Pour 1 t MS/ha/an Le stockage simulé initial est de 0,13 t C/ha. Le déstockage est similaire entre les deux types de sol, avec par exemple 25 et 31 kg C/ha résiduel à 20 ans. A 50 ans, le stockage de C devient quasi-nul.

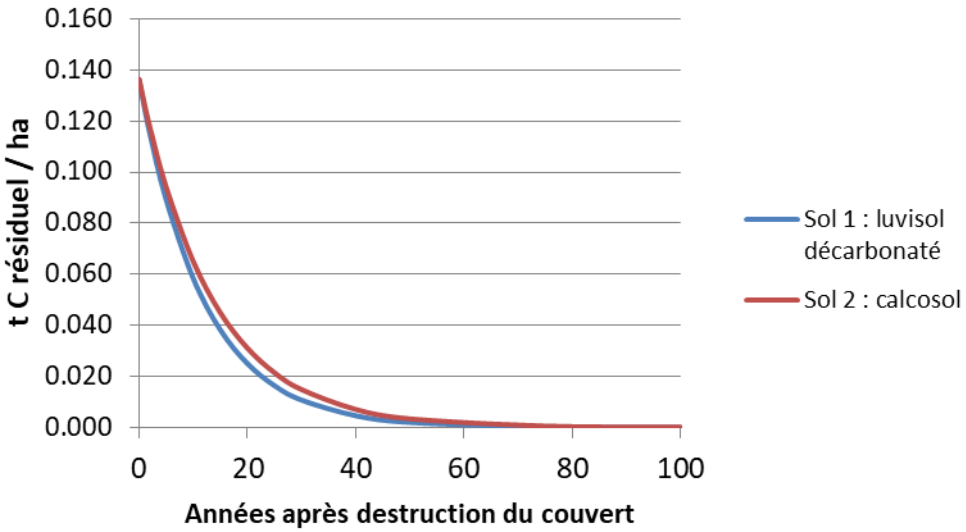


Figure 17 : Stockage de carbone additionnel (en t C/ha) dans un sol limoneux décarbonaté (sol) et dans un calcosol (sol 2) suite à la mise en place d'un couvert végétal (restitution de 1 t MS/ha).

(c) Economie d'engrais

La mise en place d'un couvert d'interculture va permettre de réaliser des économies d'engrais, par la diminution des pertes par lixiviation et/ou par la fixation symbiotique d'azote par un couvert qui contient des légumineuses. En utilisant l'outil MERCI développé par la Chambre d'Agriculture de Poitou-Charentes (Chambre d'Agriculture de Poitou-Charentes, 2018), les restitutions d'azote peuvent être estimées entre 10 à 20 kg N/ha par tonne de biomasse sèche de couvert (selon que le couvert d'interculture soit une graminée ou une légumineuse). Cette économie d'engrais représente des émissions évitées de 53 à 106 kg eq CO_2.
Concernant les couverts associés au colza, les économies d'engrais dans le cas d'un couvert de légumineuses sont plus importantes, de l'ordre de 30 kg N/ha (Verret et al., 2017), représentant des émissions évitées de 158 kg eq CO_2. Aucune relation à la biomasse produite n'étant proposée dans la littérature, il est seulement proposé de ne pas considérer ces économies quand la biomasse du couvert est inférieure à 0,5 t MS/ha.
L'augmentation d'une tonne par hectare des stocks de carbone organique du sol représente 100 kg/ha de stocks d'azote environ, et une fourniture annuelle du sol augmentée de 5 à 10 kg N/ha en fonction de la minéralisation annuelle. L'effet à long terme de cette augmentation est cependant négligé ici, du fait des incertitudes sur la minéralisation et de la part de cette minéralisation disponible pour les cultures, ainsi que de la mise en place progressive de cet effet.
En agriculture biologique, la mise en place de couverts d'interculture pourrait éventuellement permettre de diminuer la consommation d'engrais organiques (et des émissions associées). Ces systèmes ne sont cependant pas considérés ici au vu des incertitudes sur les hypothèses liées à l'effet des couverts dans ces systèmes.

(d) Destruction du couvert

Les techniques de destruction des couverts sont variables : désherbage chimique, broyage, déchaumage, labour, gel…
Un broyage est considéré ici, qui peut être complété d'un travail du sol, mais on suppose que celui-ci aurait été réalisé en l'absence de couverts également. Seules les émissions du broyage sont donc recensées, à raison de 6,5 l/ha de fioul, soit 21,3 kg eq CO_2. Ces émissions sont à affecter à chaque hectare chaque année où un couvert est semé.
Pour un couvert associé au colza, le couvert est considéré gélif et donc ne pas nécessiter d'intervention pour sa destruction.

(4) Comparaison des bilans GES

Le bilan GES de la mise en place d'un couvert végétal est favorable dès que la biomasse du couvert atteint 0,5 t MS/ha. Plus la biomasse produite s'accroît, meilleur est le bilan (Figure 18). En considérant un bilan GES à 100 ans, le stockage de carbone devenant nul, le bilan GES reste favorable grâce aux économies d'engrais, mais pour une biomasse d'au moins 1 t MS/ha pour les graminées (résultats non montrés).

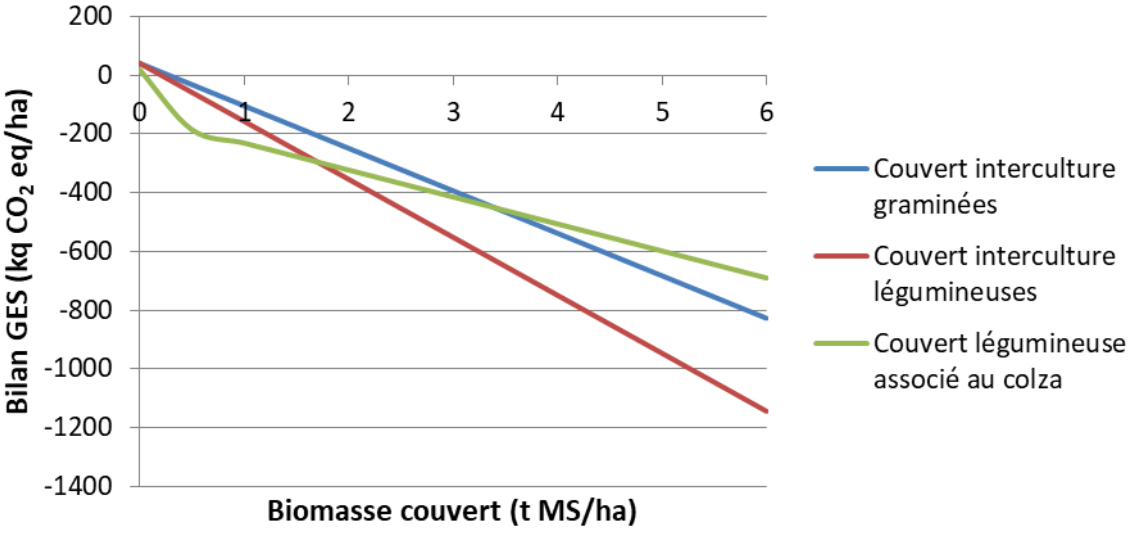


Figure 18 : Bilan GES de la mise en place de couverts en fonction de la biomasse produite, avec stockage de carbone à 20 ans et économies d'engrais en système conventionnel

(5) Estimation du potentiel de compensation carbone

(a) Additionnalité

La mise en place de couverts d'interculture longue (avant culture de printemps) est déjà une pratique réglementaire dans l'ensemble des zones vulnérables nitrates, ce qui est le cas de l'ensemble du territoire d'étude. La mise en place de couverts en interculture longue étant une pratique réglementaire, l'additionnalité d'une mesure de compensation carbone sur de tels couverts paraît difficilement justifiable. Cependant, ces couverts réglementaires ont pour objectif de capter les surplus d'azote présents dans le sol avant la période de lixiviation hivernal. Les agriculteurs ne recherchent pas forcément à produire des biomasses importantes avec ces couverts. **L'additionnalité pourrait ainsi se justifier dans le cas où on chercherait à maximiser la biomasse produite (choix du couvert, date de semis et de destruction…) et/ou la restitution d'azote.**

Concernant les couverts d'interculture courte (entre deux céréales d'hiver par exemple), ou les couverts annuels associés (colza associé) ou semi-pérennes (couverts présents sur plusieurs années culturales), aucune mesure réglementaire n'existe. Peu d'agriculteurs

mettent en place de tels couverts pour le moment. L'additionnalité serait plus facilement justifiable.

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

Le suivi de la mise en place d'une telle action devrait au minimum comprendre la vérification de la présence d'un couvert végétal, ainsi que des économies d'engrais réalisées (en système conventionnel) (voir le paragraphe 2.4.1 pour les économies d'engrais). En faisant une hypothèse sur la biomasse produite par le couvert, ces données permettraient d'estimer les émissions évitées sur la base de la littérature et en utilisant des modèles de simulation du type d'AMG.

Cependant, la biomasse produite par le couvert peut être très variable selon les sols, les années climatiques, l'itinéraire technique, etc. Un moyen de vérification de la biomasse produite par le couvert paraît nécessaire à mettre en place. Plusieurs options sont envisageables :

- des mesures sur le terrain par pesée, ou mesure de hauteur pour les couverts simples monospécifiques (moutarde…) : une importante expertise a été développée par la chambre d'agriculture de Nouvelle Aquitaine à ce sujet, avec la mise en place de l'outil MERCI, qui permet aussi d'estimer les restitutions d'azote à la culture suivante,
- des approches par télédétection : des travaux sont en cours dans les Hauts-de-France pour développer une telle méthode (AgroTransfert Ressources et Territoires).

Avec un tel suivi de la biomasse produite, les incertitudes associées au suivi seraient modérées.
Finalement, un suivi direct du stockage effectif de carbone au champ suite à la mise en place du couvert plutôt qu'une estimation via les biomasses de couverts produites permettrait de réduire ces incertitudes, mais paraît plus délicat à mettre en œuvre (cf. paragraphe 2.4).

(c) Gisement

Le gisement pour la mise en place de couverts végétaux est important :

- 15 à 20 % de la SAU du territoire sont cultivés avec une culture de printemps chaque année : sur ces surfaces, les couverts d'interculture sont déjà obligatoires, mais la production de biomasse pourrait être améliorée.

- 25 à 30 % de la SAU sont concernés par une interculture courte (du type deux céréales se suivant), surfaces sur lesquelles un couvert d'interculture courte pourrait être mis en place.

- 10 à 15 % de la SAU sont cultivés avec du colza, dont une très faible part est associée à un couvert pour le moment,

- Quasiment aucune surface n'est couverte avec un couvert semi-permanent pour le moment.

La production de biomasse supplémentaire sur chacune de ces surfaces est cependant difficile à estimer. Pour l'amélioration des intercultures longues, il serait nécessaire de connaître la production actuelle de biomasse et le gain potentiel en cherchant à l'optimiser (choix du couvert, date de semis et de destruction…). A titre d'exemple, les biomasses de moutarde en couvert d'interculture longue varient entre 0,5 et 4,1 t MS/ha (médiane de 1,9 t MS/ha) dans une compilation d'essais menés en Poitou-Charentes. A titre d'exemple, on peut retenir un gain de biomasse de 1 t MS/ha.

Concernant les couverts associés au colza (féverole…), des travaux récents ont montré que la production de biomasse par les couverts est de l'ordre de 1 t MS/ha. (Verret et al., 2017).

Enfin, concernant les couverts d'interculture courte, peu de références existent sur la production de biomasse envisageable. Une étude (Ademe, 2015) sur le potentiel de CIVE (couverts à vocation énergétique) ne fait pas apparaître de différences très marquées de production de biomasse entre CIVE d'interculture courte et longue. Une médiane de 2 t MS/ha (valeur médiane des couverts d'interculture longue) paraît donc envisageable.

En reprenant les surfaces concernées et les productions de biomasse potentielles (hors couverts semi-permanents), le gisement en termes de tonnes de CO_2 évitées est de l'ordre de 5000 t.

(d) Evaluation économique pour l'agriculture

D'après une synthèse des chambres d'agriculture (APCA, 2015), le coût d'implantation et de destruction d'un couvert est estimé entre 75 et 280 €/ha (moyenne de 140 €/ha), selon le type d'espèces et de semences, le mode d'implantation et de destruction (chimique, mécanique…). A raison d'une économie d'engrais estimée entre 5 et 50 €/ha, le coût net de la pratique se situe autour de 100 €/ha.

En agriculture biologique, la mise en place de couverts pourrait permettre d'économiser des apports en fertilisants organiques (ou d'augmenter le rendement). Ces systèmes ne sont pas considérés ici.

Au final, avec un bilan GES incluant le stockage de carbone à 20 ans, le coût de la tonne de CO_2 évitée varie fortement selon les différentes hypothèses de type de couvert et de productivité, entre moins de 50 €/t eq CO_2 (forte productivité pour des coûts faibles de couverts) à plusieurs milliers d'euros (faible productivité pour des coûts élevés de couverts). En retenant des hypothèses moyennes, le coût de la tonne de CO_2 évitée est de l'ordre de 350 €/t.

D'un point de vue temps de travail, l'implantation de couverts végétaux représente un surplus de travail (semis et destruction), variable selon les techniques d'implantation, pouvant représenter jusqu'à quelques heures supplémentaires par hectare (Charles et al., 2012).

(e) Conclusion sur les couverts végétaux

Au vu du bon bilan GES des couverts d'interculture et du gisement important, l'implantation de davantage de couverts végétaux pourrait faire l'objet de mesures de compensation carbone. Une méthodologie simple de vérification reste toutefois à affiner, la variabilité du stockage et des économies d'engrais faisant fortement varier le bilan GES. Le coût de la mesure peut en revanche être assez élevé.

Bilan GES	Favorable, fortement variable selon la biomasse produite et les économies d'engrais engendrées
Additionnalité	Oui pour les couverts d'interculture courte, associés ou semi-permanents
	Envisageable pour une amélioration des couverts d'interculture longue déjà réglementaire ?
Suivi	Méthode d'estimation de la biomasse produite à définir, estimation des économies d'engrais et application de facteurs d'émissions
Incertitude GES associée au suivi	Modérée si vérification de la biomasse produite
Gisement pour la pratique	Important (interculture courte, couverts associés, amélioration des couverts d'interculture longue…)
Gisement t CO_2	5 000 t CO_2 (hors couverts semi-permanents)
Coût action	Variable mais élevée
Potentiel de compensation C	Bon, sous réserve d'une méthodologie de suivi permettant de limiter les incertitudes
Coût t CO_2	Variable mais élevé (moyenne de 350 €/t)

e) Optimisation / modification des pratiques de fertilisation

(1) Bilan GES

(a) Optimisation de la dose d'azote minérale sans perte de rendement, dont meilleure prise en compte des effets de la fertilisation organique

L'optimisation de la fertilisation azotée est proposée comme une pratique à potentiel de réduction des émissions de GES dans l'étude de Pellerin et al. (2013), notamment en réduisant les doses et en ajustant mieux le potentiel de rendement. En effet, chaque unité d'azote économisée permet d'éviter directement l'émission de 5,34 kg eq CO_2 (base carbone, Ademe, 2019a). La diminution des apports peut également être associée à une diminution des pertes au champ : par émissions de N_2O, volatilisation d'ammoniac ou lixiviation de nitrates, ces deux derniers postes de pertes pouvant eux-mêmes donner lieu à des émissions indirectes de N_2O (Beaulieu et al., 2011). La meilleure utilisation des fertilisants azotés est ainsi vue par certains auteurs comme un des principaux moyens d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture (Powlson et al., 2011) plutôt que le stockage de carbone dans les sols.

Afin de réduire la consommation d'engrais azoté, Pellerin et al. (2013) proposent de définir des objectifs de rendement plus réalistes (plus faibles), ainsi que de mieux prendre en compte l'effet des fertilisants organiques dans le calcul des besoins en engrais azoté. Pellerin et al. (2013) retiennent des réductions d'émissions de 222 kg CO_2 eq/ha/an pour l'ajustement des doses avec un rendement plus réaliste et de 156 kg CO2 eq/ha/an pour la meilleure prise en compte des effets des fertilisants organiques. Ces chiffres ne sont pas recalculés spécifiquement sur notre territoire du fait du faible potentiel de compensation de ces deux mesures (paragraphe 2.3.5.2) et du manque de données spécifiques au territoire concernant les pratiques de fertilisation.

(b) Réduction de la dose d'azote minérale engendrant une perte significative de rendement

La réduction des doses d'engrais minéraux azotés au-delà des besoins de la culture pour atteindre le rendement objectif (et réaliste) conduit à des pertes de rendement. Ces économies d'engrais amènent à des réductions d'émissions. Cependant, si on considère un report de production dans un autre lieu avec une augmentation des consommations en engrais, ces réductions d'émissions peuvent s'annuler. De même, si le bilan GES n'est plus réalisé à l'hectare mais au quintal produit, l'impact de la mesure sur le bilan GES peut s'atténuer. Pour l'ensemble de ces raisons, le bilan précis de cette mesure est difficile à chiffrer et est spécifique de chaque système de culture et des hypothèses prises sur les pertes de rendement et les reports éventuels de production.

(c) Enfouissement des engrais minéraux

Les engrais minéraux azotés apportent une fraction plus ou moins importante de l'azote sous forme ammoniacale (50 % pour l'ammonitrate, 75 % pour la solution azotée après hydrolyse de l'urée). Cet azote ammoniacal est sujet à volatilisation. Ces pertes variant entre 0 et plus de 40 % selon les types d'engrais et de divers autres facteurs (vent, température, précipitations, pH du sol...) (Comifer, 2013). L'enfouissement rapide des engrais permet de réduire significativement les pertes par volatilisation (en moyenne de 80-90 %, Comifer, 2013). Cette réduction des pertes par volatilisation peut permettre une diminution des doses d'engrais apportées et des émissions associées à leur fabrication ainsi qu'aux émissions de N_2O au champ. Dans l'étude Pellerin et al., (2013), la diminution des pertes est estimée à 12 kg N/ha sur les parcelles où l'enfouissement est mis en œuvre.

(d) Enfouissement des engrais organiques

Les engrais organiques peuvent contenir des quantités importantes d'azote ammoniacal. De même que pour les engrais minéraux, cet azote est sujet à la volatilisation. L'enfouissement des engrais organiques peut également réduire les pertes de plus de 90 %, réduisant ainsi le besoin en fertilisation minérale complémentaire et les émissions associées à ces engrais. Le bilan GES d'un tel enfouissement n'est pas chiffré, du fait du faible potentiel de compensation de cette mesure (paragraphe 2.3.5.2).

(2) Estimation du potentiel de compensation carbone

(a) Additionnalité

Optimisation de la dose d'azote minérale sans perte de rendement et meilleure prise en compte des effets de la fertilisation organique

La directive européenne 91/676/CEE, appelée communément directive nitrates a pour objectif de limiter la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. Sa transposition en droit français a amené à délimiter des zones vulnérables, dans lesquelles des plans d'actions s'appliquent. Notre zone d'étude est complètement intégrée dans une zone vulnérable nitrates, comme l'ensemble de la région Ile-de-France. Le 5ème plan d'action régional (2014-2018), reconduit pour la période 2018-2021, prévoit notamment que l'équilibre de la fertilisation soit garanti, via la réalisation d'un bilan azoté entre les besoins prévisibles de la culture et les apports et sources d'azote. Cela implique notamment la prise en compte d'objectifs de rendements réalistes.

Malgré ce plan d'actions nitrates, des pertes azotées importantes peuvent se maintenir (vers l'eau ou vers l'air), notamment dans le bassin parisien dans lequel se trouve notre zone d'étude (Benoit, 2014), pertes pouvant en partie être liées à un mauvais équilibre de la fertilisation. *

Cependant, même si un potentiel d'optimisation de la fertilisation azotée existe malgré l'existence de cette zone vulnérable, il apparaît difficile de lui attribuer un potentiel de compensation carbone. Cela reviendrait à démontrer une fertilisation préalable excessive en théorie non compatible avec le plan d'actions de la zone vulnérables. Un effet d'aubaine pourrait également exister suite à la mise en place d'une telle mesure de compensation, la vérification des pratiques de fertilisation au préalable à la mise en place de la compensation carbone étant difficile.

Pour l'ensemble de ces raisons, l'inclusion d'une optimisation de la dose d'azote minérale n'est pas retenue comme une pratique à potentiel de compensation carbone.

Réduction de la dose d'azote minérale engendrant une perte significative de rendement

Pour un agriculteur en agriculture conventionnelle, au prix actuel des engrais azotés, réduire la fertilisation azotée en deçà de l'optimum économique n'a pas d'intérêt (balance charges en engrais / rendement). L'additionnalité de cette mesure est donc réelle.

Enfouissement des engrais minéraux

L'enfouissement des engrais minéraux avant semis des cultures de printemps n'est pas obligatoire. Cependant, de nombreux agriculteurs le pratiquent déjà pour limiter la volatilisation des engrais les plus sensibles (solution azotée dans le territoire notamment). D'autres agriculteurs privilégient des apports d'ammonitrate pour limiter ces pertes. Le plan national de

réduction des émissions de polluants atmosphériques (défini par l'arrêté 10 mai 2017) prévoit également des mesures pour limiter la volatilisation de l'urée dès la campagne 2019-2020. L'additionnalité d'une telle mesure paraît donc limitée.

Enfouissement des engrais organiques

L'enfouissement des engrais organiques n'est pas obligatoire pour le moment, hormis concernant certaines matières à proximité des habitations (boues d'épuration notamment). Cependant, la plupart des exploitants du territoire qui utilisent des engrais organiques à fort potentiel de volatilisation (lisier, digestat) enfouissent déjà ces effluents afin de limiter les pertes d'azote (données internes UMR ECOSYS), hormis quand ces apports sont réalisés sur culture (enfouissement impossible). Pour les autres matières organiques courantes sur le territoire (compost de déchets verts, fumier de cheval), l'enfouissement n'est pas systématique, mais le potentiel de volatilisation est très faible. Enfin, le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (défini par l'arrêté 10 mai 2017) prévoit d'assurer d'ici 2025 l'usage de matériel d'épandage limitant la volatilisation. L'additionnalité d'une telle mesure paraît donc limitée.

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

L'ensemble de ces actions nécessiterait un suivi des pratiques de fertilisation si elles étaient mises en œuvre (paragraphe 2.4.1). En appliquant les facteurs d'émissions de la littérature (N_2O au champ notamment), il serait possible d'estimer le bilan GES de la mesure, avec cependant de fortes incertitudes. De plus, le risque d'un effet d'aubaine est important (difficulté à prouver le changement de pratiques), ce qui augmente les incertitudes.

(c) Gisement

Concernant l'optimisation des pratiques de fertilisation, le gisement est a priori important (Pellerin et al., 2013), ce que semble confirmer l'importance des pertes en nitrates dans le bassin parisien (Benoit, 2014). La réduction supplémentaire des apports d'azote (en deçà des doses optimales) présente un gisement a priori encore plus important, au vu des pratiques de fertilisation moyennes en Ile-de-France (Unifa, 2014). Pour l'enfouissement des engrais minéraux, le potentiel concerne les apports sur culture de printemps (soit 15 à 20 % de la SAU du territoire). Il serait cependant nécessaire d'estimer plus précisément la part de surface recevant des engrais sensibles à la volatilisation (solution azotée, urée) non enfouis, et si possibles selon les types de sol, pour estimer un gisement plus réaliste. Concernant ces trois premières actions, l'agriculture biologique est évidemment exclue du gisement (absence d'utilisation d'engrais minéraux azotés).

Enfin, pour les engrais organiques, peu de matières à fort potentiel de volatilisation (lisiers, digestats…) sont utilisées sur le territoire, le gisement apparaît donc très faible. Ceci pourrait évoluer à termes avec le développement de la méthanisation. Au vu du bilan GES favorable et de l'importance du gisement en termes de surfaces concernées, le gisement en termes de tonnes de CO_2 évitées semble important, mais n'a pu être chiffré ici.

(d) Evaluation économique pour l'agriculture

Pour l'ensemble des mesures hormis la réduction importante des apports de fertilisants azotés, le coût pour l'agriculteur est considéré nul à négatif du fait des économies d'engrais réalisables (Pellerin et al., 2013). Le chiffrage n'est pas affiné au vu du manque de potentiel de ces actions.

Concernant la réduction importante des apports de fertilisants azotés, le coût peut être important. A titre d'exemple, la production d'une tonne de blé supplémentaire valorisée à 150 € nécessite seulement de l'ordre de 30 kg N, soit environ 30 € (soit 5 €/kg N apporté).

D'un point de vue temps de travail, l'optimisation de la fertilisation ne représente aucun changement (voire des réductions si des apports sont supprimés), tandis que l'enfouissement des engrais représente un surplus de travail (moins d'une demi-heure par hectare pour un déchaumage d'après la base de données du logiciel CRITER).

(e) Conclusion

Aucune pratique concernant la fertilisation azotée ne présente un potentiel de compensation carbone, soit par manque d'additionnalité, soit du fait d'un bilan GES et d'un suivi incertain.

	Optimisation de la fertilisation azotée	Réduction importante des apports N	Enfouissement engrais minéraux	Enfouissement engrais organiques
Bilan GES	Favorable	Incertain (si bilan GES au quintal produit et prise en compte du report de production)	Favorable	
Additionnalité	Non (réglementation)	Oui	Non (courant et réglementation à venir)	
Suivi	Pratiques de fertilisation et facteurs d'émissions (effet d'aubaine)	Impossible pour le report de production	Pratiques de fertilisation et facteurs d'émissions (effet d'aubaine)	Pratiques de fertilisation et facteurs d'émissions (effet d'aubaine)
Incertitude GES associée au suivi	Forte (émissions N_2O)	Forte (émissions N_2O)	Forte (émissions N_2O)	Forte (émissions N_2O)
Gisement pour la pratique	Important	Important	Important	Faible
Gisement t CO_2	Incertain mais a priori élevé			Modéré ?
Coût action	Négatif	Elevé	Négatif	Négatif
Potentiel de compensation	Nul	Nul	Nul	Nul
Coût t CO_2	Négatif	Élevé si existe	Négatif	Négatif

f) Insertion de légumineuses à graines (hors couverts végétaux)

(1) Introduction et bilan GES

Les légumineuses sont une famille de plante qui a la particularité de pouvoir fixer symbiotiquement l'azote de l'air grâce aux bactéries présentes dans leurs nodosités. Ces cultures ne nécessitent donc pas de fertilisation azotée. La minéralisation de leurs résidus riches en azote peut aussi fournir de l'azote pour la culture suivante, et ainsi diminuer le recours aux engrais minéraux (-33 kg N/ha dans l'étude de Pellerin et al., 2013). L'introduction de légumineuses dans les systèmes de culture peut aussi modifier les émissions de N_2O au champ. Dans l'expertise de Pellerin et al., (2013), une absence d'émissions associées à la fixation symbiotique est considérée tandis que les émissions liées à la minéralisation des résidus pendant la culture suivante sont considérées identiques à celles d'une autre culture. L'insertion d'une légumineuse est aussi considérée permettre l'implantation de la culture en non labour, ce qui amène à une nouvelle réduction d'émissions. Finalement, Pellerin et al. (2013) retiennent un bilan GES de 1991 kg eq CO_2/ha légumineuses.

Ce bilan est sujet à variation, principalement selon les économies d'engrais réalisées et les facteurs d'émissions de N_2O au champ retenu. A noter qu'en agriculture biologique, le bilan GES serait différent (les économies d'engrais minéraux azotés n'existant pas).

(2) Estimation du potentiel de compensation carbone

(a) Additionnalité

Au sein des quatre territoires d'étude, la part de légumineuses à graines dans la SAU varie de 1 à 5 % de la SAU les années et le territoire considéré (source : RPG 2015 à 2017). Des initiatives récentes sur le territoire visent également à développer ces productions dans le cadre de circuits courts (lentilles notamment). L'additionnalité d'une mesure légumineuses semble donc discutable, leur culture étant bien établie, malgré le fait qu'elles restent minoritaires dans l'assolement.

Plusieurs verrous expliquent leur faible part d'assolement (Meynard et al., 2013), à différents niveaux (filière, R&D, conseil agricole…). L'additionnalité pourrait se justifier pour aider au déverrouillage.

Dans le cas particulier de l'agriculture biologique, les légumineuses sont des cultures majeures (souvent plus de 20 % des assolements bio), du fait du besoin d'alterner les familles cultivées et de la fourniture d'azote. L'additionnalité en bio n'est donc pas justifiée.

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

Le suivi des émissions reposerait a minima sur le suivi des assolements (déclaration PAC librement accessible dans le RPG) et d'une vérification des économies d'engrais réalisées (cf. paragraphe 2.4.1). L'application des facteurs d'émissions permettraient d'estimer le bilan GES sans trop d'incertitude.

(c) Gisement

Les légumineuses occupent actuellement une faible place dans l'assolement du territoire (3 % en moyenne, Figure 8). Les principales espèces cultivées sont la féverole (Figure 19), le pois de printemps et le pois d'hiver. A noter que le développement d'une filière lentille est aussi en cours sur le territoire. L'étude de Pellerin et al. (2013) considère un temps de retour envisageable pour les légumineuses de 1 an sur 6, soit 16 % de la SAU (14 % ramené aux surfaces en culture). Le gisement est donc important sur le territoire, de l'ordre de 4 900 ha par an, soit 10 000 t eq CO_2/an.

Figure 19 : Champ de féverole sur le plateau de Saclay (Source : Levavasseur Ecosys INRA, 2019)

(d) Evaluation économique pour l'agriculture

Le coût de l'insertion des légumineuses dans les systèmes de culture est évalué à 19 €/ha dans l'étude de Pellerin et al. (2013), tandis que d'autres auteurs jugent la pratique sans surcoût pour l'agriculteur, du fait des économies d'engrais et de l'augmentation du rendement de la culture suivante (Jeuffroy et al., 2015). Le coût à la tonne de CO_2 évitée varie donc entre 0 et 10 €/t.

Des retours d'agriculteurs du territoire d'étude font cependant état d'une rentabilité économique moindre localement, du fait de dégâts importants par les oiseaux.

(e) Conclusion sur les légumineuses

L'insertion des légumineuses dans les systèmes de culture présente un bilan GES favorable (en agriculture conventionnelle), pourrait être vérifiée aisément et le gisement est important.

Néanmoins, l'additionnalité semble peu justifiée, la culture des légumineuses étant déjà une pratique courante (même si minoritaire), spécialement en agriculture biologique. Une mesure de compensation carbone pourrait se justifier afin de lever des verrous au développement de la filière.

Bilan GES	Favorable (en conventionnel), 1991 kg eq CO_2/ha
Additionnalité	Non, sauf pour déverrouiller la filière (hors AB)
Suivi	Assolement et pratiques de fertilisation, et facteurs d'émissions
Incertitude GES associé au suivi	Faible à modérée
Gisement pour la pratique	Important
Gisement t CO_2	10 000
Coût action	0 à 20 € / ha
Potentiel de compensation C	Sous réserve d'additionnalité
Coût t CO_2	0 à 10 € / t

g) Inhibiteur de nitrification

(1) Introduction et bilan GES

La nitrification (figure 20) consiste en la transformation par les bactéries du sol de l'azote ammoniacal en nitrates, tandis que la dénitrification (figure 21) correspond à la transformation des nitrates en diazote gazeux en conditions d'anoxie. Durant ces deux processus, une part de l'azote peut-être perdu sous forme de N_2O. Ces processus sont naturels et ont lieu dans tous les sols.

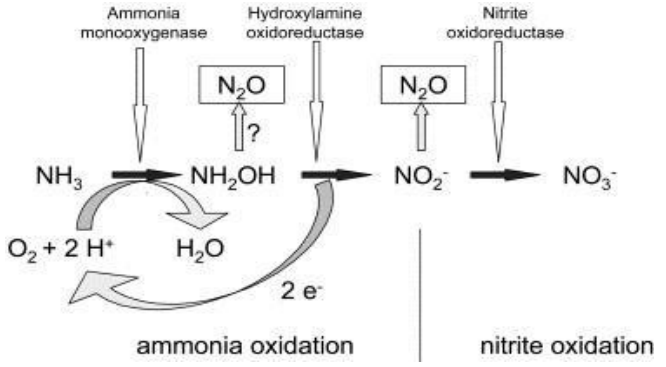


Figure 20 : Réaction de nitrification (source : Wrage et al., 2001, nitrification et dénitrification, avec enzymes impliquées)

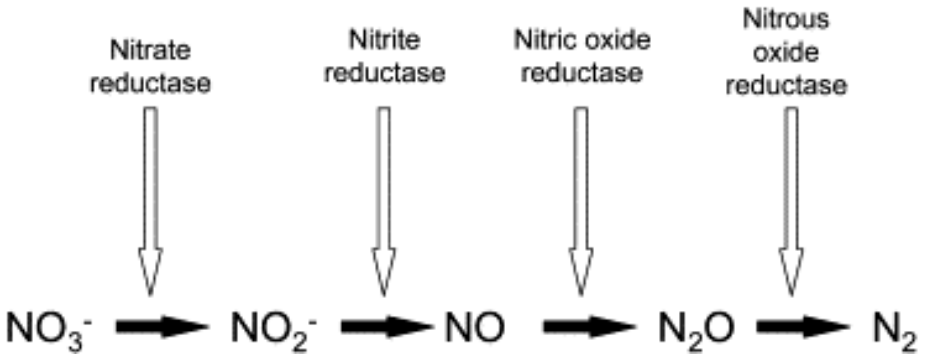


Figure 21: réaction de dénitrification (source : Wrage et al., 2001, nitrification et dénitrification, avec enzymes impliquées)

Les inhibiteurs de nitrification permettent de ralentir la nitrification de l'azote ammoniacal du sol, en inhibant l'action des bactéries du sol responsables de la nitrification. Cette inhibition de la nitrification va limiter les pics en azote nitrique du sol, ce qui va pouvoir réduire les émissions de N_2O par dénitrification. La réduction des quantités d'azote nitrique du sol peut également limiter les pertes par lixiviation et donc réduire les besoins en engrais azotés, ce qui réduit également les émissions de GES liées aux engrais. Des doutes subsistent néanmoins sur les potentiels impacts écotoxicologiques de ces molécules (Pellerin et al., 2013).

Aucune expertise spécifique sur le sujet n'étant disponible au sein de l'équipe en charge de l'étude et peu de spécificités locales fortes permettant d'affiner le potentiel de l'action n'ayant été identifiées, les potentiels de réduction d'émissions de l'expertise de Pellerin et al. (2013) sont repris ici. L'usage d'un inhibiteur de nitrification est ainsi supposé engendrer des réductions d'émissions de l'ordre de 317 kg eq CO_2/ha/an, avec les hypothèses suivantes :

- usage un an sur 5 ou pour un cinquième de la dose d'engrais seulement (limitation pour un risque d'écotoxicité potentielle),
- réduction de 10 % de la fertilisation azotée du fait d'une meilleure efficience des apports.

(2) Estimation du potentiel de compensation carbone

(a) Additionnalité

L'usage des inhibiteurs de nitrification en grandes cultures est pour le moment quasi-nul (Pellerin et al., 2013). Les intérêts pour l'agriculteur sont relativement faibles (amélioration de la nutrition azotée du fait d'une réduction possible des pertes par lixiviation et d'une meilleure disponibilité d'azote ammoniacale) et ne compensent pas le surcoût de l'inhibiteur (paragraphe 2.3.7.2.4).

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

Le suivi des émissions de N_2O au champ étant difficile à mettre en œuvre (cf. paragraphe 2.4), la vérification des réductions d'émissions ne pourrait se faire qu'en comptabilisant les quantités d'inhibiteur de nitrification et d'engrais utilisées, et en appliquant un abattement moyen des réductions de N_2O. Au vu des incertitudes existant tant sur les émissions que l'efficacité des inhibiteurs, l'incertitude sur les émissions évitées serait élevée. La comptabilisation des

réductions d'émissions liées à la réduction de la consommation d'engrais nécessiterait un suivi de ces consommations (paragraphe 2.4.1).

(c) Gisement

Le gisement est important et correspond à l'ensemble des surfaces fertilisées sur le territoire d'étude, soit la quasi-totalité des surfaces agricoles. Les inhibiteurs de nitrification n'étant pas autorisés en agriculture biologique, les surfaces en agriculture biologique sont néanmoins exclues de cette action. Le gisement correspondant (pour environ 35 000 ha) correspond à 11 000 t eq CO_2/ha/an.

(d) Evaluation économique

Le surcoût d'utilisation des inhibiteurs de nitrification est de 0,34 € par kilogramme d'azote épandu, soit 15 €/ha/an dans le scénario retenu par Pellerin et al. (2013). En considérant les économies d'engrais, le coût de la tonne évitée de CO_2 évitée est 50 €. Aucun surplus de travail significatif n'est associé à la pratique.

(e) Conclusion sur les inhibiteurs de nitrification

Avec un bilan GES favorable, une additionnalité justifiée, une vérification des émissions envisageable malgré de grosses incertitudes et un gisement important, l'usage d'un inhibiteur de nitrification a un bon potentiel de compensation carbone dans notre territoire.

Bilan GES	Favorable
Additionnalité	Oui (très peu développé à l'heure actuelle, intérêt limité pour l'agriculteur)
Suivi	Pratiques de fertilisation, quantité d'inhibiteur et facteurs d'émissions
Incertitude GES associée	Forte
Gisement pour la pratique	35 000 ha (AB exclue)
Gisement t CO_2	11 000
Coût action	0,34 € / kg N
Potentiel de compensation C	Bon
Coût t CO_2	50 € / t

h) Méthanisation

(1) Introduction et bilan GES

La méthanisation consiste en la digestion anaérobie de déchets organiques afin de produire du méthane. Le méthane produit peut être valorisé directement, ou en cogénération (électricité et chaleur), ce qui représente des émissions évitées. Des fuites de méthane pendant le

procédé peuvent néanmoins atténuer le bilan GES de la méthanisation. Les déchets organiques méthanisés sont très variés : fumiers et lisiers, cultures dédiées, cultures intermédiaires à vocation énergétique, déchets alimentaires, déchets verts… Le résidu de la méthanisation est le digestat, qui peut être plus ou moins amendant (stockage de carbone) ou fertilisant (économies d'engrais et émissions GES évitées associées). Son stockage et son épandage vont cependant être associés à des émissions (carburant, émissions de N_2O au champ…).

Le potentiel d'atténuation GES de la méthanisation va être fortement dépendant des hypothèses sur la production, les fuites et la valorisation du méthane, du type de déchets méthanisés et des émissions associées à leur collecte et stockage (et à leur production pour les CIVE et cultures dédiées), sur les émissions associées à la gestion alternative des déchets méthanisées (épandage direct, compostage, incinération…) et des émissions liées à la valorisation du digestat (Gerin et al., 2008; Rehl and Müller, 2011; Wulf et al., 2006). Il est donc très difficile de proposer un potentiel d'atténuation GES moyen de la méthanisation. Ce potentiel est spécifique à chaque unité de méthanisation. Cependant, nous retiendrons un bon potentiel d'atténuation GES pour la méthanisation dans son ensemble au vu des nombreux résultats en ce sens dans la littérature, spécifiquement pour les fumiers (Burg et al., 2018). L'incinération de certains déchets organiques municipaux peut cependant avoir un meilleur bilan GES que la méthanisation dans des cas précis (Naroznova et al., 2016).

Dans le cas où la méthanisation n'est pas agricole mais où l'agriculteur n'est que l'utilisateur du digestat, l'allocation des réductions d'émissions du fait de la production de méthane à l'épandage de digestat est cependant discutable. Il conviendrait dans tous les cas d'être cohérent avec l'épandage de compost où ces émissions amont ont été considérées dans cette étude.

Figure 22 : Installation de méthanisation de biodéchets à Etampes (source : leparisien.fr, consulté le 2 octobre 2019)

(2) Estimation du potentiel de compensation carbone

(a) Additionnalité

La filière méthanisation est actuellement en plein développement en France, de 31 méthaniseurs en 2010 à 506 en juin 2018 (Ademe, 2019b). La filière fait l'objet de politiques de soutien avec des aides possibles et des tarifs de rachat de l'énergie qui rendent globalement rentable la méthanisation. L'additionnalité n'est donc pas justifiée tant que la filière se développe grâce à ces politiques de soutien.

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

Afin de dresser un bilan GES d'une unité de méthanisation, de nombreuses données devraient être recueillies, comme expliqué précédemment : types de déchets méthanisés et gestion alternative, aire de collecte des déchets, stockage et prétraitement, production et valorisation du biogaz, modalités de stockage et d'épandage du digestat… Dresser un bilan GES complet d'une unité de méthanisation en minimisant les incertitudes est donc faisable mais complexe.

(c) Gisement

A l'échelle de l'Île-de-France (Solagro, 2013), le gisement pour la méthanisation est principalement constitué de résidus de cultures, de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE), de biodéchets de la restauration et des particuliers et des fumiers (de chevaux notamment). Au vu des caractéristiques du territoire (agriculture principalement tourné vers la grande culture, nombreux centres équestres, proximité des centres urbains), le gisement peut a priori être considéré similaire). Il est à noter que des études de gisement sont en cours sur certaines zones du territoire et permettront d'affiner les estimations régionales.

(d) Evaluation économique pour l'agriculture

La plupart des méthaniseurs agricoles présentent une rentabilité, quoique faible, grâce aux aides et au prix d'achat garanti de l'électricité ou du gaz (étude Prodige menée par les chambres d'agriculture pour l'Ademe, citée sur https://www.entraid.com/articles/etude-sur-21-unites-de-methanisation. Le coût pour un agriculteur est donc négatif. Il en découle un coût de la tonne de CO_2 évitée négatif également. Il est cependant important de noter que ces coûts négatifs sont complètement dépendants du contexte actuel favorable à la méthanisation (aides et prix garanti). Le temps de travail à consacrer au méthaniseur est cependant assez conséquent (plusieurs heures par jour d'après APCA, 2015).

Dans le cas d'une méthanisation non agricole (unité de méthanisation de biodéchets par exemple), l'agriculteur serait seulement le « receveur » du digestat. Dans ce cas, l'épandage est normalement conduit en rendu racine gratuit pour l'agriculteur (l'épandage est à la charge du producteur de digestat et le digestat est lui-même gratuit). L'agriculteur réalise donc des économies d'engrais (N, P, K) sans que cela ne lui coûte. La pratique d'épandage de digestat reste rentable pour l'agriculteur. Aucun surplus de travail n'est associé à la pratique dans le cadre d'un rendu racine gratuit (prestataire en charge de l'épandage).

(e) Conclusion sur la méthanisation

Bilan GES	A priori toujours favorable par rapport à la gestion alternative, forte variabilité
Additionnalité	Non tant que le maintien des politiques de soutien suffit au développement de la filière. (filière en plein développement)
Suivi	Complexe : flux de déchets entrants, production de méthane, pratiques de fertilisation…
Incertitude GES associée au suivi	Forte (production et fuite de méthane, émissions N_2O au champ, transport, émissions associées aux matières entrantes…)
Gisement pour la pratique	Important (résidus de culture, CIVE, déchets alimentaires…)
Gisement t CO_2	Inconnu sur le territoire, mais a priori important (cf. potentiel en IDF)
Coût action	Méthaniseur majoritairement rentable, épandage de digestat également
Potentiel de compensation C	Non (pas d'additionnalité, suivi difficile…)
Coût t CO_2	< 0

i) Bandes enherbées

(1) Introduction et bilan GES

L'enherbement de surfaces auparavant cultivées permet de réduire les émissions de GES du fait de la réduction des émissions directes de N_2O au champ et de celles liées au machinisme, des émissions liées à la fabrication des intrants (engrais, phyto) ou bien encore du stockage de carbone induit. L'enherbement conduit cependant à une perte de production totale, qui peut amener à considérer un report de production ailleurs dans le monde et des émissions associées.

L'enherbement n'est donc ici considéré que dans le cadre de bandes enherbées anti-érosives ou pour limiter les transferts de pollutions diffuses, de bandes fleuries pour favoriser la biodiversité, etc. On considère donc que le report de production n'est pas à considérer.

Figure 23 : Thalweg enherbé (source : chambre d'agriculture de Seine-Maritime) et bandes fleuries (source : INRA A Gardarin)

Concernant le bilan GES, en l'absence d'expertise spécifique, les hypothèses de Pellerin et al. (2013) sont reprises ici, soit un bilan GES de 2029 kg eq CO_2/ha/an. Cependant, si une telle action était mise en place, il apparaît nécessaire de réaliser un diagnostic précis des

émissions évitées (niveau de fertilisation avant enherbement, consommation de carburant, estimation des stocks de carbone…) afin de limiter les incertitudes sur ce bilan GES.

A noter que si l'enherbement n'est réalisé qu'à des fins de compensation carbone, il conviendrait de considérer la perte de production et le report potentiel de cette production dans le bilan GES, vu que cette perte n'aurait pas eu lieu autrement. Dans ce cas, le bilan GES pourrait être fortement modifié.

(2) Estimation du potentiel de compensation carbone

(a) Additionnalité

Les bandes enherbées le long des cours d'eau sont déjà réglementaires (conditionnalité aides PAC), l'additionnalité ne peut donc pas se justifier.
Pour les autres bandes enherbées potentielles (lutte anti-érosive, biodiversité), l'additionnalité pourrait être justifiée dans le cas où la compensation carbone permettrait la mise en place de cette bande enherbée qui aurait été difficile à mettre en œuvre autrement (pour des raisons économiques notamment). Il est donc nécessaire que cette bande enherbée ne soit pas complètement subventionnée par ailleurs.

(b) Méthodologie de suivi / vérification des réductions d'émissions

La vérification des réductions d'émissions pourrait être assurée via un contrôle visuel sur le terrain ou un contrôle des déclarations PAC (registre parcellaire graphique librement accessible), ces déclarations étant elles-mêmes contrôlées. L'incertitude sur les émissions évitées seraient modérées (bonnes connaissances du stockage sous prairie et des émissions évitées suite à l'arrêt de la mécanisation et de la fertilisation).

(c) Gisement

L'estimation du gisement sur le territoire d'étude nécessiterait un diagnostic précis (zones sensibles à l'érosion, diagnostic biodiversité…).

(d) Evaluation économique pour l'agriculture

L'étude de Pellerin et al. (2013) mentionne un coût de 633 €/ha/an, notamment du fait de l'absence de production, et ceci malgré les économies liées à la diminution des intrants ou de la mécanisation. Cependant, de même que pour le bilan GES, un diagnostic spécifique à la zone à enherber serait nécessaire pour estimer ce coût (fonction de la production, du niveau d'intrants…). Le coût de la tonne de CO_2 évitée est alors de 311 €/t.
Du point de vue temps de travail, la pratique permet une diminution importante (dépendant des pratiques initiales), les opérations à mener sur la bande enherbée étant très limitées (semis la première année, puis fauche).

(e) Conclusion sur les bandes enherbées

Bilan GES	Favorable (si non considération de la perte et du report potentiel de production) avec incertitude faible à modérée (si diagnostic préalable) 2029 kg eq CO_2/ha/an
Additionnalité	Oui (sauf bandes enherbées réglementaires le long de cours d'eau)
Suivi	Visuel sur le terrain ou déclaration PAC et applications de facteurs d'émissions
Incertitude GES associée au suivi	Modérée (si diagnostic initial)
Gisement pour la pratique	Inconnu
Gisement t CO_2	Inconnu
Coût action	633 € / ha / an
Potentiel de compensation C	Incertain
Coût t CO_2	311 € / t

4. Aspects transversaux des méthodologies de suivi

a) Economie d'engrais

Plusieurs pratiques de compensation carbone reposent sur une atténuation GES du fait d'une réduction des consommations d'engrais. Il apparaît donc nécessaire de mettre en œuvre une méthodologie simple de suivi des pratiques de fertilisation pour vérifier les réductions d'émissions. A ce titre, différentes mesures agro-environnementales ont par le passé proposé des cahiers des charges impliquant des réductions de fertilisation. Le contrôle de ces réductions de fertilisation reposait sur la vérification du cahier d'enregistrement des pratiques, des pièces comptables (factures, livre, journal …), du plan d'épandage, etc. Un suivi similaire pourrait être envisagé pour la compensation carbone.

b) Vérification du stockage de carbone dans les sols

La quantification réelle au champ de l'évolution des stocks de carbone organique du sol nécessite un protocole assez lourd à mettre en place :

- analyse des teneurs en carbone organique sur plusieurs horizons (pour bien prendre en compte l'effet de la redistribution potentielle de la matière organique dans le profil de sol en cas de changement de pratiques de travail du sol) (Dimassi et al., 2013),

- mesure de la densité apparente dans les mêmes horizons que pour l'analyse de la teneur en carbone, pour permettre le calcul des stocks de carbone à masse de sol équivalente au cours du temps dans le cas d'une évolution de la densité apparente du sol (Ellert and Bettany, 1995),

- suivi des stocks de carbone au sein de placettes d'étendue limitée au sein de la parcelle agricole afin de limiter la variabilité spatiale du sol et la teneur en carbone organique, avec un retour environ au même endroit à chaque analyse (positionnement GPS…),

- mise en place de réplicas (plusieurs placettes) au sein de la parcelle pour bien prendre en compte la variabilité spatiale qui peut être importante (3 réplicas a minima),

- mise en place de placette témoin où la mesure de compensation carbone n'est pas mise en œuvre pour s'affranchir des évolutions de stocks de carbone qui ne seraient pas dues à la mise en place de la mesure :
  - système qui ne serait initialement pas à l'équilibre,
  - changements de pratiques autres que celles faisant l'objet de la compensation carbone (apports de matières organique, changement de rotation, de rendement, de restitution des résidus…)

- si absence de placette de témoin, nécessite d'avoir un système initialement à l'équilibre, qui ne subirait pas de changements de pratiques autres que celles de la compensation carbone.

Pour toutes ces raisons, le suivi des stocks de carbone au champ pour valider le stockage lié à une mesure de compensation carbone paraît très difficile à mettre en œuvre dans ce contexte.

c) Mesure des émissions de N2O au champ

La mesure des émissions de N_2O au champ pourrait en théorie être un moyen de limiter l'incertitude entachant le bilan GES de nombreuses pratiques. Cependant, la mesure des émissions de GES au champ s'avère lourde à mettre en œuvre. Elle repose généralement sur des chambres de mesure statiques ou automatiques, ainsi que sur une intégration des données ponctuelles mesurées (cas de chambres statiques) pour reproduire des flux annuels (Le Gall et al., 2014), par interpolation ou modélisation. Pour toutes ces raisons, il apparaît inenvisageable de procéder à des mesures de N_2O au champ pour le suivi des mesures de compensation carbone.

Figure 24 : Exemple de mesures d'émissions de N2O par chambre automatique sur prairie pâturées (INRA, Sylvie Toillon)

L'estimation des émissions de N_2O au champ ne semble donc pouvoir reposer que sur des facteurs d'émission ou de la modélisation dans le cadre de la compensation carbone.

5. Synthèse des potentiels de compensation carbone

Le Tableau 6 synthétise les différentes actions envisagées dans cette étude. Peu d'actions présentent un potentiel pour la compensation carbone dans le territoire d'étude :

- la mise en place de couverts végétaux, sous réserve de valider une méthodologie de suivi qui limite les incertitudes et soit applicable à grande échelle sur le terrain,

- l'usage d'inhibiteur de nitrification, avec toutefois une incertitude importante sur la réduction d'émissions et des questions sur l'innocuité du produit.

Bien que les chiffrages restent à affiner, le coût de la tonne de CO_2 évitée pour les couverts végétaux est pour le moment bien supérieur aux 30 €/t CO_2 sur le marché européen recensé début 2019 (https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/). Le différentiel est moindre pour l'inhibiteur de nitrification.

D'autres pratiques ont un potentiel plus incertain :

- l'introduction de légumineuses pourrait éventuellement faire l'objet d'une mesure de compensation, mais l'additionnalité d'une telle mesure serait discutable, les légumineuses étant déjà cultivées par de nombreux agriculteurs.

- la mise en place de bandes enherbées qui auraient des usages multiples (lutte contre l'érosion, biodiversité…).

A plus long terme, la substitution d'engrais minéraux par l'urine pourrait présenter un bon potentiel mais nécessite une étude spécifique dans le contexte français (doctorat en cours à l'université Paris Saclay). La suppression du travail du sol pourrait aussi faire l'objet d'une mesure de compensation (en considérant uniquement les économies de carburant), dans le

cas où l'incertitude sur les émissions de N_2O au champ pourrait être limitée favorablement dans notre territoire. Les pratiques d'optimisation de la fertilisation ne présentent pas de potentiel du fait soit d'une absence d'additionnalité soit d'une incertitude associée au suivi des GES.

Le compostage pâtit d'un bilan GES défavorable par rapport aux filières alternatives de gestion des déchets (incinération), il ne peut donc faire l'objet de compensation carbone. A l'inverse, la méthanisation présente un bilan GES favorable. Elle ne semble cependant pas pouvoir faire l'objet de compensation carbone tant que les politiques de soutien à la filière se maintiennent et assurent déjà son développement. Pour ces deux filières, les questions méthodologiques d'allocation des émissions se posent également, notamment dans le cas où l'agriculteur n'est pas lui-même composteur ou méthaniseur, mais « simple » receveur des composts ou digestats.

Enfin, sur l'ensemble du territoire d'étude, on assiste à un fort développement de l'agriculture biologique. Certaines pratiques ne sont soit pas compatibles avec l'agriculture biologique (urine, méthanisation non agricole), ou des spécificités serait à considérer dans la réalisation des bilans GES (pas d'économie d'engrais minéral mais économie d'engrais organique à considérer ?), ou de l'évaluation de l'additionnalité (les légumineuses étant par exemple très répandues en bio).

Tableau 6 : Synthèse du potentiel de compensation carbone des différentes pratiques envisagées

Pratiques	Bilan GES	Additionnalité (côté agricole)	Faisabilitté du suivi	Incertitude GES associé au suivi	Gisement pour la pratique	Gisement t CO_2	Coût de la pratique pour l'agriculteur	Potentiel de compensation carbone	Coût de la tonne CO_2 évitée (€/t)
Compostage des déchets organiques	Incertain, mais a priori toujours défavorable par rapport à l'incinération	Nulle (pratique courante)	Quantité de composts épandus, économies d'engrais…	Forte (émissions amont et au champ)	Important (production importante, surf. épandables disponibles)	Nul	Variable selon le coût du compost, la distance d'épandage…	Nul	-
Substitution d'engrais par l''urine	Favorable, à confirmer dans le territoire d'étude	Incertaine (filière inexistante à l'heure actuelle)	Quantité d'urine épandue par hectare, économie d'engrais	Fortes pour le moment (manque de références locales)	Important (production importante, surf. épandables disponibles)	15 000 t (ordre de grandeur)	< 0 (si urine en rendu racine gratuit)	Incertain (manque de références, mais potentiel à terme)	< 0
Réduction du travail du sol	Incertain (émissions N_2O)	Pratique courante	Difficile	Forte	Important (+50 % de SAU labourés /an)	Nul ou incertain	Faible à négatif	Non (incertitudes GES et manque d'addionnalité)	≈ 0 si bilan GES favorable
Semis direct		Oui	Vérification visuelle au champ		Important (< 2 % SAU actuellement)			Incertain	

Pratiques	Bilan GES	Additionnalité (côté agricole)	Faisabilitté du suivi	Incertitude GES associé au suivi	Gisement pour la pratique	Gisement t CO_2	Coût de la pratique pour l'agriculteur	Potentiel de compensation carbone	Coût de la tonne CO_2 évitée (€/t)
Couverts végétaux	Favorable, fortement variable selon la biomasse produite et les économies d'engrais engendrées	Oui pour les couverts d'interculture courte, associés ou semi-permanents	Méthode d'estimation de la biomasse produite à définir, estimation des économies d'engrais	Modérée si vérification de la biomasse produite	Important (interculture courte, couverts associés, amélioration des couverts d'interculture longue…)	5000 t (hors couverts semi-permanents)	Variable mais élevée	Bon, sous réserve d'une méthodologie de suivi permettant de limiter les incertitudes	Variable mais élevé (moyenne de 350 €/t)
Optimisation de la fertilisation	Favorable	Non (réglementaire ou courant)	Pratiques de fertilisation (effet d'aubaine)	Forte (émissions N_2O)	Important	Incertain mais a priori élevé	< 0	Nul	< 0
Réduction des apports N avec perte de rendement	Incertain (si bilan GES au quintal ou prise en compte du report de production)	Oui	Impossible pour le report de production	Forte (émissions N_2O)	Important	Incertain mais a priori élevé	Elevé	Nul	Elevé si existe
Légumi-neuses	Favorable (en conventionnel)	Non, sauf pour déverrouiller la filière (hors AB)	Assolement et pratiques de fertilisation	Faible à modérée	Important	10 000 t	0 à 20 € / ha	Sous réserve d'additionnalité	0 à 10 € / t
Inhibiteur de nitrification	Favorable	Oui (très peu développé, intérêt limité pour l'agri)	Pratiques de fertilisation avec inhibiteur	Forte (émissions N_2O)	35 000 ha (AB exclue)	11 000 t	0,34 € / kg N	Bon	50 € / t

Pratiques	Bilan GES	Additionnalité (côté agricole)	Faisabilitté du suivi	Incertitude GES associé au suivi	Gisement pour la pratique	Gisement t CO_2	Coût de la pratique pour l'agriculteur	Potentiel de compensation carbone	Coût de la tonne CO_2 évitée (€/t)
Métha-nisation	A priori toujours favorable par rapport à la gestion alternative, forte variabilité	Non tant que maintien des politiques de soutien (filière en plein développement)	Complexe : flux de déchets entrants, production de méthane, pratiques de fertilisation…	Forte (production et fuite CH_4, N_2O au champ, émissions associées aux matières entrantes…)	Important (résidus de culture, CIVE, déchets alimentaires…)	Inconnu sur le territoire, mais a priori important	Méthaniseur majoritairement rentable, épandage de digestat également	Non (pas d'additionnalité, suivi difficile…)	< 0
Bandes enherbées	Favorable (si non considération de la perte de production)	Oui (sauf bandes enherbées réglementaires le long de cours d'eau)	Visuel sur le terrain ou déclaration PAC	Modérée (si diagnostic initial)	Inconnu	Inconnu	633 € / ha / an	Incertain	311 € / t

B. Etude de la compensation carbone en agriculture et sa faisabilité à l'échelle du territoire en île de France

Aline Lapierre
Céréopa

Centre d'Etude et de Recherche sur l'Economie et l'Organisation des Productions Animales

1. Objet et périmètre de l'étude

a) Problématique

La région Ile-de-France souhaite promouvoir les projets de compensation carbone dans le secteur agricole. La compensation carbone implique l'édition d'une méthode de calcul des réductions d'émissions de gaz à effet de serre obtenues grâce au changement de pratiques.

L'approche « Pratique » (voir Figure 25 ci-dessous) majoritairement utilisée dans les projets agricoles « bas carbone » aujourd'hui consiste à calculer ou mesurer les réductions d'émissions liées à une pratique d'atténuation (ex : implantation de haies), déployée sur une assiette de déploiement (ex : 150 mètres linéaires). Elle permet d'objectiver et chiffrer les baisses de réduction d'une ou d'un bouquet de pratiques sur un territoire ou un cheptel, mais ne permet pas de s'assurer de la performance Carbone des systèmes de production dans leur globalité.

Afin de s'assurer que l'on valorise des systèmes de production « globalement » vertueux, on s'interroge sur la faisabilité d'une évaluation de la quantification GES (gaz à effet de serre) avant et après mise en place de la ou des pratiques sur un périmètre global « ferme » ou « territoire agricole » en région Ile-de-France.

La question posée par l'étude est la faisabilité d'intégrer les projets labellisables bas carbone dans une démarche d'amélioration globale des systèmes agricoles, mesurée et validée par une méthode pertinente pour le périmètre Ile-de-France.

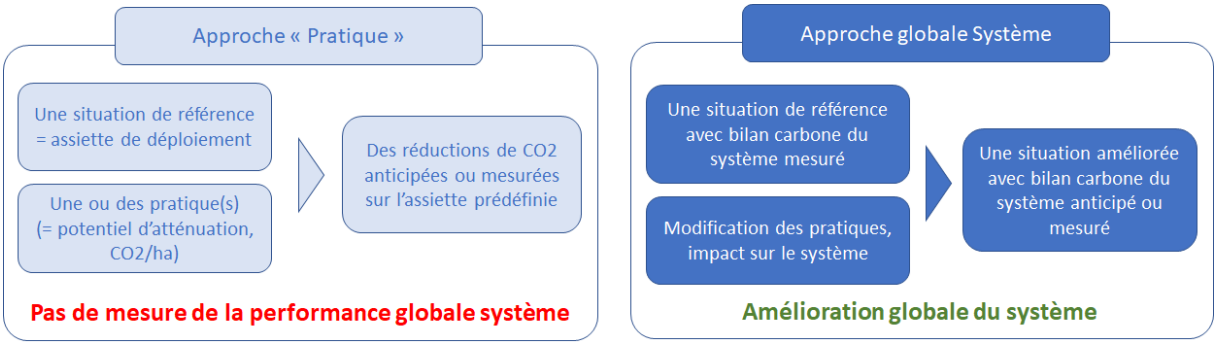


Figure 25 : Approche "Pratique" sans suivi global système (à gauche) et intégré dans un suivi global système (à droite)

b) Périmètre géographique de l'étude

Le périmètre géographique de l'étude de faisabilité est le groupement de 4 territoires agricoles péri-urbains en région Ile-De-France (le plateau de Saclay, le territoire du GAL Seine Aval, le territoire de l'agglomération Coeur Essonne et le territoire de la Plaine de Versailles), regroupant 340 exploitations agricoles avec des systèmes variés essentiellement orientées vers la production de grandes cultures, de cultures maraîchères et horticoles. Quelques

élevages à haut niveau de production sont compris dans le périmètre : élevages laitiers et producteurs de volailles.

4 territoires péri-urbains franciliens

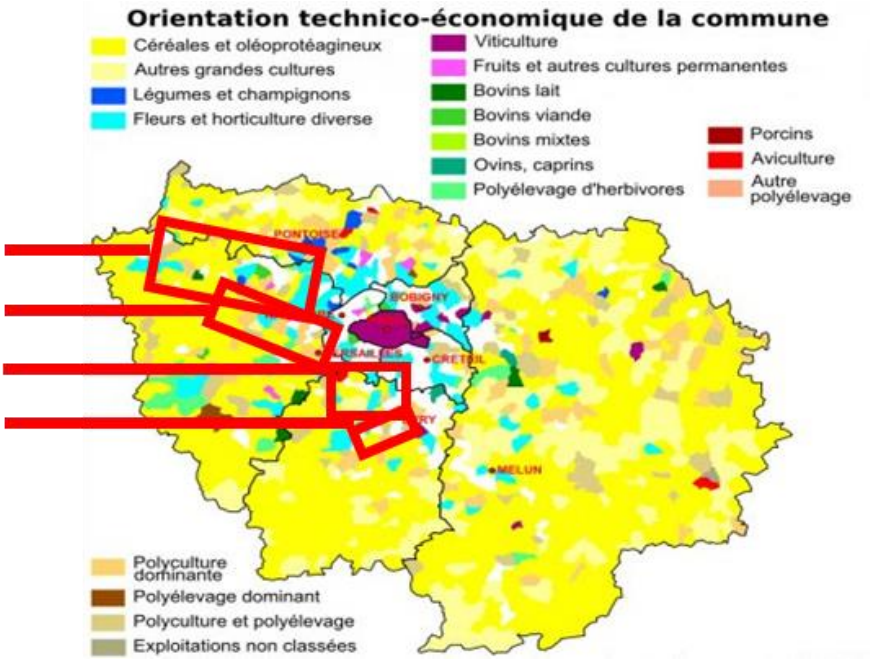


Figure 26 : Le périmètre géographique de l'étude

c) Les pratiques d'atténuation et compensation pertinentes en région IDF

D'après le rapport du volet technique (*Etude de faisabilité de la compensation carbone dans des petits territoires agricoles d'Île de France – volet technique*. Florent Levavasseur UMR INRA, AgroParisTech ECOSYS, Université Paris Saclay), trois types de pratiques présentent un intérêt pour de la labellisation bas carbone : la couverture des sols, les légumineuses à graines (à creuser) et les inhibiteurs de nitrification.

	Bilan GES	Additi-onnalité	Vérifi-cation	Incer-titude	Gisement Pratique	Gisement t CO2	Coût de la pratique	Potentiel compensation	Coût € / t $eqCO_2$
↘ travail du sol		SD	SD						≈ 0
Opti fertili									< 0
Couverts									50 à >1000
Compost									-
Légum.									≈ 0
Urine									< 0
Inhib. nitrif.									50
Métha									< 0
Enherbement	Sans report								> 300

Figure 27 : Synthèse des pratiques de compensation carbone en agriculture et réponse aux exigences du label Bas Carbone (source : F. Levavasseur UMR INRA, AgroParisTech ECOSYS, Université Paris Saclay)

d) Rappel sur les conditions de la labellisation « bas carbone »

On rappelle ci-dessous les exigences définies dans l'Arrêté du 28 novembre 2018 définissant le référentiel du label « Bas-Carbone ».
Une méthode doit définir les exigences utiles afin de garantir l'intégrité environnementale des réductions d'émissions générées par les Projets. En particulier, les réductions d'émissions doivent être (source : *Arrêté du 28 novembre 2018 définissant le référentiel du label « Bas-Carbone »*) :

- i. additionnelles, c'est-à-dire que les réductions d'émissions n'auraient vraisemblablement pas eu lieu en l'absence de labellisation du Projet concerné ;
- ii. suivies et comptabilisées de manière :
  - transparente : la méthode de suivi et comptabilisation, les sources d'informations et les données employées sont clairement documentées et peuvent être contrôlées,
  - exacte : des méthodes de suivi et comptabilisation appropriées sont utilisées, pour limiter les incertitudes et réduire au maximum le risque de biais dans la comptabilisation et le suivi,
  - complète : toutes les sources d'émissions ou de réduction d'émissions significatives sont incluses
  - cohérente et comparable : la comptabilisation et le suivi doivent normalement être réalisés de la même manière sur toute la période de validité du Projet. Dans le cas contraire, le choix doit être soigneusement documenté et justifié. Le suivi et la comptabilisation sont réalisés de façon comparable pour tous les Projets relevant d'une même Méthode ;
- iii. permanentes (dans certains cas il peut exister un risque de non-permanence) ;

- iv. valorisées de façon unique ;
- v. vérifiées par un tiers indépendant et compétent (l'Auditeur). Pour le calcul des réductions d'émissions, des rabais peuvent être appliqués pour garantir la prudence des évaluations et éviter tout risque de surestimer les réductions d'émissions, compte-tenu des spécificités de l'activité. Les différents rabais applicables sont définis dans la Méthode. Un même projet peut cumuler différents rabais. Ces rabais sont multiplicatifs, et non additifs (...)

2. Etat de l'art des projets et méthode de quantification carbone en agriculture

a) Exemples de projets labellisés bas carbone

La revue des méthodes existantes ou à l'étude pour la labellisation de projets carbone en agriculture montre qu'elles portent essentiellement sur des réductions mesurées ou anticipées ramenées à l'unité de surface (hectare) ou au litre de lait (cf. Tableau 7 ci-dessous).
Liste des projets de compensation identifiés en 2019 :

- Margeride – Lozère – Languedoc Roussillon : ASLGF Terre de Peyre – Travaux sur 43,7 ha. Boisement/reboisement/amélioration de peuplement/enrichissement.
- Combrailles – Puy de Dôme – Auvergne : ASLGF des Combrailles – Travaux sur 10,9 ha –Reboisement.
- Périgord-Limousin – Haute-Vienne – Limousin : ASLGF Forêt Agir Limousin – Travaux sur 18,1 ha – balivage de taillis, amélioration d'accrus feuillus, reboisement.
- Cévennes – Ardèche – Rhône-Alpes : ASLGF des Cévennes ardéchoise – Travaux sur 25,3 ha – reboisement et gestion forestière améliorée (enrichissement, dépressage, débroussaillement).
- Périgord – Dordogne – Aquitaine : Groupement forestier du Vernois – Travaux sur 17,9 ha –reboisement résineux, création d'un arboretum (reboisement), balivage de taillis de chêne.
- "La ferme laitière bas carbone portée par le Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL)

Tableau 7 en systèmes agricoles et forestiers : projets "bas carbone" validés

Projets de méthodes bas carbone déposées ou en -cours		
Types d'actions d'atténuation	Types de systèmes concernés	Méthodes
Boisement, gestion des forêts, haies (Carbocage)	Forêts, haies	Réductions anticipées en tCO2/ha
Changements de pratiques en élevage laitier	Atelier laitier d'exploitation agricole	Réductions mesurées en tCO2/L de lait
Réduction du méthane entérique	Atelier laitier d'exploitation agricole	Réductions mesurées en tCO2/L de lait
Gestion du sol (stockage de carbone)	Systèmes Grandes Cultures d'exploitation agricole	Réductions anticipées ou mesurées en tCO2/ha
Amélioration globale système EA en région Ile-de-France	Grandes cultures, maraichage, élevages	???

Les pratiques concernées sont l'implantation de surfaces favorables au stockage de carbone (haies, couverts forestiers) et les changements de pratiques en élevage laitier pour une réduction des émissions (voir méthode CARBON AGRI détaillée plus bas).

En 2019, l'IDELE a fait valider auprès de la DGEC la méthode CARBON AGRI, adressant les élevages de bovins laitiers et/ou allaitants spécialisés ou mixtes grandes cultures-élevages. Cette méthode permet de labelliser les pratiques figurant dans le schéma ci-dessous, limitant les émissions ou améliorant le stockage de carbone.

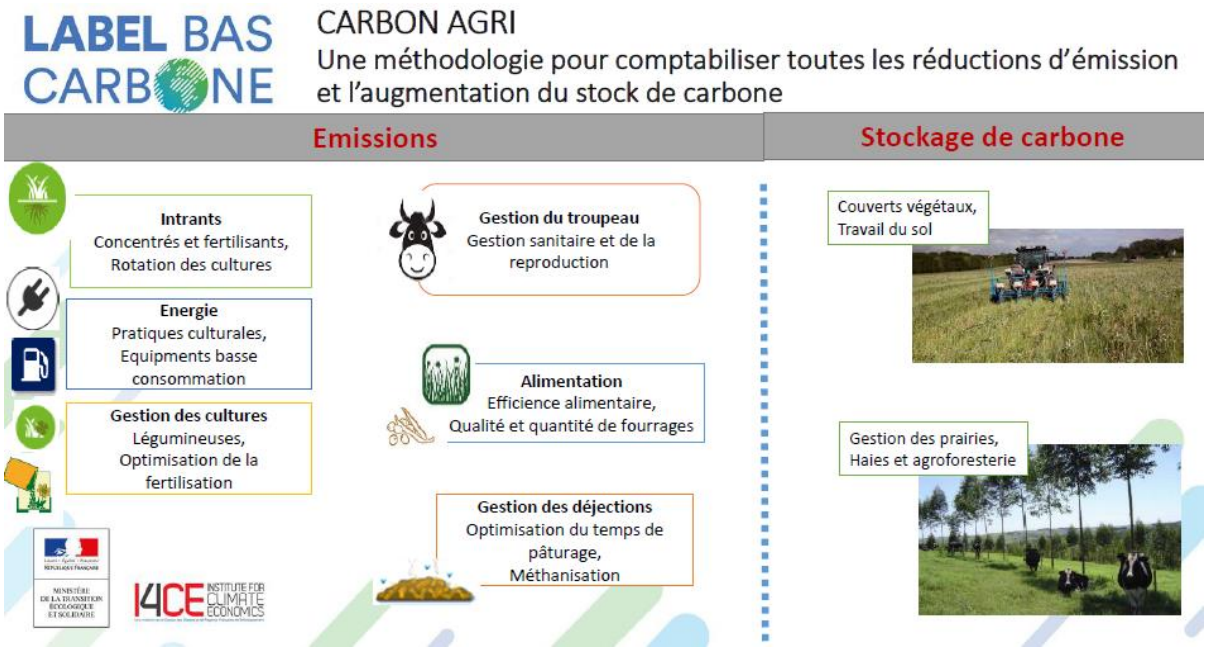


Figure 28 : extrait de la présentation de la méthode CARBON AGRI (J-B Dollé, Idele, 2019)

b) 3.2.2. Références et outils existants en comptabilisation carbone pour le secteur agricole

De nombreux outils sont disponibles pour la mesure des émissions de gaz à effet de serre dans les systèmes agricoles, à l'échelle de la parcelle agricole (ex : *EGES* - Bilan énergie et gaz à effet de serre. Arvalis, Terres Inovia, ITB, SIMA), de l'exploitation (ex : *Cap'2ER*. IDELE, CNIEL, INTERBEV, Coop de France, APCA) ou du territoire agricole (ex : *CLIMAGRI*®. ADEME).

La figure 29 ci-dessous reprend les résultats de la recherche sur la plateforme ERYTAGE (http://www.erytage.org/erytage-aideauchoix) pour le relevé d'outils permettant de mesurer l'enjeu Gaz à effet de serre en agriculture.

Critère	Modalité	CAP2ER NIVEAU 1	CAP2ER NIVEAU 2	CASSIOPÉE PERFORMANCE	CLIMAGRI	CRITER+MASC	DAEG	IDEA
Enjeu > ... > Air	Emission de GES							
NOTE		1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1

Autre(s) outil(s) ayant une note de **1** :
DAESE - DEXiFruits - Dialecte - DIA'TERRE - EGES - ENGELE - GEEP - IndiclADes - INDIGO - Méthasim - SYSTERRE - Syst'N - Xpert Environnement

Figure 29 : Les outils de diagnostic agri-environnemental applicables aux systèmes agricoles sur l'enjeu Gaz à effet de serre

Par ailleurs plusieurs référentiels clés ont été plus récemment mis à la disposition des opérateurs des filières pour mesurer l'empreinte carbone des productions agricoles :

- la méthode Agribalyse® (ADEME, les instituts techniques agricoles) qui propose des résultats d'ICV (Inventaires de Cycle de Vie) et d'ACV (Analyses de Cycle de Vie) pour une centaine de produits agricoles, végétaux et animaux.
- GES'TIM (ADEME, les instituts techniques agricoles) qui est un guide méthodologique d'estimation des impacts des activités agricoles sur les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). On précise qu'une version réactualisée (GES'TIM 2) mise à jour devrait être éditée pour fin 2019.

3. Propositions méthodologiques pour la mesure du bilan GES global système

Dans le cadre de cette étude, la mesure de la performance carbone de l'agriculture se pose à l'échelle individuelle et collective. Deux types de périmètres étudiés dans les approches détaillées plus bas : le bilan GES Global Ferme et le bilan GES Territoire Agricole.

a) Le bilan GES Global Ferme

(1) Les approches possibles

A l'échelle de l'exploitation agricole, l'opérateur peut s'orienter vers :

- un bilan GES agrégé qui mesure les émissions directes/indirectes des volumes globaux ou moyens d'activité (quantités d'intrants et énergie achetés ferme, % moyen de surfaces),
- ou un bilan GES analytique qui calcule le bilan par atelier de production et par produit (blé, orge, litre de lait, œuf).

La méthode « agrégée » permet d'adresser des productions variées et de réduire le temps à passer à la collecte des hypothèses (moins nombreuses que dans la méthode analytique). Par contre elle réduit le champ d'analyse possible en rendant peu lisible pour des systèmes complexes (intégrant des productions variées) ou changeants dans le temps (pertes de surfaces, arrêt ou augmentation d'une production). Elle se rapproche de la méthode de bilan GES organisationnel appliquée au périmètre Ferme.
Cette méthode peut néanmoins être précisée et permettre le calcul d'une performance carbone ramenée à l'unité de surfaces (hectare) ou à l'unité principale de production si l'on sait renseigner la part des flux d'activité (intrants, flux directs de GES) imputable à chaque atelier.

La méthode analytique s'appuie sur le calcul des émissions directes/indirectes associées à chaque produit (blé, orge, œuf). Elle se rapproche de la méthode d'ACV (Analyse de Cycle de Vie) dans le sens où l'on cherche ici à recenser tous les flux directs et indirects imputable au produit à chaque étape de la production. Le nombre important d'hypothèses à saisir pour une exploitation peut être limitant si l'on souhaite déployer un diagnostic sur un grand nombre de systèmes, mais les méthodes analytiques permettent une lecture plus précise de l'efficience environnementale des produits et permettent de se comparer aux valeurs de références nationales (*Agribalyse Version 1.3*, 2018).

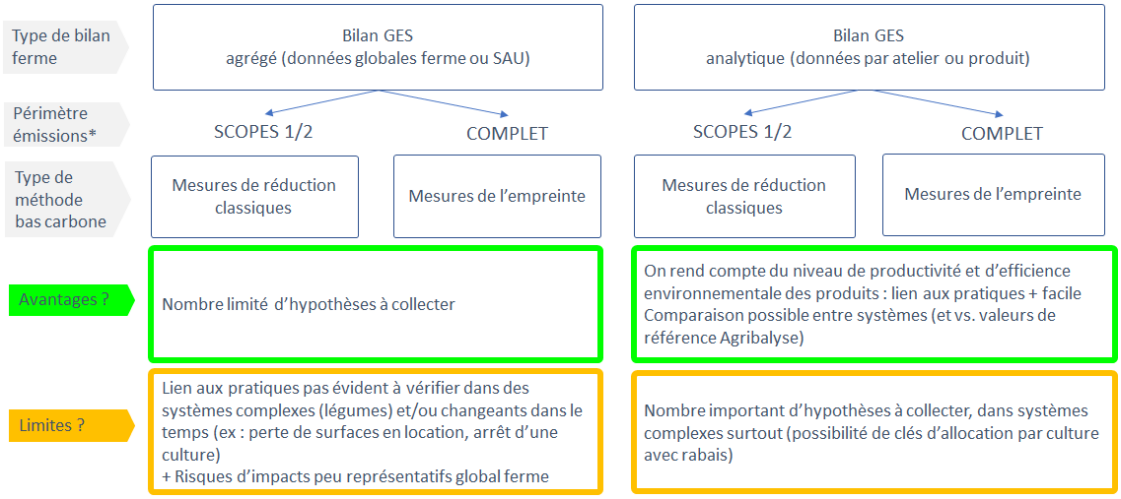


Figure 30 : approches possibles pour le suivi carbone Global Ferme

Les deux approches agrégées et analytiques peuvent être déclinées pour :

- la mesure de réductions classiques (cf. *Arrêté du 28 novembre 2018 définissant le référentiel du label « Bas-Carbone »*), autrement dit les émissions des Scopes 1 et 2 (définies par le Grenelle)
- ou sur une mesure de l'empreinte carbone au sens défini par le référentiel « bas carbone » et intégrant les émissions indirectes de GES liées à l'approvisionnement (fabrication et transport jusqu'à la ferme)) des intrants de production.

(2) Les types de systèmes agricoles concernés

Afin d'adresser le plus grand nombre d'exploitations possible sur le périmètre Ile-de-France, le bilan GES échelle Ferme devra en priorité s'adresser aux exploitations grandes cultures et cultures maraîchères, majoritairement présentes. Les grandes exploitations laitières pourront faire l'objet d'un suivi selon la méthode CARBON AGRI de l'IDELE.

(3) Les hypothèses à collecter et leur représentativité

Le bilan GES de l'exploitation agricole suppose la collecte des données d'activité du système de production : ses consommations d'intrants (fertilisation, alimentation animale) et d'énergie (fioul, électricité).

Pour des systèmes spécialisés en production végétales, la figure 31 ci-dessous rappelle la nature des principales émissions de gaz à effet de serre à prendre en compte pour le bilan global Ferme, ainsi que les hypothèses à collecter auprès du producteur.

Dans ces systèmes, et d'après la revue de plusieurs documents de référence (résultats des diagnostics Diaterre par Solagro, résultats Agribalyse des Produits végétaux), les émissions liées à la fertilisation des cultures (émissions directes des sols et émissions indirectes pour l'approvisionnement en engrais de synthèse) et à la consommation d'énergie directe (fioul des tracteurs au champ) représentent plus de 75% du bilan des émissions (hors stockage de carbone par les cols agricoles).

La méthode de bilan GES global système pour la ferme Ile-de-France devra donc s'attacher à collecter, en priorité et avec le plus de précision possible, les données d'activité Fertilisation

et Direct Energie (détaillées dans la figure 31 ci-dessous). Les autres postes d'émissions de GES comme le bâti, le matériel et les intrants hors fertilisation, pourront faire l'objet de simplification des modes de calcul et utiliser des valeurs de références des ICV et ACV nationales (Agribalyse) pour limiter le nombre d'hypothèses à collecter en exploitation.
Par ailleurs, afin de pouvoir travailler sur des données comparables et homogènes, on recommande de considérer les flux d'activités correspondant à une année civile (de Janvier à Décembre).

Nature des émissions comptabilisées	Part dans bilan GES global ferme (approx. système GC)	Variables	Mode de suivi
Directes fertilisation	30%-35%	Nature et qté d'engrais min/orga sur parcelles cultivées (global/ par culture, +/- Δstock)	Comptabilité (factures), carnets de plaine, décla PAC
Indirectes fertilisation	30%-35%	Pratiques épandage (nombre de passage, outils de gestion) et couverture sols (conduite/type des couverts)	carnets de plaine, décla PAC, résultats analyse de sols ou reliquats azotés
Directes énergie fioul, électricité, gaz)	15%-20%	Consommations globales / par culture d'énergie (fioul, gaz nat..)	Factures Elec/fioul, relevés compteurs
Indirectes bâtiments et matériels agricoles	5%-10%	Surfaces et nature des bâtiments, type de matériel (poids, durée de vie)	Comptabilité, factures, decla PAC
Indirectes autres intrants (semences, PPC)	5%-10%	Indirectes autres intrants (semences, PPC)	Comptabilité, factures, carnets de plaine, décla PAC
Carbone stocké sols cultivés	NR	Gestion des sols et couverts	carnets de plaine, décla PAC,

Figure 31 : les postes d'émissions et stockage de carbone en ferme spécialisée Grandes Cultures

(4) Estimation du coût pour différentes options

Le temps à passer par l'agriculteur (estimations dans le tableau ci-dessous) et la partie en charge du bilan GES peuvent être minimisés dans le cas d'un bilan simplifié, mais cela impliquera une augmentation de l'incertitude pour une labellisation bas carbone.

	Estimation (approx) du coût du suivi global ferme par option (estimation), hors vérification/audit pour certification					
	Coût développement méthode/outil standard IDF	Ressources opérationnelles pour la mesure	Pour le bilan de référence	Pour le bilan mesuré après réduction	Coût diag par ferme	Incertitude
Bilan GES agrégé simplifié ferme IDF	> 5-10 j.h	Temps EA : Temps tiers :	0,5 j.h 0,5 j.h	0,5 j.h 0,5 j.h	2 j	-20 à -30%
Bilan GES agrégé complet ferme IDF	> 10-20 j.h	Temps EA : Temps tiers :	1 j.h 0,5 j.h	1 j.h 0,5 j.h	3 j	- 10 à -20%
Bilan GES analytique cultures IDF	> 20-30 j.h	Temps EA : Temps tiers :	1,5 j.h 1,5 j.h	1 j.h 1,5 j.h	6 j	-10%

Figure 32 : Estimation du coût du suivi global ferme par option (estimation)

b) Le bilan GES Global Territoire

(1) Les approches possibles

Le bilan GES du périmètre peut être envisagé non plus de manière individuelle mais collective en étant réalisé sur tout ou partie du territoire agricole constitué par les 340 systèmes de production du périmètre.

Il peut être calculé avec deux approches :

- une approche « Somme» où l'on additionne les bilans GES individuels des exploitations agricoles comprises dans le territoire. Elle peut être longue et compliquée, pour la collecte de données et l'homogénéisation des modes de calcul, en particulier si le périmètre compte beaucoup d'exploitations et des productions variées. Mais elle peut être intéressante à déployer sur des petits réseaux de producteurs, qui peuvent mettre en place des synergies de proximité (autour de la méthanisation par exemple ou de l'échange de sous-produits), et elle permet une lecture plus complète des performances carbone du système dans sa globalité.

- une approche « Surfaces et Cheptels Agricoles » où l'on mesure les émissions directes et indirectes agrégées des surfaces cultivées, des cheptels présents et des pratiques culturales et d'élevage « moyennes » mises en œuvre sur le périmètre du projet de réduction. Cette approche est aujourd'hui utilisée dans l'outil ClimAgri, diffusé par l'ADEME par le biais d'un réseau d'experts spécifiquement formés à l'outil et à la démarche ClimAgri pour l'évaluation de plusieurs impacts environnementaux (consommation d'énergie, émissions GES, émissions de polluants atmosphériques) des activités agricoles et forestières pour des périmètres territoriaux, de celui de coopératives à celui d'un pays en passant par les communautés d'agglomération ou de commune, les PNR, les départements ou les régions (340 systèmes au total dans le périmètre IDF considéré). Pour l'utilisation en labellisation bas carbone, ClimAgri ne permet pas d'estimer de manière automatique les incertitudes sur les résultats. Il est donc recommandé d'identifier les facteurs ayant le plus de poids dans les résultats pour ensuite en analyser la sensibilité par plusieurs simulations explorant la gamme des possibles.

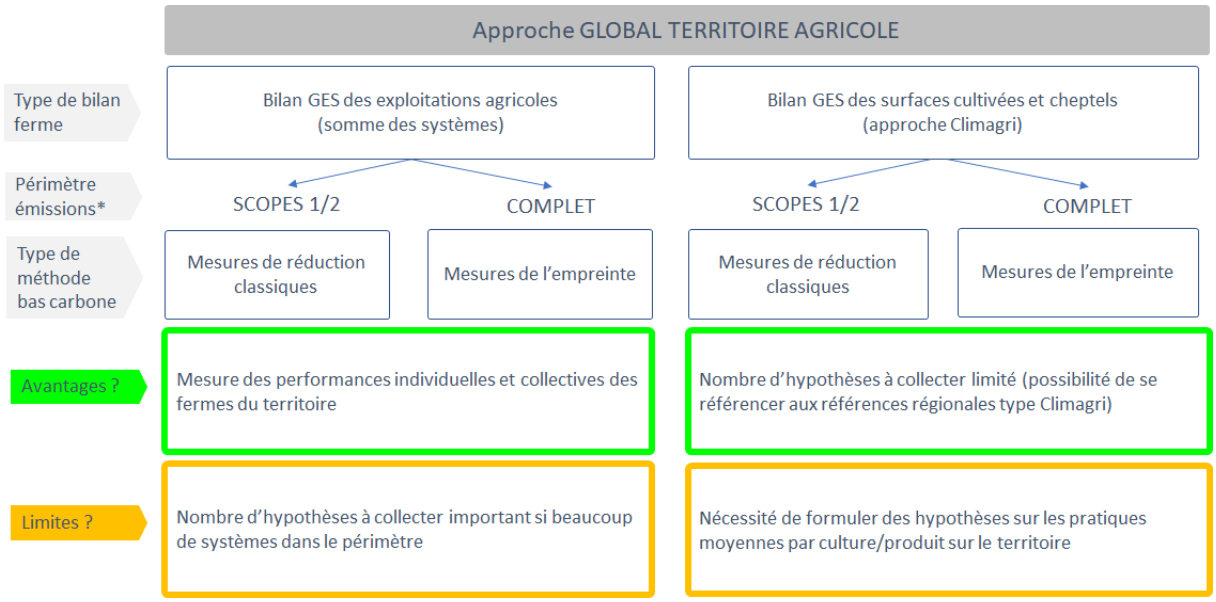


Figure 33 : Approches possibles pour le suivi carbone Global Territoire

Pour le suivi de tout le territoire décrit plus haut et composé des 340 systèmes de production, on recommande l'utilisation de l'outil ClimAgri. Contrairement au bilan Global Ferme, on ne pourra pas exclure les productions animales du diagnostic et les quelques fermes d'élevage devront dans ce cas être pris en compte. Ci-dessous un exemple des types d'hypothèses à collecter à l'échelle du territoire.

Saisie de l'assolement : agriculture – maraîchage/horticulture – espaces boisés
Saisie des mixs énergétiques (carburants, électricité, systèmes de cahuffage, d'irrigation et de séchage/conservation)
« Pratiques culturales » des principales cultures (jeux de données régionales) et des principaux types de peuplements forestiers
Liste des cultures et des coefficients liés
Coefficients de consommation d'énergie par type de culture
Saisie des données d'irrigation, de séchage et de conservation des productions végétales
Coefficients de consommation d'énergie pour le chauffage des serres par bassin de production
Coefficients de consommation d'énergie selon le mode d'irrigation

Chaux et dolomie : saisie de la consommation de chaux et dolomie Engrais azotés : saisie du mix (urée – solution azoté – ammonitrate) Saisie des données des importantions et des exportations organiques sur le territoire
Coefficients de consommation d'énergie pour le séchage et la conservation des productions
Report des surfaces par type d'utilisation – stock de carbone des sols et variation de stock de carbone des sols – Saisie de la surface de culture annuelle en techniques culturales sans labour (TCSL)
Coefficients : stock de carbone des sols et variation de stock de carbone des sols
Module de calcul – intégration des arbres dans l'espace agricole (haie et agroforesterie)

Figure 34 : Les hypothèses à collecter pour la description des surfaces dans Climagri

Le bilan GES global territoire peut être très chronophage pour la collecte des données et notamment l'estimation des pratiques moyennes (souvent à dires d'experts dans les cas connus de diagnostic territorial). Des valeurs de référence régionales peuvent être utilisées pour les postes les moins impactant.

	Coût du suivi global territoire hors vérification/audit pour certification					
	Coût développement méthode/outil standard IDF	Ressources opérationnelles pour la mesure	Pour le bilan de référence	Pour le bilan mesurée après réduction	Coût du diag territoire	Incertitude
Bilan GES Territoire IDF approche Surfaces et Cheptels	> 10-20 j.h	Temps relais territoire : Temps tiers :	10-20 j.h 10-20 j.h	5-10 j.h 5-10 j.h	40-60 j.h	20 à 30%

Figure 35 : Estimation du coût du suivi global Territoire dans le cas d'une approche Surfaces et Cheptels (Climagri)

4. Synthèse et recommandations

a) Synthèse des approches possibles

Le tableau ci-dessous résume les différentes approches pour le suivi de la performance GES global Ferme ou Territoire.

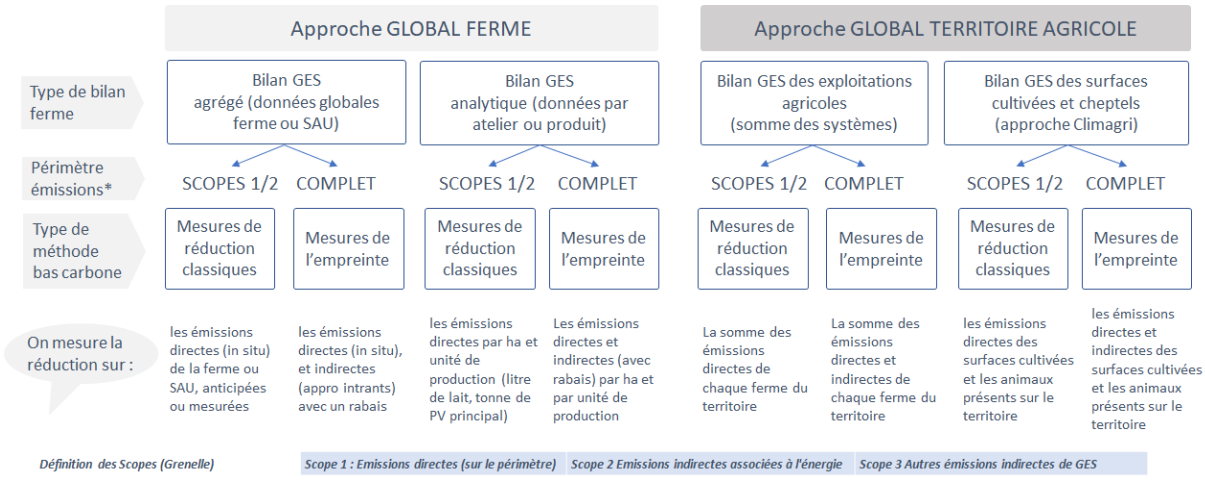


Figure 36 : Les différentes approches pour le suivi de la performance GES global Ferme ou Territoire.

b) Recommandations pour le suivi global Ferme

- Trouver une méthode adaptée pour le calcul du bilan Ferme Ile-de-France, adaptée à l'ensemble des grandes cultures et cultures maraîchères majoritairement présentes sur le territoire.
- Prévoir la consolidation d'une base de données avec les hypothèses technico-économiques et les facteurs d'impact à prendre en compte pour le périmètre Ile-de-France.

- Eviter les diagnostics trop simplifiés, qui risquent de générer des recommandations erronées sur les pratiques d'atténuation souhaitables.
- Compter 2 à 6 jours de travail par ferme pour la mesure en situation initiale et à posteriori (collecte des données, échanges, accompagnement de l'agriculteur).
- Coût du diagnostic + suivi = 600 à 2500 € (hors audit) par ferme.
- Pour une ferme de 100 ha avec un bilan annuel à 2500 t. éq CO2. Une réduction atteignable de 10% (retour d'expérience Grignon Energie Positive) des émissions pourrait générer 250 T éq. CO2 soit 2500 € de crédits (à 10€/tonne)

c) Recommandations pour le suivi global Territoire

- Trouver une méthode de calcul Territoire Ile-de-France, adaptée à l'ensemble des productions du territoire (végétales, animales). On recommande une approche « Surfaces et Cheptels » s'appuyant sur l'outil Climagri.

- Prévoir la consolidation d'une base de données avec les hypothèses technico-économiques et facteurs d'impact à prendre en compte pour le territoire Ile-de-France

- Compter 40 à 60 jours de travail pour la mesure en situation initiale et à posteriori (avec une approche Climagri). Coût du diagnostic = 12000 à 18000 € (hors audit) pour le territoire

- L'approche territoire peut être très chronophage pour la collecte des données et les échanges avec les différentes parties prenantes. Elle ne se justifie que pour un nombre important d'exploitations engagées dans le projet.

- On suppose un bilan territoire (300 exploitations à 100 ha) à 750 000 tonnes équivalent CO2.
  Pour une réduction atteignable de 10% des émissions = 75 000 T éq. CO2 soit 750 000 € de crédits (à 10€/tonne hors rabais).

d) Utilisation de ClimAgri pour des projets de compensation carbone à l'échelle territoriale

L'outil climAgri permet la mesure des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités agricoles décrites en surfaces, cheptels et pratiques. Il présente l'avantage d'une grande transparence, facilité et souplesse d'utilisation. En effet, il est par exemple possible de modifier les facteurs d'émission génériques et d'utiliser un facteur d'émission spécifique, il est aussi possible de modéliser plusieurs scénarios, ce qui pourrait être pratiques dans le cadre du label. La plupart des pratiques agricoles envisagées dans ce rapport peuvent être modélisées dans ClimAgri, mais certaines pratiques sont difficiles à modéliser, comme la méthanisation.

Dans le cadre de projets labelisés Bas Carbone, il est néanmoins limité par :

- Le nombre d'hypothèses à compléter et la difficulté d'accès à certaines hypothèses (comme par exemple, le niveau de fertilisation azoté moyen sur un périmètre de de plusieurs centaines d'exploitations avec des productions et systèmes variés.
- Sa nature non mécaniste. En effet, effectuer un changement de pratique nécessite la modification de l'ensemble des hypothèses descriptives du scénario en cohérence avec le changement de pratique. Par exemple, une augmentation de surfaces en légumineuses pourrait impacter les rations animales, les rotations culturales, et les autres surfaces cultivées. Ainsi, son interface n'est pas pensée pour accompagner l'utilisateur dans ces modifications de scénario. Or, dans le cadre du label Bas Carbone, la recherche de scénarios alternatifs et la modélisation devront être des étapes rapides en vue de limiter les coûts associés.
- Le manque de critères de performance (marges économiques, heures de travail) et le manque de visibilité sur la performance des « systèmes agricoles » peut aussi être un handicap dans l'élaboration de plans d'actions pour les exploitations souhaitant diminuer leur empreinte carbone.
- Le périmètre de travail de l'outil : Les diagnostics sont prévus pour un bilan annuel, et ne sont pas nécessairement adaptés au suivi de projets bas carbone de longue durée comme l'implantation de haies.
- L'interface de par sa souplesse, n'est pas pensée par « ateliers » ou « systèmes de culture ». Elle n'est donc pas idéale pour accompagner un travail d'amélioration continue dans une vision systémique des exploitations.

III.PARTIE 3 - FAISABILITÉ SOCIO-ÉCONOMIQUE

Etude de la faisabilité socio-économique

Renaud Bettin et Luc Bachelet
Carbone 4

Étude sociologique auprès des agriculteurs

Clarisse Gimat et Jimmy Farjots
Terre et Cité

A. Etude de la faisabilité socio-économique

Renaud Bettin et Luc Bachelet
Carbone 4

1. Introduction

L'initiative 4 pour mille, montre que le stockage du CO2 atmosphérique dans les sols par la mise en place de pratiques agricoles raisonnées pourrait être un levier puissant de la lutte contre les changements climatiques. De plus, l'évolution des pratiques agricoles ne permet pas seulement de capter et séquestrer le carbone mais également de réduire à la source les émissions de gaz à effet de serre.

Grâce aux cadres de certification existants, la séquestration ou la réduction des émissions peuvent être comptabilisées et monétisées sous forme de crédits carbone qui sont achetés volontairement par des organisations qui cherchent à contribuer à la transition énergétique et écologique via des soutiens financiers.

Pour valoriser et perpétuer une tradition agricole de qualité et durable aux portes de Paris, l'association Terre et Cité souhaite voir menée une étude de faisabilité économique de la compensation carbone sur le territoire. Cette étude s'inscrit donc dans un contexte de développement d'un nouveau cadre de certification carbone à l'échelle locale - le Label Bas Carbone – et d'une demande accrue en compensation carbone locale mais également dans un cadre plus large de mobilisation du secteur agricole dans la stratégie de lutte contre le changement climatique.

Ce document a pour but de passer en revue et caractériser l'offre et la demande locale en compensation carbone et d'émettre des préconisations à destination des futurs porteurs de projets de compensation carbone du territoire.

2. L'offre locale en crédit carbone

a) Le cadre de certification du Label Bas Carbone

Le Label Bas Carbone (LBC) a vu le jour suite à la publication d'un décret en novembre 2018. Par ce référentiel, le gouvernement français cherche à répondre à la demande en compensation carbone locale.

Le 23 avril 2019, un évènement en présence du ministre de la transition écologique et solidaire a permis le lancement officiel du référentiel qui permet de fixer un cadre partagé de mesure des réductions d'émissions via des méthodologies sectorielles et de certification des émissions évitées et séquestrées.

Le référentiel donne le cadre pour développer des méthodologies spécifiques à un secteur, approuvées par le ministère avant leur mise en service, qui détaillent les critères d'éligibilité et les règles de calcul des réductions d'émissions. Une fois la méthodologie approuvée, les projets peuvent être mis en œuvre.

Ce cadre est le seul permettant de certifier des réductions d'émissions générées par des projets menés sur le territoire français.
Le Label Bas Carbone est récent et la première vague de validation des méthodologies du label a eu lieu au premier semestre 2019. Les premières méthodologies approuvées concernent les activités forestières :

- reboisement de terres non forestières ;
- restauration de forêts dégradées ;
- conversion de peuplement (taillis vers futaies).

Pour le secteur agricole, aucune méthodologie à ce jour n'a encore été officiellement validée par le ministère.

(1) Carbon Agri

Une méthodologie portée par l'Institut de l'Élevage, les interprofessions lait et viande (CNIEL, INTERBEV) et la Confédération Nationale de l'Élevage en partenariat avec I4CE serait applicable aux exploitations de polyculture élevage du territoire du Plateau de Saclay, mais aussi potentiellement aux grandes cultures. En effet elle comprend un volet dédié à la gestion des cultures, des prairies et des haies.

Elle est basée sur l'outil CAP'2ER (Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Élevage de Ruminants). La démarche est :

- Diagnostic de l'empreinte carbone de l'exploitation d'élevage (cultures alimentaires, production lait et viande) ;
- Planification des actions bas carbone, sur une durée de 5 ans renouvelable ;
- Deuxième diagnostic et calcul des réductions d'émissions.

Quelques actions mises en avant par la méthodologie Carbon Agri qui sont pertinentes pour les activités agricoles du territoire étudié :

- Cultures intermédiaires ;
- Travail simplifié du sol ;
- Gestion et implantation de haies, voire agroforesterie.

Cette méthodologie devrait être validée au cours de l'année 2019. Ses interactions avec le projet de développement d'une méthode dédiée aux grandes cultures seront donc à surveiller dans les mois qui viennent (cf. paragraphe suivant).

(2) Une méthode grande culture spécifique en devenir ?

De nombreux acteurs de la filière agricole ont exprimé leur souhait d'obtenir une méthodologie dédiée aux grandes cultures.
Le 3 septembre 2019, l'INRA et l'I4CE ont organisé une rencontre de l'ensemble des parties prenantes pour la rédaction d'une méthodologie de calcul du stockage dans les grandes cultures.

(3) Méthodologies Label Bas Carbone en cours de création :

	Pertinence sur le territoire d'étude	Stade de la méthode	Description
Grandes cultures	Sur les communes de ces territoires non couvertes par le secret statistique, environ 80 % des exploitations sont des exploitations de grandes cultures	Première discussion d'intérêt des acteurs 3 Septembre 2019	-
Séquestration carbone	Toute surface agricole peut maximiser la séquestration carbone par au moins une pratique (coupe, paillage, ...). Dépend du contenu de la méthode.	Stade inconnu	Portée par The Forest Trust. Valorisation de pratiques (couvert permanent, agroforesterie, …)
Carbon Agri	La méthode inclut un volet dédié à la gestion des cultures, prairies et des haies.	En cours de validation	Portée par l'IDELE, et basée sur l'outil de diagnostic d'exploitation CAP'2ER (calcul performance environnementale)
Éco-Méthane	Le territoire comprend des exploitations de polyculture élevage et élevage seul.	Stade inconnu	Portée par Bleu Blanc Cœur, travail sur l'alimentation bovine pour réduire les émissions de méthane.
Gestion durable du bocage et des haies	Ces haies sont majoritairement développées sur les limites de propriété des différentes parcelles. Souvent une agriculture de grandes cultures évitera toute haie entre des parcelles appartenant au même propriétaire pour faciliter le passage des engins agricoles pendant le travail.	Préfiguration menée, stade plus avancé inconnu	Projet Carbocage
Forêts	Les terres agricoles du plateau ne sont pas destinées à retourner vers un usage forestier. Cependant Les espaces en marge du plateau et difficiles d'accès (coteaux), peu adaptés à l'agriculture, sont couverts de forêts (2460 ha, extrêmement morcelée[4]).	3 méthodes validées et publiées	Balivage, boisement et reconstitution de forêts dégradées

[4] Mode d'occupation des sols de 2008.

b) Les pratiques agricoles pertinentes pour réduire le bilan carbone

L'INRA collabore avec Terre & Cité pour identifier les pratiques les plus pertinentes dans la réduction des émissions du secteur agricole, et plus spécifiquement des grandes cultures. Ces pratiques identifiées pourraient être valorisées à travers une démarche de certification carbone (notamment via le Label Bas Carbone). L'institut a identifié en détail plusieurs actions permettant séquestration carbone et réduction des émissions des exploitations grandes cultures.

En parallèle, l'initiative 4 pour mille (4 ‰) propose d'augmenter chaque année d'un quatre millième le stock de carbone présent dans tous les sols du monde. Ce stockage carbone supplémentaire permettrait de « compenser » l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre provenant des activités humaines.

Les deux travaux listent des pratiques similaires (extrait des pratiques en lien avec les grandes cultures) :

- mise en place de couvert végétal en culture intermédiaire ;
- utilisation de nouvelles ressources organiques (urine, boues méthanisation/épuration ; en remplacement d'engrais chimiques) ;
- mise en place de haies entre les champs.

Une action supplémentaire identifiée par 4‰ est l'agroforesterie intra parcellaire. Si sa mise en place peut être considérée comme compliquée dans le cas d'exploitations grandes cultures, elle représente un potentiel important de séquestration carbone dans les sols.

3. La demande en crédit carbone

Même si la plupart des études semblent indiquer que la demande en compensation locale est importante et non « couverte » [5], l'objectif de Carbone 4 a été d'évaluer tant de façon qualitative que quantitative la demande spécifique aux types de projets agricoles qui seraient mis en œuvre sur le territoire.
Au-delà de la caractérisation de la demande, l'exercice a permis d'identifier des axes marketing clefs qui permettront dans le futur de mieux valoriser d'éventuels crédits carbone (cf. 4.4 Préconisations).

[5] I4CE, « Potentiel et déterminants de la demande volontaire en crédits carbone en France », 2015.

a) Méthode d'évaluation de la demande

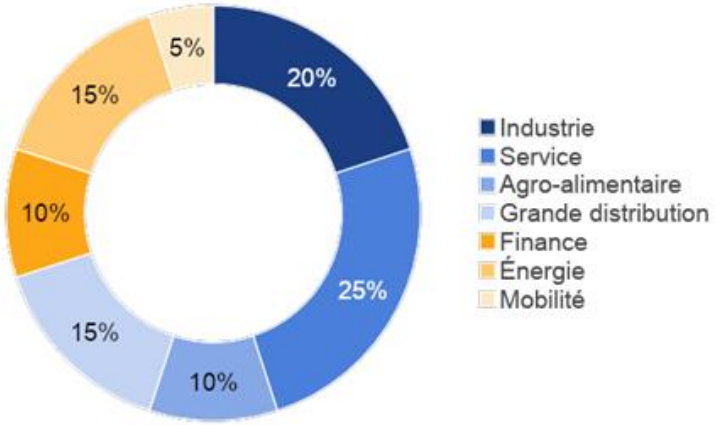
Des acteurs du territoire ainsi que des grandes entreprises françaises ont été identifiés et interrogés avec l'appui d'un questionnaire (cf. annexe).

Carbone 4 a mené une série d'entretiens avec ces entreprises entre Décembre 2018 et Mai 2019.

b) Catégorisation des organisations ayant répondu

Les proportions des secteurs d'activité, la taille des entreprises interrogées et les principaux retours de ces entreprises sont présentées respectivement dans les figures suivantes :

Les secteurs des entreprises de l'enquête



La région Ile-de-France

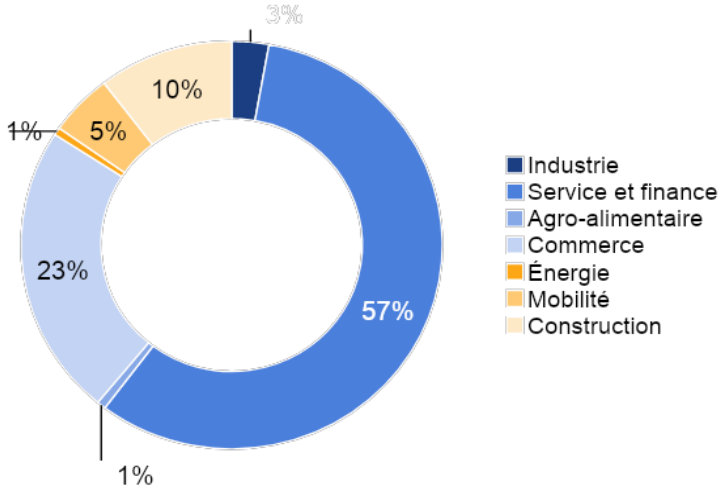


Figure 37 : Proportion des secteurs des entreprises interrogées (Source : Observatoire des entreprises)

Comme cela est montré sur la figure 37, dans la comparaison entre les données de l'étude et les données régionales, les entreprises enquêtées sont fortement sous représentées dans le domaine des services et surreprésentés dans celui des industries.

La part des industries agroalimentaires interrogées dans cette étude est importante par rapport à la moyenne régionale car l'hypothèse a été émise que leur lien avec le monde agricole favoriserait leur intérêt pour ce genre de pratique.

Les secteurs de la finance et de l'énergie sont également surreprésentés mais il a été jugé intéressant de concerter ces secteurs d'activité étant donné leurs liens avec le domaine de cette étude.

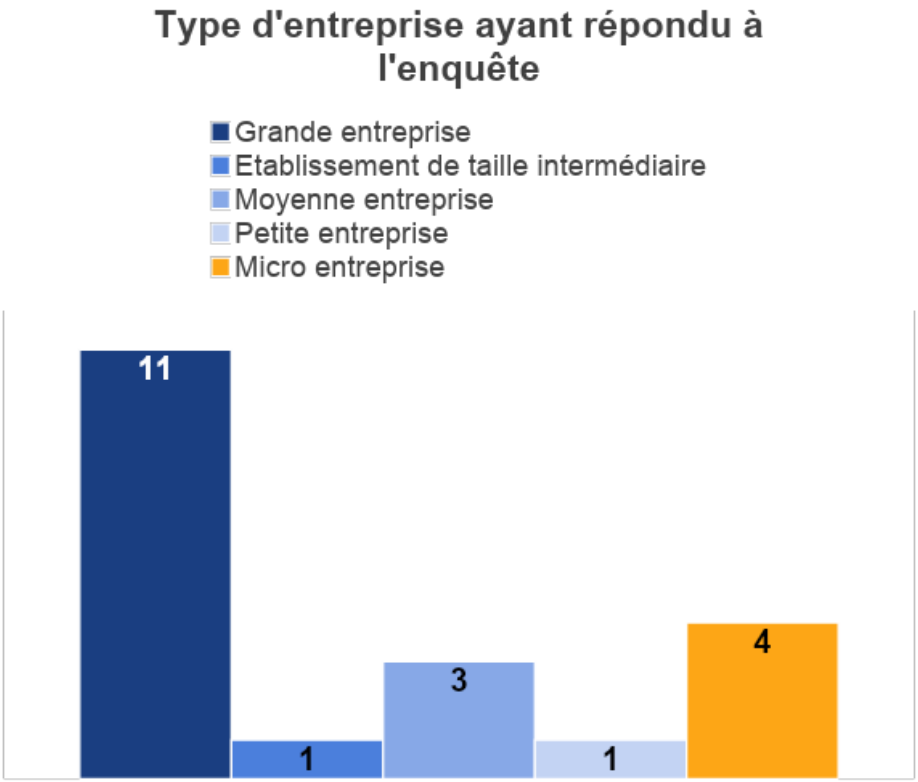


Figure 38 : nombre d'entreprises ayant été interrogées selon leur taille

Tableau 8 : retours des entreprises et des personnes interrogées sur la compensation carbone

	Taille	Extrait	Contact
RATP	Grande entreprise	"L'offre actuelle de compensation ne nous correspond pas, nous voulons un lien avec notre métier"	Aurélia Menacer
Engie	Grande entreprise	"Compenser ? Oui, avec des projets forestiers et agricoles."	Christine Faure Fedigan
Orange	Grande entreprise	"Orange est un "opérateur citoyen" et a un ancrage historique dans les territoires. Des projets français donnent du sens à la démarche."	Jean Manuel Canet
EDF	Grande entreprise	"L'ancrage territorial d'EDF est très fort, très important. Donc soutenir localement est très puissant. Compenser en local permet de mieux valoriser cette démarche."	Thibaut Brac de la Perrière
MAIF	Grande entreprise	"Oui ! L'ancrage territorial est fondamental pour nous !"	Sylvie Drilleau
BPCE	Grande entreprise	"Il y a une méfiance autour de la compensation carbone. Il faut que cela soit crédibilisé, il faut démontrer votre création de valeurs sur le territoire."	Elodie Bressaud
Maisons du Monde	Grande entreprise	"La compensation c'est un outil efficace pour combler ce qu'on ne peut pas réduire, c'est facile à communiquer, mais c'est sensible/risqué."	Remi Pierre Lapprend
Danone	Grande entreprise	"Dans la mesure du possible, on cherche à être connecté aux porteurs de projet. Il faut que cela raconte quelque chose au consommateur."	Flore Augé
La Poste	Grande entreprise	"Des projets en France c'est de la proximité et de la visibilité en adéquation avec notre ADN. Nous sommes sous pression, le crédit à 5€ c'est déjà trop cher pour nous."	Benjamin Garcia
Natureo	Grande entreprise	"On veut plus travailler sur des actions engagées, réelles, visibles, pas juste de la communication et c'est à ça que je rattache la compensation. Il faut démontrer le tangible de ces projets."	Peggy Sadier

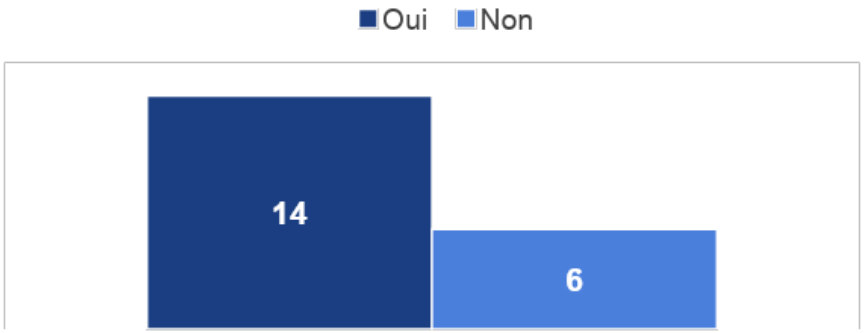
Lea Nature	Grande entreprise	"On connaît mais on a préféré planter nous-mêmes, sans certification, ça fait aller plus d'argent sur le terrain !"	
Havas Paris	Moyenne entreprise	"Cela permet d'afficher une action positive et de compléter avec une action tout de suite une action long terme. L'agriculture est un peu éloignée de nous, on veut connecter les jeunes et le climat par ex. !"	Nathalie Pons
Citoyens du monde	Micro entreprise	"Pour nous la compensation n'a pas d'intérêt et correspond aux acteurs cherchant à se dédouaner et faisant du greenwashing."	Charles Hannon
WERNER & MERTZ France Profesionnal	Petite entreprise	Répondu par questionnaire	
Wipse	Micro entreprise	Répondu par questionnaire	
LFB Biomedicaments	Établissement de taille intermédiaire	Répondu par questionnaire	
ABB France	Moyenne entreprise	Répondu par questionnaire	
Weinmann Emergency France	Micro entreprise	Répondu par questionnaire	
Strane innovation	Micro entreprise	"Il y a un côté éthique, en compensant on veut le faire bien, que ça ait un réel impact, si c'est local on peut le voir, c'est mieux."	Alexandre Barret

Cinq retours ont été faits via le questionnaire en ligne par des PME locales. Le taux de réponse est très faible, possiblement en raison d'une méconnaissance du sujet de la part de ces entreprises, et de la priorité qu'elles donnent à ces sujets. La diffusion via les responsables territoriaux en lien avec le secteur privé semble clef, en effet la plupart des réponses viennent d'entreprises implantées à proximité des Ulis pour lesquelles l'étude a bénéficié d'un relais local, améliorant ainsi le taux de réponse.

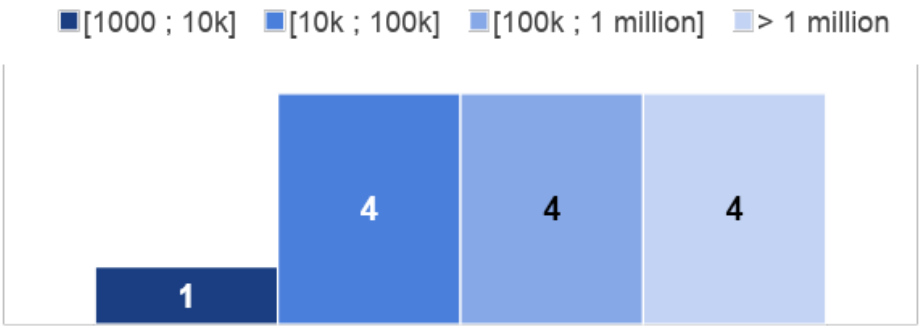
c) Résultats et synthèse des entretiens

Cette partie liste les questions qui ont été posées ainsi que leurs résultats statistiques. Une analyse synthétique de l'ensemble de ces résultats a été traitée dessous.

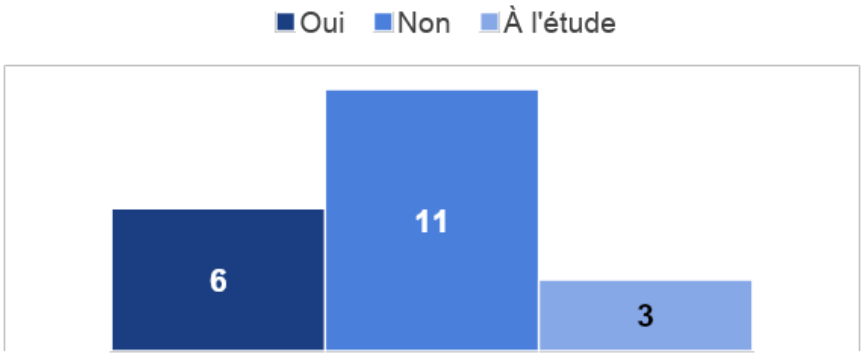
Mettez-vous en œuvre une politique de comptabilité et de maîtrise de vos émissions de gaz à effet de serre ?



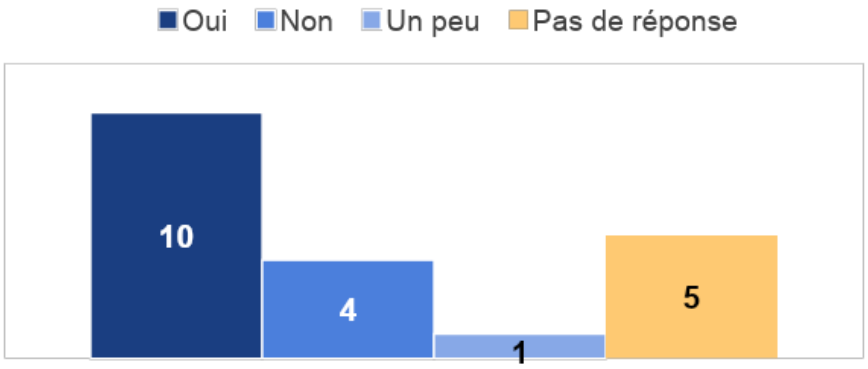
Si oui, quel volume de tCO2e représente votre bilan carbone ?



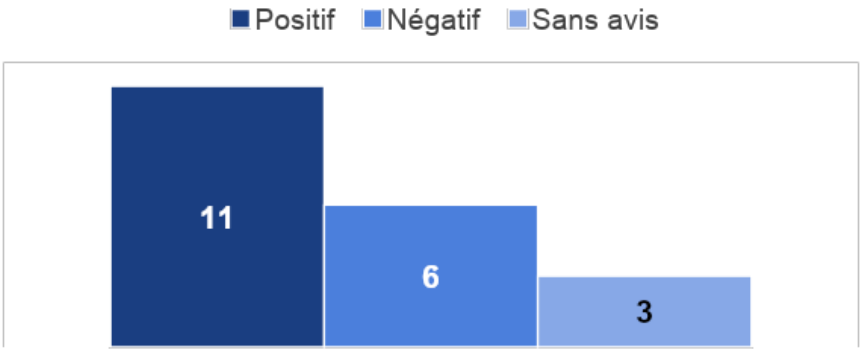
-Vous êtes-vous fixés un objectif de neutralité carbone ?



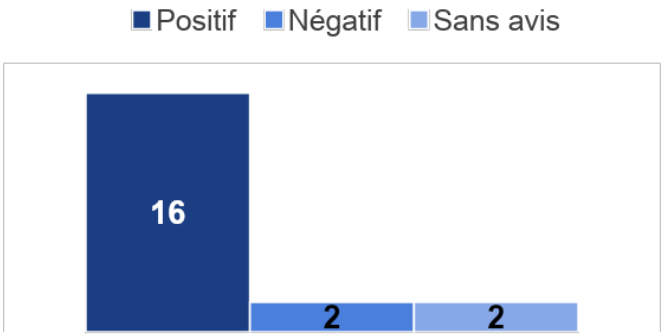
-Connaissez-vous les mécanismes de compensation carbone ?



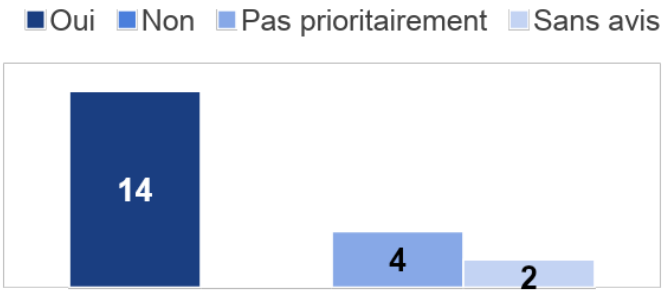
-Quel avis portez-vous sur la démarche de compensation carbone ?



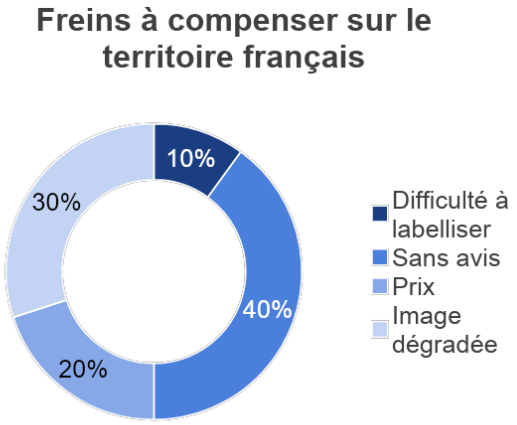
-Que pensez-vous d'être en lien direct avec les porteurs de projet de compensation carbone ?

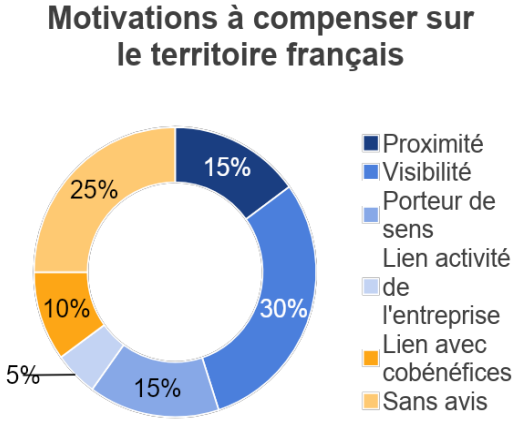


-Soutiendriez-vous des projets de compensation carbone menés sur le territoire français ?

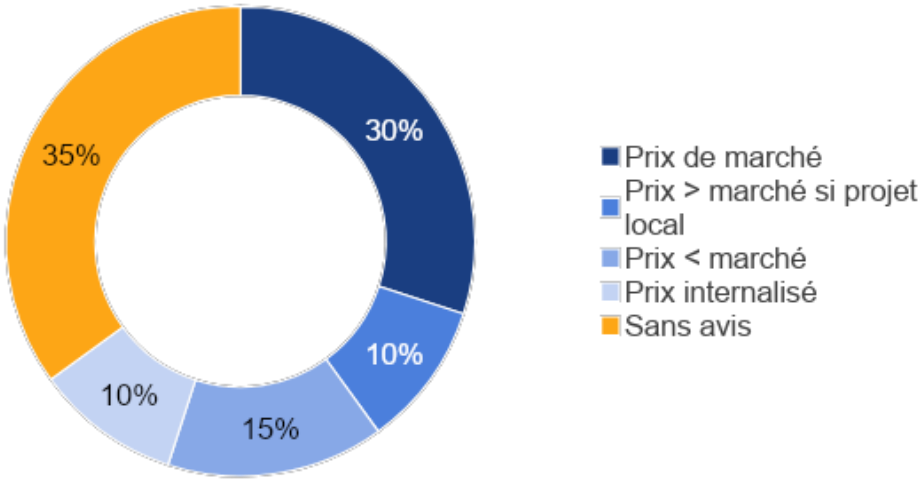


-Quels sont vos motivations et freins à compenser sur le territoire français ?

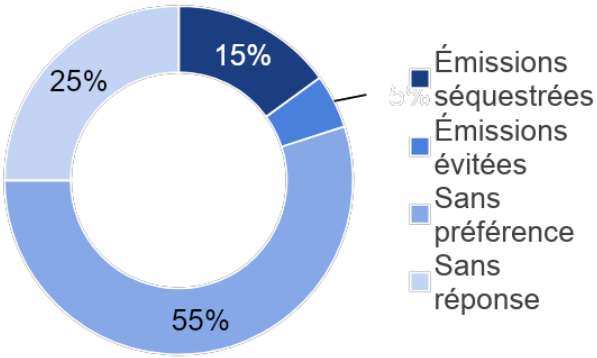


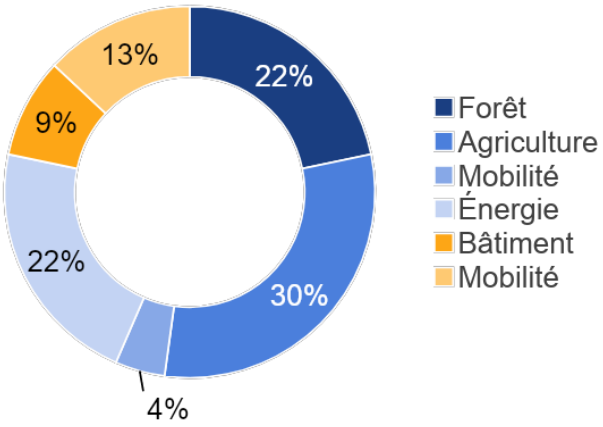


-Quel prix seriez-vous prêt à payer pour compenser une tonne de carbone évitée ou séquestrée au niveau du territoire local ?

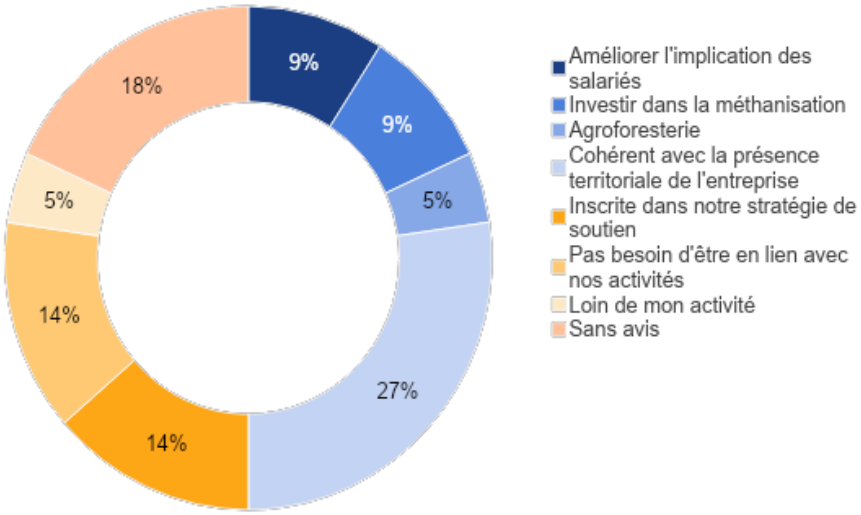


-Sur quels types de projets seriez-vous prêts à vous engager ?

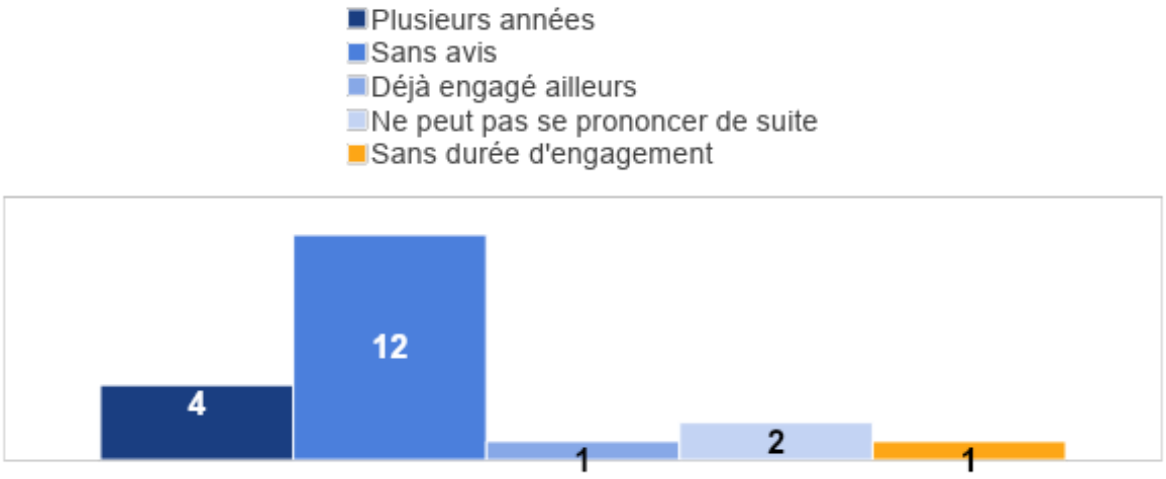




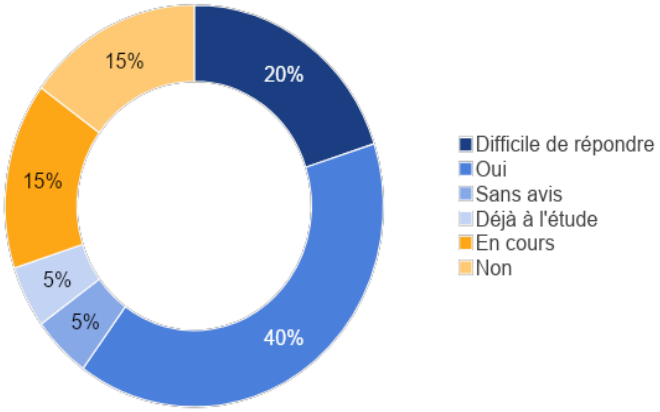
-Comment percevez-vous la question d'un engagement de votre entreprise sur la thématique agricole ?



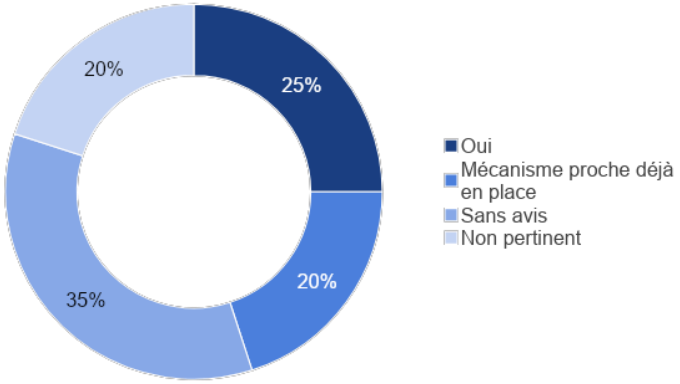
-Quel niveau d'engagement seriez-vous prêt à envisager ?



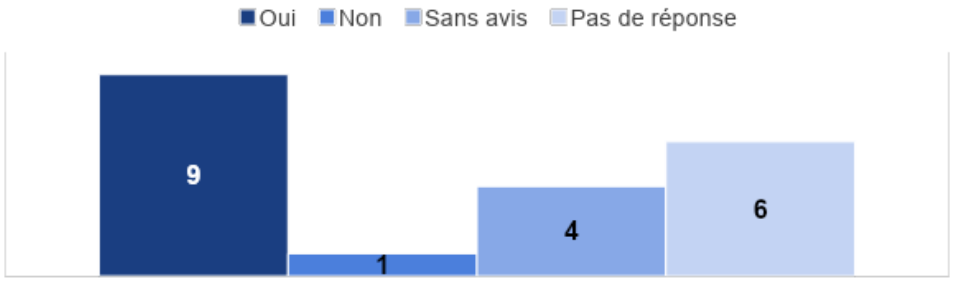
-Voudriez-vous proposer à vos salariés de compenser leurs propres émissions ?



-Voudriez-vous proposer à vos clients particuliers de compenser leurs propres émissions ?



-Seriez-vous prêt à soutenir le développement du projet ?



À retenir sur la demande

- **Connaissance moyenne** du processus de **compensation** par les grandes entreprises. Les TPME ont majoritairement aucune connaissance sur le concept et la finance carbone en général. Lorsqu'une boîte a initié des politiques de mesure et gestion de ses émissions de GES la connaissance est améliorée.
- Perception mitigée (autant positive que négative) de la compensation.
- Fort attrait pour le contact direct avec les porteurs de projet de compensation.
- Fort attrait pour **acheter** des crédits carbones **locaux** (permet une visibilité et proximité accrue).
- **Faible volonté** à payer **davantage que le prix du marché** pour ces crédits pour les grandes entreprises.
- Nécessité d'une formation à la finance carbone pour les TPME.
- **Pas de préférence** pour une compensation via des émissions évitées ou séquestrées
- Attrait marqué pour des crédits issus des secteurs agricoles, forestiers et énergie.
- Cependant le même nombre d'acteurs semblent se préoccuper du manque de lien entre leur secteur d'activité et le secteur agricole, et semblent ne pas vouloir à tout prix un lien fort entre leur activité et le projet de compensation.
- Le **secteur agricole** permettrait une **meilleure implication des salariés** en faveur de la compensation, a une **inscription territoriale porteuse de sens** pour l'entreprise achetant les crédits
- Forte proportion à soutenir ce genre de projet de compensation locale agricole. Par contre désintérêt prononcé pour l'engagement sur la durée au soutien du projet.
- **Les salariés et collaborateurs** des entreprises peuvent être un **levier de communication et d'action** important pour augmenter le soutien au projet.
- Réflexion plus mitigée sur l'implication des clients

Parmi les acteurs clefs de la demande, la ville de Paris fait figure de futur. La ville a en effet pris l'engagement de devenir neutre en carbone en 2050 et pour l'y aider elle envisage la création d'une plateforme opératrice locale de compensation carbone qui viserait à proposer à des entreprises et individus de compenser leurs émissions via des projets valorisés sur cette sorte de marketplace ultra locale.

4. Préconisations

a) Les canaux de vente des crédits carbone

(1) Les entreprises

Elles sont la première locomotive des transactions de crédits de compensation dans le monde. Elles acquièrent la quasi-totalité des 42,8 millions de tonnes vendues en Europe en 2017 et des 2,5 millions vendus en France.

Elles s'engagent de plus en plus sur un objectif de neutralité carbone et par conséquent vers l'utilisation de crédits de compensation, a fortiori des crédits séquestrant du carbone. Les entreprises expriment par ailleurs un besoin de plus en plus fort de raccourcir le circuit entre elles et le porteur de projet. Enfin, certains accords de branche, comme le CORSIA pour l'aviation, vont à l'avenir soutenir une demande croissante en crédits carbone.

Estimation du potentiel en volume : De quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de tonnes.

(2) Les marketplaces

Ce sont de véritables marchés du crédit carbone. Nous pouvons nommer le marketplace du label premium Gold Standard qui est apparu en octobre 2017 ou celui du programme Climate Neutral Now de l'UNFCC qui a été lancé en 2015 et a vocation à faire la promotion des crédits carbone dits « Kyoto » (CERs). Plus récemment Climateseed, filiale à 100% de la BNP, vient rebattre les cartes de la chaîne de valeur des crédits de compensation en proposant un lieu sécurisé offrant aux porteurs de projets une place de marché leur permettant d'être libre de mettre en ligne leurs crédits, aux prix qu'ils le souhaitent. Une transparence salutaire dans un marché plutôt opaque en termes d'intermédiations.

Estimation du potentiel en volume et en prix : de quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de tonnes. Le prix est défini par le porteur de projet selon les volumes.

(3) Des entreprises spécialisées dans l'intermédiation des crédits carbone

Elles se sont lancées dès les premières tonnes délivrées. Leur rôle est de promouvoir différents projets constituant un portefeuille et d'accompagner l'utilisateur de compensation dans une communication adaptée. Certains s'adressent aux particuliers et la plupart offrent également une offre de conseil en stratégie carbone. Les principales entreprises européennes de ce marché sont rassemblées au sein de l'ICROA.

Estimation du potentiel en volume et en prix : De quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de tonnes. Entre 3 et 20 €/tonne de carbone équivalent.

(4) Le broker (courtier, en français)

C'est un intermédiaire financier chargé de mettre en relation fournisseurs de crédits carbone (développeurs de projets ou non) et acheteurs (utilisateurs de la compensation ou non). Le broker travaille essentiellement dans de grandes sociétés de courtage, qui peuvent être rattachées ou non à des banques d'affaires. Des acteurs comme Numerco ou Carbon Trade Exchange sont devenus des acteurs incontournables pour les acheteurs ou vendeurs de gros volumes à bas prix.

Estimation du potentiel en volume et en prix : Plusieurs dizaines de milliers de tonnes à moins de 5 €/tonne de carbone équivalent.

(5) Notre préconisation

Au vu du caractère local des activités qui permettront de délivrer des crédits de compensation, nous préconisons de porter directement la promotion des tonnes de carbone auprès d'entreprises utilisatrices des crédits, voire de citoyens. L'avantage apparaît en termes de valorisation du travail des porteurs de projets mais aussi en termes économiques.
En réduisant les intermédiaires, la valeur du crédit sera d'autant plus importante.

En revanche, si le volume de crédits carbone venait à être plus conséquent (au-delà de 5 000 tonnes carbone équivalent par an), il est conseillé d'envisager un autre axe de promotion qui pourrait être un marketplace sur lequel les porteurs de projets sont visibles et libres de mettre le prix qu'ils souhaitent et où les frais d'intermédiation sont transparents.

b) Les cibles potentielles

Parce qu'une entreprise est davantage motivée à soutenir un projet si celui-ci est en lien avec son cœur de métier, l'ensemble des entreprises du secteur agroalimentaire font office de cœur de cible. Soutenir un projet d'agriculture durable lui permet de valoriser ce qu'elle-même met

en place dans sa propre chaîne de valeur. Ce soutien représente par ailleurs un levier important en termes de communication vers ses propres clients.
Les citoyens du territoire sont également une cible à envisager. Il est conseillé de s'adresser dans un premier temps à celles qui montrent une sensibilité avérée aux enjeux climatiques.
Enfin, du fait de la proximité des actions avec la ville de Paris, les porteurs de projet (ou la structure mandataire) pourront se rapprocher de la future plateforme locale de compensation parisienne.

c) Les axes marketing

En vue de valoriser au mieux le travail des porteurs de projets et de vendre au meilleur prix les réductions d'émissions certifiées, les axes marketing suivant, basés sur les Objectifs du Développement Durable des Nations Unis sont préconisés.

Par la mise en œuvre du couvert végétal en France les agriculteurs contribuent activement à préserver le climat, la biodiversité et redonnent du sens à leur travail. L'agriculture fait sa part et contribue à la neutralité carbone française et donc mondiale. Ils agissent spécifiquement sur les puits de carbone dont les capacités doivent être doublées d'ici à 2050, passant de 50 $MtCO_2$ par an à 100 $MtCO_2$.
Indicateur : tonnes CO_2e/ha

Les agriculteurs peuvent participer à la lutte contre l'érosion de la biodiversité. Par exemple, grâce au couvert des sols cultivés, les agriculteurs contribuent à enrayer et inverser le processus de dégradation et d'érosion des sols. Par ailleurs, ils favorisent la rétention de l'eau de pluie.
Indicateurs : Présence de lombrics, profondeur du système racinaire

Les agriculteurs redonnent du sens et de la valeur à leur travail.
La mise en place des pratiques agricoles vertueuses donne aux agriculteurs la possibilité d'affirmer leur rôle positif dans une société engagée vers la protection de l'environnement. Elle redonne de la fierté aux agriculteurs.

Indicateurs : Sentiment de fierté des agriculteurs engagés dans la démarche, revenus supplémentaires liés à la vente.

Par la mise en place de cette pratique, l'agriculteur participe à la dynamique de son territoire. En mesurant la contribution de chaque porteur de projet à l'augmentation des puits de carbone d'un territoire donné, l'agriculteur favorise l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone.

Le prix de vente des crédits carbone

(1) Un prix du carbone fixe

Le prix du crédit carbone peut être fixé de façon arbitraire par ceux qui feront leur promotion. Une fourchette entre 10 et 25 euros correspond aux prix pratiqués depuis 10 ans en France. Une autre façon de fixer le prix du crédit carbone est de se baser sur la Contribution Climat Énergie de la France. Bien que totalement déconnecté de la politique française en matière de fiscalité écologique, ce prix du crédit carbone apporte l'avantage de ne pas tergiverser sur les différents prix du carbone.

Prix fixé unilatéralement	
Forces	Faiblesses
• Autonomie et liberté • Limite l'explication du coût différencié d'abattement	• Ne valorise pas les projets à haute valeur ajoutée sociale et territoriale
Opportunités	Menaces
• Pourrait devenir une valeur référence localement • Généralisation d'un prix du carbone local	• Potentiellement générateur de tensions entre les porteurs de projets

Prix indexé sur la Contribution Climat Énergie	
Forces	Faiblesses
• Facile à justifier • Crée moins de confusion avec la politique nationale • Crée des revenus plus élevés pour les porteurs de projet en comparaison avec le prix actuel du crédit carbone	• Prix élevé potentiellement bloquant pour les acheteurs • Ne reflète pas le coût d'abattement différencié selon les projets
Opportunités	Menaces
• Soutien de l'État car sensibilise et fait la promotion de la politique fiscale carbone française • Visibilité et portage par les autorités nationales	• Confusion avec une taxe • Évolution du prix : vers 225 € la tonne en 2030 • Potentiellement générateur de tensions entre les porteurs de projets

(2) Un prix du carbone différencié

Ce prix permet de faire varier la valeur du crédit carbone en fonction de différentes variables :

- Le volume de crédits : un acheteur de volume important va demander à baisser les prix (moins de 10 €/T) tandis qu'un prix élevé qui serait associé à un faible volume – 25 € par ex. - peut être facilement accepté
- Le type de projet : certaines activités sont plus efficaces en termes de réductions d'émissions. Elles permettent d'avoir une marge de manœuvre plus importante sur le prix. D'autres projets réduisent peu d'émissions mais font valoir de nombreux autres bénéfices socio-économiques. Le prix est alors plus élevé.
- Le type d'acheteur : Certains acheteurs ont une idée très précise du prix du crédit carbone et sont durs en négociation. A l'inverse certaines entreprises impliquées seront peu regardantes sur le prix.

En fonction de la quantité	
Forces	Faiblesses
• Simple à justifier • Incite à acheter de plus gros volumes	• Difficulté à homogénéiser le prix en fonction des typologies de projet • Confusion sur la valeur
Opportunités	Menaces
• Vendre de plus importants volumes	• Risque d'image : approche pouvant être vue comme trop mercantile = moins d'adhésion

En fonction du type d'acheteur	
Forces	Faiblesses
• Prise en compte de la capacité financière des acheteurs	• Difficulté à homogénéiser le prix en fonction des typologies
Opportunités	Menaces
• Toucher un plus grand nombre d'acheteur (co-bénéfice = Valorisation de projets agricoles vers le plus grand nombre)	• Induire une responsabilité partagée et mal vécue entre les différents acteurs d'un territoire

En fonction du type de projet	
Forces	Faiblesses
• Valorise la valeur sociale et territoriale du projet : les co-bénéfices • Reflète les types de projets et leurs coûts d'abattement associés • Personnalise des projets qui disposent d'un prix en propre	• Travail à mener pour définir les prix (définition d'une règle de détermination du prix de revient de la réduction d'émissions)
Opportunités	Menaces
• Dépasser la dimension monocritère du carbone et éduquer à la valeur d'un carbone social • Orienter les flux financiers vers les réductions d'émissions les plus efficientes	• Pourrait créer une certaine concurrence entre les projets et amener des acheteurs à compenser via des projets moins chers

(3) Quel coût pour la certification ?

Ce coût est variable en fonction de la surface à labelliser et des conditions de monitoring de la méthode qui sera utilisée. Dans l'hypothèse que les parties prenantes décident de travailler avec un prestataire dédié à l'émergence de projets, à leur regroupement et à leur accompagnement, la quantité de travail associé a été estimé en nous basant sur les étapes classiques de la certification carbone et en prenant comme méthode celle dédiée aux grandes cultures, voici ce que nous pouvons estimer en jours homme/femme pour mener un accompagnement des porteurs de projets agricoles sur l'ensemble du périmètre de l'étude :

1. Identification des porteurs de projets – 10 jours ;
2. Rédaction du document descriptif de projet (ou DDP) – 10 jours ;
3. Enregistrement du projet – 2 jours ;
4. Mise en place du monitoring - 2500€ pour chaque exploitation pour le suivi sur les 5 ans[6] ;
5. Vérification – 10 000 euros ;
6. Communication, promotion des crédits et animation partenariale – 0,5 ETP.

Pour mener cette mission dans son ensemble, à savoir sur la première :

- Gestion de l'ensemble du cycle de certification précisé ci-dessus – environ 0,4 ETP

[6] Source : Terre et Cités, utilisation des fonds du programme LEADER pour la mesure de l'empreinte carbone et l'établissement d'un plan d'action pour 7 exploitations sur le plateau de Saclay.

- Promotion des crédits carbone, mise en place des partenariats et communication – 0,6 ETP

1 ETP serait nécessaire pour la 1ère année.

En année 2 et les suivantes, et tant que le nombre de partenaires n'est pas trop important, l'ETP est entièrement mobilisé sur :

- Le suivi du projet (consolidation des données de terrain et animation de la relation avec le MTES et l'auditeur)
- L'animation des porteurs de projets afin de les avoir mobilisés pleinement
- La gestion des partenariats avec les acheteurs de crédits qui ont déjà contractualisés
- La recherche de prospects en vue de vendre de nouveaux crédits de crédits
- La communication (évènement, table ronde, réseaux sociaux, site web éventuellement…)
- En complément une ressource de 20 000 à 30 000 euros sur plusieurs années (en fonction de la méthode retenue) doit être anticipée pour l'audit du projet.

Une première étape : la mesure de l'empreinte carbone

En novembre 2019, une demande est soumise au programme LEADER du Plateau de Saclay afin de financer un bilan GES initial, un plan d'action diagnostiqué et un suivi sur 8 exploitations agricoles du Plateau de Saclay.

C'est une première étape décisive que de connaître les émissions générées à un instant t0 afin de pouvoir déterminer quelles actions de réduction d'émissions sont envisageables et également calculer rigoureusement les réductions réellement atteintes. Ce diagnostic précis permettra qu'une démarche de création de crédits carbone se développe.

(4) Qui pour vendre les crédits carbone ?

Afin de réduire les frais d'audit et de vérification des réductions d'émissions et afin d'être validé par les méthodes du Label Bas Carbone, le développement de projets collectifs (chacun spécifique à une méthodologie) permettrait de rapprocher sous un seul et même « projet » les diverses initiatives et actions portées par les différentes exploitations du territoire. Le mandataire gérant ces projets collectifs recevrait in fine les réductions d'émissions validées par le Label Bas Carbone, et endosserait le rôle d'interface entre les exploitations, le Label Bas Carbone et les acheteurs volontaires des réductions d'émissions générées.

d) Plan d'action préconisé

Nous préconisons le plan d'action suivant :

- Être en veille active sur le déploiement et la rédaction des futures méthodologies agricoles, notamment celles dédiées aux grandes cultures ;
- Engager une personne à plein temps pour organiser la gouvernance des dispositifs de compensation ;
- Contacter dès maintenant les entreprises implantées sur le territoire et les acteurs de l'agroalimentaire ;
- Contacter la ville de Paris afin d'être identifié comme porteur de projet pour le futur opérateur local de compensation carbone ;
- Travailler un argumentaire sur le prix de vente des crédits carbone ;
- Réaliser une fiche projet recto verso précisant le contexte et les enjeux, les objectifs du projet, les porteurs de projets (verbatim) et la contribution des projets aux ODD ;
- Identifier les événements importants où le mandataire gérant ces projets collectifs pourrait prendre la parole afin d'annoncer une volonté de générer des crédits carbone ;
- Envisager la possibilité de vendre en direct et en ligne aux particuliers des crédits carbone via un outil web ;
- Développer un argumentaire sur le partage de la valeur du crédit carbone et le retour aux porteurs de projets ;
- Créer une base de contacts ;
- Créer une convention de partenariat à soumettre aux entreprises.

B. Etude sociologique

Clarisse Gimat et Jimmy Farjots
Terre et Cité

1. Introduction

a) Objectifs de l'enquête

L'objectif de cette enquête est de répondre à la question suivante :
« Dans quelle mesure les agriculteurs des territoires du périmètre de l'étude seraient-ils prêts à faire évoluer leurs pratiques agricoles en vue de contribuer à la mitigation du changement climatique ? ».

Cette question se décline en plusieurs objectifs que sont :

- Comprendre les représentations que se font les agriculteurs du rôle de l'agriculture dans la dynamique de leur territoire vis à vis de la question du climat ;
- Évaluer dans quelle mesure les agriculteurs du périmètre concerné seraient intéressés pour faire évoluer leurs pratiques agricoles, et déterminer lesquelles ;
- Comprendre leur perception du dispositif label Bas-Carbone et du concept de vendre des unités de réduction ;
- Recueillir des données techniques sur les pratiques agricoles menées dans les exploitations agricoles et sur les types de sol en présence.

Enfin, les enquêtes de terrain seront aussi l'opportunité d'informer les agriculteurs de l'existence du dispositif label Bas-Carbone.

b) Méthode

La méthode choisie a été celle des entretiens semi-directifs. En effet, l'objectif était de recueillir les informations qualitatives suivantes :

- Des informations concernant la manière dont les agriculteurs envisagent leur rôle dans une démarche de réduction de l'empreinte carbone d'un territoire ;
- Des données sur les possibilités concrètes pour les agriculteurs de faire évoluer leurs pratiques ;
- Des données sur leurs points de vue au sujet de la compensation.

L'enquête vise donc à mener une analyse du sens que les agriculteurs donnent à leurs pratiques au regard de la question du climat et à analyser leur positionnement concret vis à vis de la question de la compensation carbone. Au regard des critères de choix de méthode d'enquête proposés par Campenhoudt et Quivy (2011, p. 172), l'entretien semi-directif semblait être la méthode adaptée pour atteindre ces objectifs.

c) Efficacité des prises de contact

La prise de contact a été différente en fonction des territoires de l'étude. Sur les territoires de Seine Aval et de la Plaine de Versailles, les animatrices ont informé au préalable un certain nombre d'agriculteurs susceptibles d'être intéressés, et ont transmis à Terre et Cité pour prise

de contact, les coordonnées de ceux qui avaient répondu favorablement. Les agriculteurs qui n'étaient pas intéressés n'ont donc pas été contactés.

A l'inverse, sur le Plateau de Saclay et sur Coeur d'Essonne, la prise de contact s'est faite directement. Les agriculteurs du Plateau de Saclay avaient cependant déjà eu des informations au sujet de cette étude lors d'une réunion du collège des agriculteurs.

Les agriculteurs des territoires faisant l'objet d'une animation par une association ont davantage l'habitude d'être sollicités. Les prises de contact ont donc été plus faciles, et plus efficaces en termes de prises de rendez-vous.

A contrario, le travail avec les agriculteurs sur l'agglomération Coeur d'Essonne est plus récent. Deux paramètres ont influencé l'efficacité des prises de contact avec les exploitants de ce territoire :

- le fait qu'il n'y ait pas encore d'habitude de sollicitation pour des sujets en lien avec le territoire ;
- la méconnaissance des sujets relatifs à l'étude.

Ainsi, seulement 15% des agriculteurs contactés sur ce territoire ont accepté de faire un entretien.

Le tableau suivant montre le nombre d'agriculteurs ayant pu être contactés dans le cadre de l'étude et la proportion d'agriculteurs de chacun des territoires dans le nombre total des agriculteurs contactés (60) :

	Seine Aval		Plateau de Saclay		Plaine de Versailles		Coeur d'Essonne		Total	
Agriculteurs contactés	8	13%	13	22%	5	8%	34	57%	60	100%

Le tableau ci-dessous indique les nombres et proportions d'agriculteurs ayant accepté de réaliser un entretien, refusé, ou n'ayant pas donné de réponse :

	Seine Aval	Plateau de Saclay	Plaine de Versailles	Coeur d'Essonne	Total	Taux
Agriculteurs rencontrés	6	8	5	5	24	40%
Pas de réponse	2	4	0	15	21	35%
Refus	0	1	0	14	15	25%

d) Explication du déroulement des entretiens

Afin de guider l'enquête, une démarche « en entonnoir » a été utilisée en partant d'une thématique plus générale pour aboutir à la question centrale qu'est la compensation carbone locale.

La méthode des entretiens semi-directifs offre aux personnes interrogées une certaine flexibilité qui implique la possibilité de développer assez librement les sujets abordés dans l'ordre qu'elles souhaitent. Son biais est la difficulté que cela pose pour l'enquêteur de s'assurer que l'ensemble des points a bien été abordé, notamment dans le cadre de contraintes temporelles assez fortes. De plus, les questions posées ont aussi été adaptées selon les dispositions des agriculteurs rencontrés. Ainsi, le nombre de réponses varie selon les questions, certaines n'ayant pas pu être posées lors de certains entretiens, ou des personnes n'ayant pas souhaité y répondre.

2. Présentation générale des enquêtés

a) Échantillon de la population faisant l'objet de l'enquête

L'atteinte des objectifs de l'enquête ne nécessitait pas d'obtenir des statistiques sur les profils des agriculteurs selon leur positionnement concernant la compensation carbone, mais de dégager des grandes tendances de représentations. Il s'agissait donc d'étudier des composantes non strictement représentatives mais caractéristiques de la population enquêtée.
Par ailleurs, constituer un échantillon parfaitement représentatif des profils des agriculteurs paraissait difficile à mettre en œuvre car la participation à l'enquête s'est faite sur une base du volontariat. L'idée était donc d'avoir l'échantillon le plus large possible des exploitations en présence sur le périmètre de l'étude, sans chercher pour autant une représentativité parfaitement rigoureuse des profils des exploitations.
Le nombre minimum d'exploitations à interroger a été fixé à 5 par territoire, soit 20 au total, lors d'une réunion entre les territoires concernés le 11 octobre 2018.

Cet objectif a été atteint puisque 24 entretiens ont été réalisés auprès des agriculteurs sur les 4 territoires de l'étude, dont au moins 5 par territoire.
7 réponses supplémentaires ont été obtenues grâce au questionnaire mis en ligne, relayé par les différents territoires et diffusé dans le journal Horizon.

b) Catégorie d'âge

La majorité des agriculteurs interrogés ont entre 40 et 55 ans (Figure 39), ce qui correspond à la catégorie d'âge la plus représentée parmi les agriculteurs au niveau régional (45,7%). Les plus de 55 ans sont quant à eux sous-représentés au profit de la catégorie précédente et des moins de 40 ans.

Notre échantillon est donc plus jeune en comparaison de la moyenne régionale.

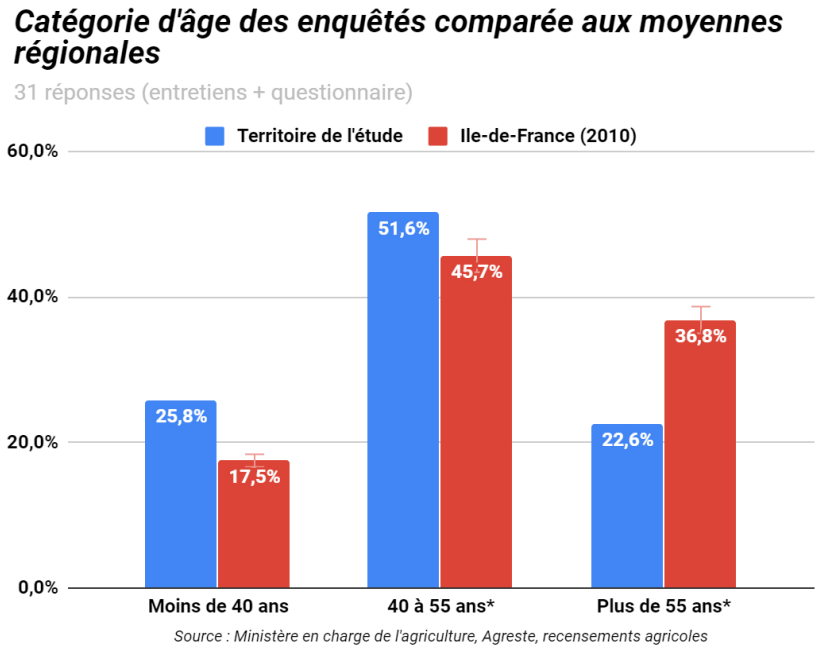


Figure 39 : Catégorie d'âge des enquêtés comparée à celle du chef d'exploitation ou du premier coexploitant en Île-de-France, 2010.

c) Représentation des territoires

Afin d'assurer une bonne représentativité des résultats sur l'ensemble du périmètre de l'étude, il était essentiel que des agriculteurs des 4 territoires acceptent de répondre à l'enquête. Les 24 entretiens réalisés sur les 4 territoires ainsi que les 7 réponses obtenues grâce au questionnaire montrent que tous les territoires sont bien représentés avec 10 réponses sur le Plateau de Saclay, 8 sur la Plaine de Versailles, 7 sur Cœur d'Essonne et 6 sur Seine Aval, ce qui porte le total à 31 réponses sur le périmètre de l'étude.

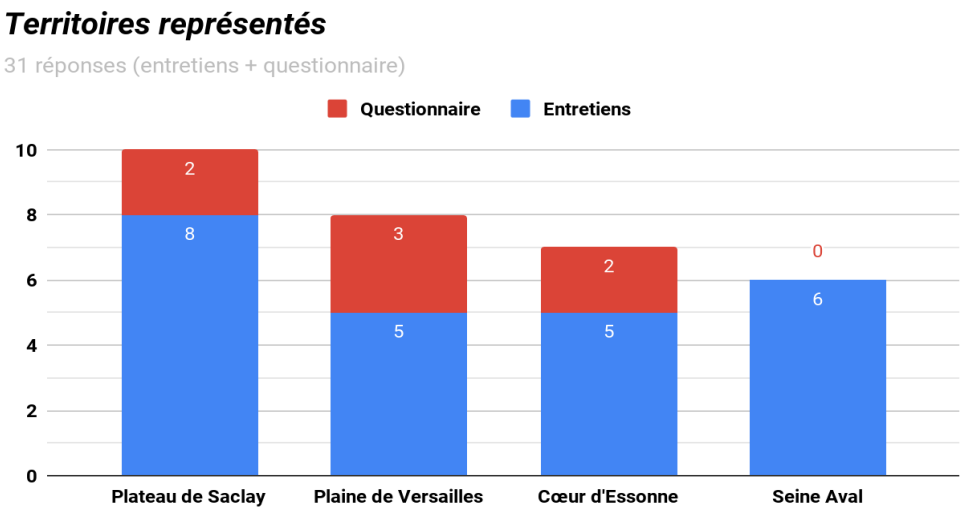


Figure 40 : Représentation des différents territoires de l'étude en fonction des entretiens réalisés et des réponses au questionnaire.

Le Plateau de Saclay et La Plaine de Versailles ont pour point commun de bénéficier de l'animation d'une association patrimoniale qui met en lien les agriculteurs autour des enjeux du territoire. On peut certainement expliquer une mobilisation plus importante sur ces deux territoires par ce travail d'animation.

d) Type d'agriculture pratiqué

Le profil des exploitations, en termes de type d'agriculture, n'est pas représentatif de la situation régionale ou nationale (Figure 41). En effet, l'agriculture biologique (ou en conversion), qui représente 5,4% des exploitations en Île-de-France en 2016 (Agreste Île-de-France - Mémento 2017), ainsi que l'agriculture de conservation, sont surreprésentées au détriment de l'agriculture conventionnelle ou raisonnée.
Un des éléments d'explication peut résider dans le choix méthodologique de l'enquête d'interroger les agriculteurs intéressés, et non de constituer un échantillon représentatif.
Ces résultats permettent de conclure que, dans le contexte de cette étude, les agriculteurs déjà investis dans une démarche vis-à-vis de la préservation de l'environnement montrent davantage d'intérêt pour s'informer sur le mécanisme de compensation carbone.
De manière générale, les agriculteurs investis en agriculture de conservation ont fait part d'un intérêt pour la question du changement climatique antérieur à l'étude, cet intérêt ayant été leur source de motivation pour opérer la transition vers ce type d'agriculture.

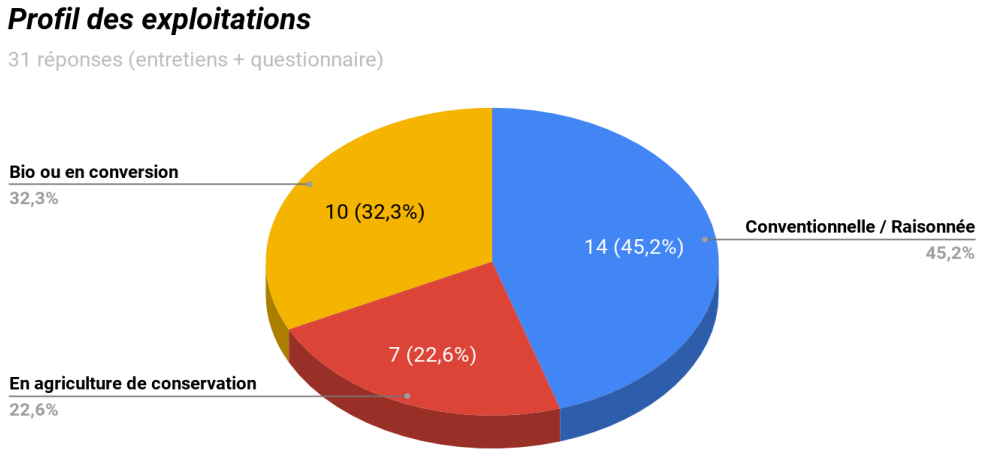


Figure 41 : Type d'agriculture pratiqué par les enquêtés

e) Activité des exploitations

Le maraîchage, l'horticulture, l'arboriculture et la polyculture sont sur-représentés dans l'étude, au détriment de l'élevage (uniquement une exploitation dont l'élevage est intégré dans un système en polyculture) et des grandes cultures (61% contre 78% au niveau régional) même si cette activité reste de loin le profil majoritaire des agriculteurs interrogés (Figure 43).

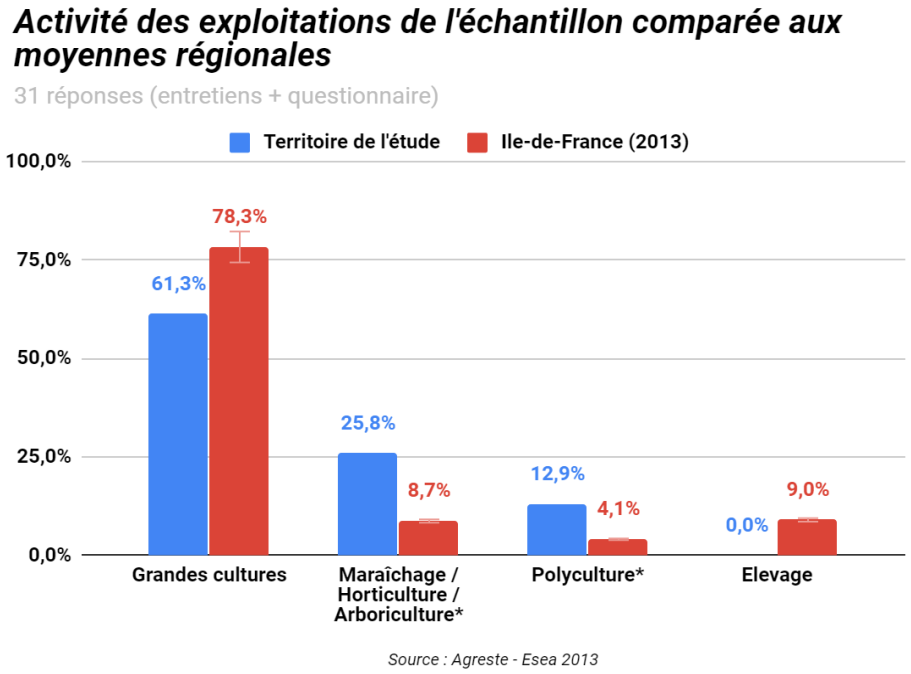


Figure 42 : Activité des exploitations de l'échantillon comparée à la répartition des exploitations agricoles par orientation technico-économique (OTEX) en Île-de-France, 2013

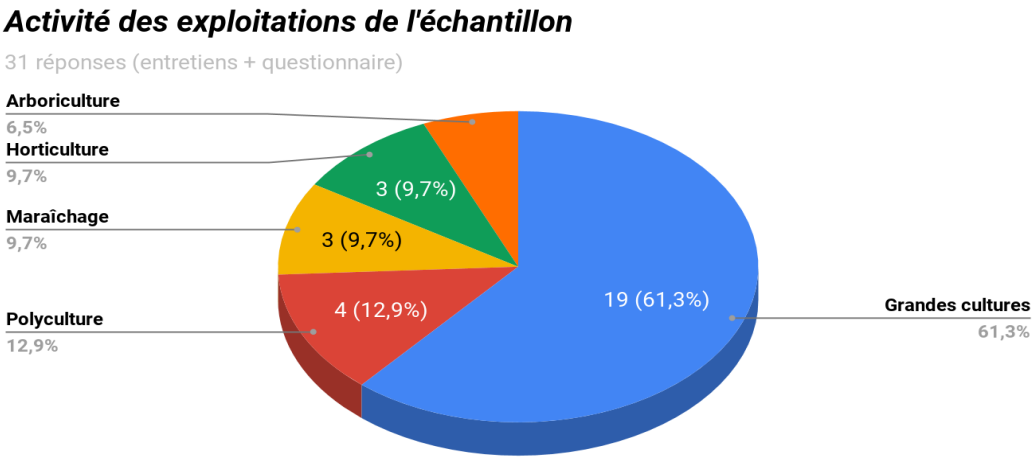


Figure 43 : Activité des exploitations de l'échantillon avec détails sur les activités d'arboriculture, horticulture et maraîchage.

f) Vente en circuit court

59 % des agriculteurs interrogés vend tout ou une partie de leur production en circuit court (Figure 44). Les agriculteurs en circuits courts interrogés sont donc surreprésentés par rapport à leur représentation en Ile de France (En 2010 16 % des agriculteurs en Ile de France font de la vente en circuit court, Agreste 2012).

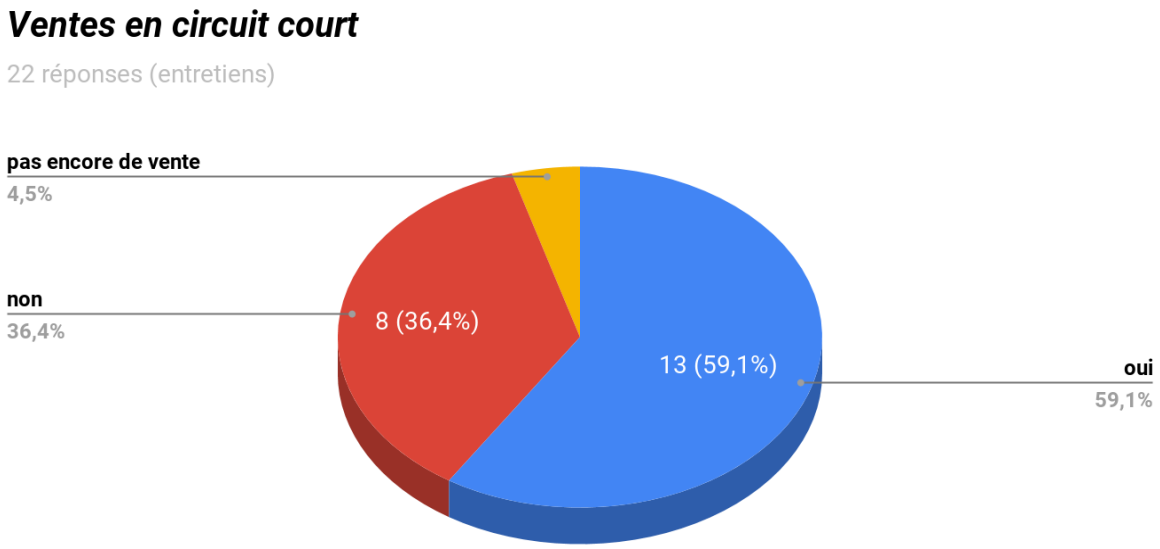


Figure 44 : part des enquêtés qui ont une activité en circuit court.

g) Retours de l'enquête sur le mécanisme de compensation carbone

(1) Agriculture et climat

La grande majorité des agriculteurs interrogés (82%) pense que l'agriculture peut avoir un impact sur le climat, mais les avis quant à la nature de cet impact sont divers (Figure 45).

Ainsi, un peu plus de la moitié (57%) d'entre eux pense que l'agriculture impacte négativement le climat, mais certains soulignent qu'elle a davantage d'impacts dans d'autres pays, ou que d'autres secteurs ont un impact plus important.

Certains agriculteurs interrogés préfèrent se concentrer sur les impacts positifs de l'agriculture, notamment par le stockage du carbone. Enfin 14,3% pensent que l'agriculture n'a aucun impact sur le climat.

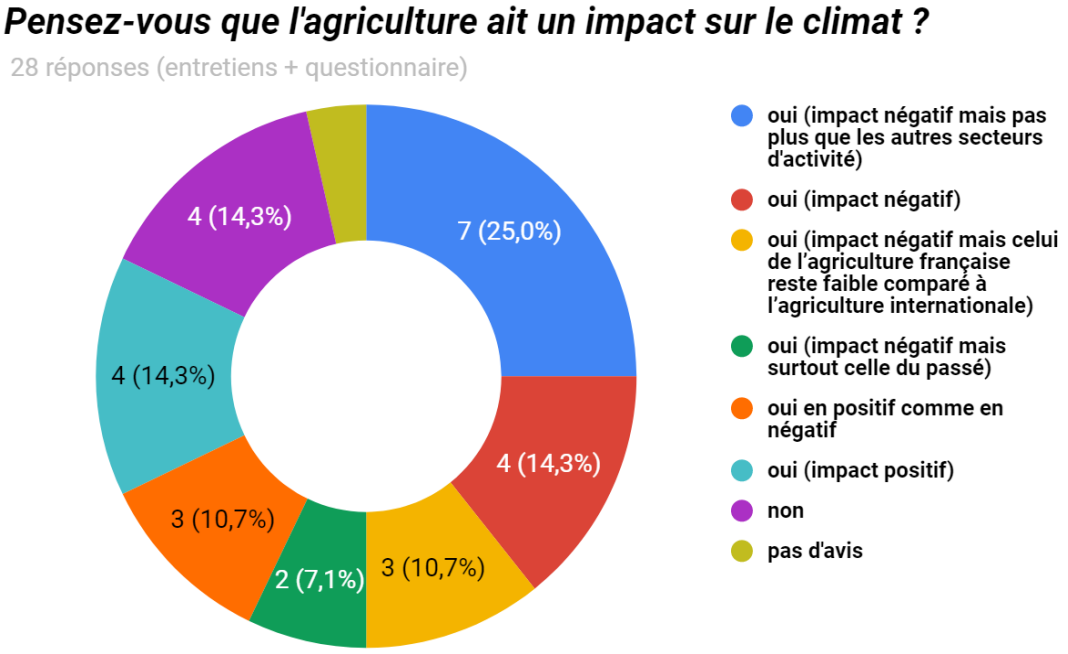


Figure 45 : Opinion des agriculteurs interrogés à propos de l'impact de l'agriculture sur le climat

Les agriculteurs interrogés sont globalement conscients du changement climatique et de l'impact que leur activité peut avoir sur le climat. Cette conscience pourrait donc à priori être un facteur favorisant la mise en place de démarches de compensation carbone.

Par ailleurs, tous les agriculteurs, exceptés trois qui n'ont pas exprimé d'avis, ressentent les impacts du dérèglement climatique dans leur travail. (Figure 46). Ils décrivent plus d'extrêmes au niveau des conditions météorologiques que par le passé, des effets qui peuvent entraîner des changements dans les délais d'intervention, des baisses des rendements et plus de volatilité dans les prix. Ces paramètres impliquent davantage d'incertitude dans leur travail.
9,7% d'entre eux n'associent pas nécessairement ces modifications climatiques au changement climatique.
Parmi les trois personnes qui n'ont pas exprimé d'avis, deux sont nouvelles dans le métier et n'avaient pas assez de recul pour répondre.

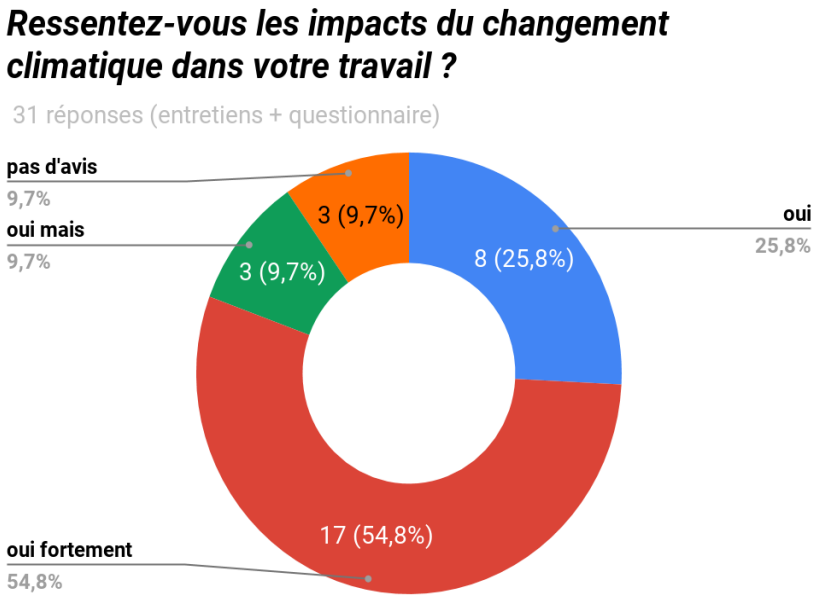


Figure 46 : Ressenti des agriculteurs interrogés à propos de l'impact du changement climatique sur l'agriculture

In fine, une grande majorité des exploitants interrogés pensent avoir un rôle à jouer dans la mitigation du changement climatique.

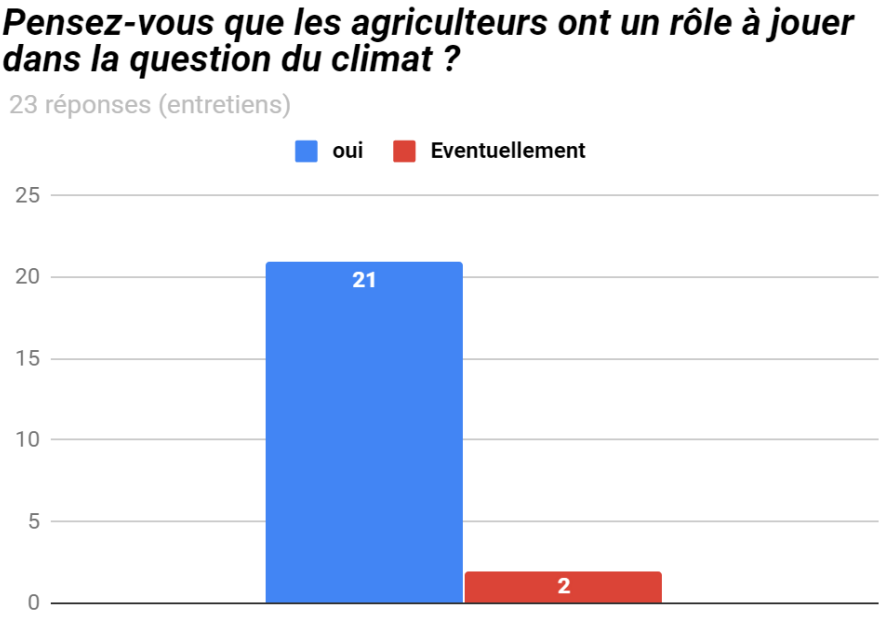


Figure 47 : Ressenti des enquêtés quant au rôle des agriculteurs vis-à-vis du climat

(2) Rôle des agriculteurs et lien avec le territoire

Une grande majorité des agriculteurs interrogés dit avoir un sentiment d'appartenance à un territoire (83,9%). Un peu plus de la moitié (58,1%) identifie ce territoire à l'un de ceux concernés par l'étude et 25,8% à un territoire différent, en général plus spécifique (Figure 48) comme le Plateau de Limours, le Triangle vert, le Plateau de Magny ou le PNR de la Vallée de Chevreuse, le secteur de l'Hurepoix, ou encore à l'échelle communale.
A l'inverse, 16,1% des agriculteurs ne se sentent pas liés à un territoire.

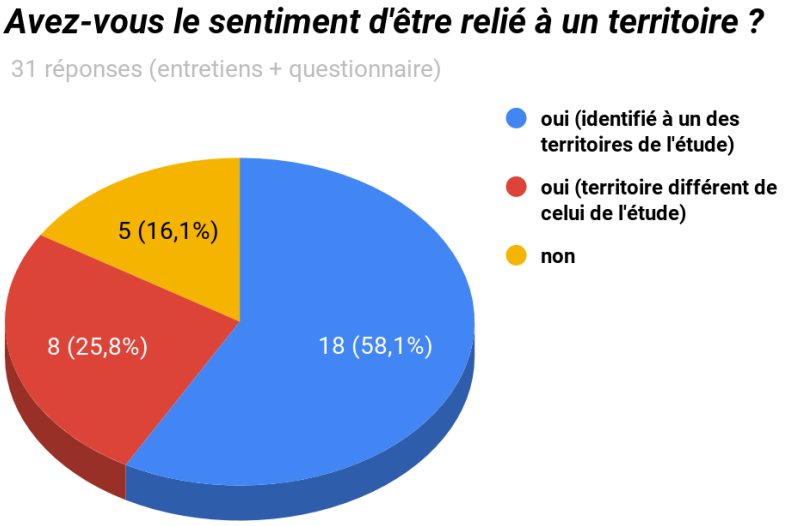


Figure 48 : Avis des agriculteurs interrogés quant à leur appartenance à un territoire

Les agriculteurs interrogés se sentent donc pour la plupart appartenir à un territoire, même s'il n'est pas obligatoirement identifié comme étant l'un des territoires partenaires de l'étude.
En plus de cette appartenance à un territoire, un peu plus de la moitié des agriculteurs (55%) trouve important de contribuer à la baisse de l'empreinte carbone de leur territoire (Figure 49).

"Cela ne peut être que bénéfique pour le territoire."
"Il faut commencer par des échelons locaux avant d'arriver au niveau national.".

40% d'entre eux ne trouvent pas que l'échelle locale soit réellement pertinente. Pour eux l'empreinte carbone ne s'arrête pas à un territoire. Ainsi 25 % pensent que c'est plus *"une action d'ensemble »* et pour 10% c'est une action à mener pour le climat et non pour le territoire en particulier.

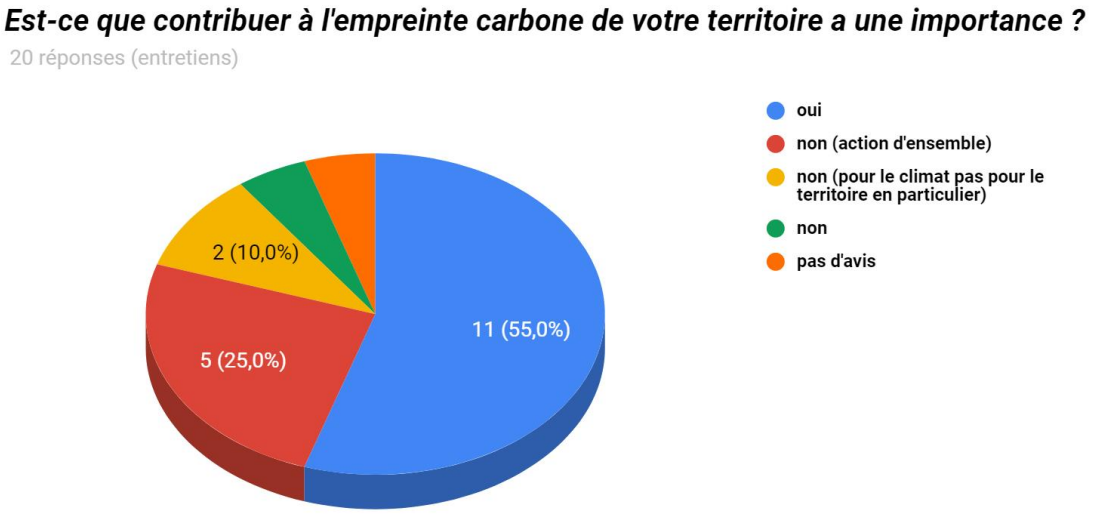


Figure 49 : Opinion des agriculteurs interrogés sur l'importance de contribuer positivement à l'empreinte carbone sur leur territoire

Deux visions, pas nécessairement opposées, se distinguent : une première où il semble important de contribuer à diminuer l'empreinte carbone du territoire, une seconde où l'impact carbone est vu plus de manière globale et non sur un territoire en particulier. Dans les deux cas, comme montré par la figure F, les agriculteurs pensent avoir un rôle à jouer vis-à-vis des enjeux climatiques et trouvent important d'agir.

Bien que les agriculteurs interrogés se sentent liés à un territoire et que, pour beaucoup, il soit important de contribuer à limiter l'empreinte carbone de celui-ci, la grande majorité d'entre eux n'a pas suivi les travaux menés dans le cadre du Plan Climat Air-Énergie Territorial (PCAET) de leur territoire (Figure 50). Cela s'explique en général par un manque de temps ou tout simplement parce qu'ils n'en avaient pas eu connaissance.

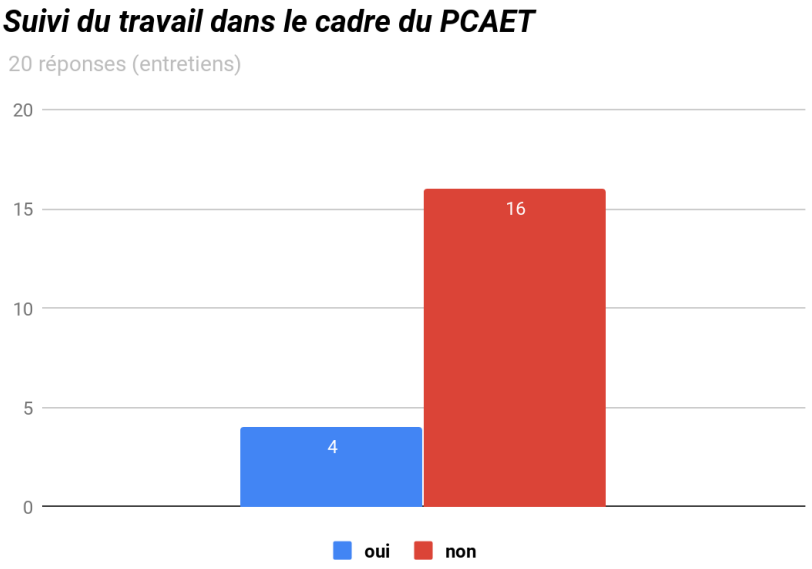


Figure 50 : Nombre d'agriculteurs interrogés ayant suivi les travaux menés dans le cadre des PCAET de leur territoire

En résumé les agriculteurs interrogés reconnaissent que l'agriculture a un rôle à jouer vis-à-vis du climat et de la société. Ils se sentent appartenir à un territoire mais n'envisagent pas forcément de contribuer à l'empreinte carbone de la société à cette échelle.

(3) La compensation carbone :

(a) Connaissances préalables sur la compensation carbone

Les ¾ des personnes interrogées avaient déjà entendu parler de compensation carbone (Figure 51).
Les agriculteurs étaient déjà concernés, intéressés ou s'étaient renseignés sur cette question. Ces chiffres témoignent du biais de la méthode d'enquête basée sur le volontariat. Le sujet étant en effet très spécifique, les exploitants ayant accepté de répondre à l'enquête avaient pour la plupart un intérêt préexistant pour la question du climat, avaient déjà entendu parler de la compensation carbone, ou avaient l'habitude d'être sollicités dans le cadre d'un partenariat avec une association patrimoniale, comme vu précédemment.

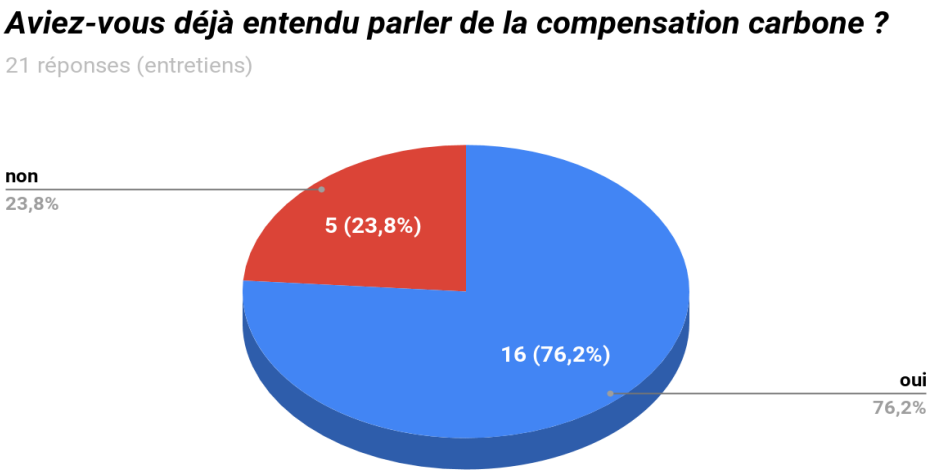


Figure 51 : Connaissance des enquêtés de l'existence de la compensation carbone

(b) Motivations

Les deux premières motivations citées par les agriculteurs interrogés pour mettre en place un projet de compensation carbone sont "d'agir pour le climat" et de "faire évoluer leurs pratiques" (Figure 52). La dimension économique, liée à la vente d'unités de réduction, est par ailleurs un paramètre important car il peut rendre possible l'adoption de nouvelles pratiques, bénéfiques pour le climat, mais nécessitant un investissement financier.
De plus, valoriser leur exploitation, leur production ou plus largement l'image de l'agriculture sont aussi des facteurs de motivation mis en avant par l'enquête. Cette observation peut être

mise en parallèle avec le fait que 59% des agriculteurs interrogés font de la vente en circuit court (Figure 44). En effet, il est possible d'imaginer que ces agriculteurs seraient d'autant plus intéressés par le mécanisme de compensation carbone qu'ils seraient en capacité de valoriser cette démarche directement auprès de leurs clients via les espaces de vente en direct ou en circuit court.

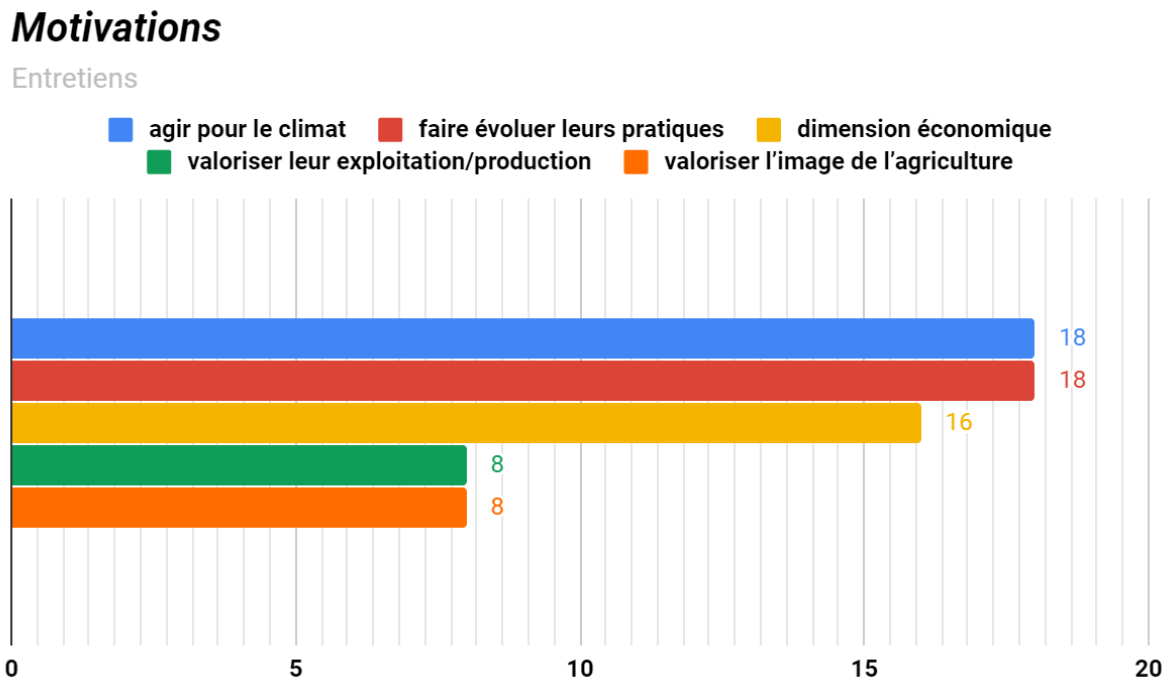


Figure 52 : Motivations des enquêtés pour mettre en place un projet de compensation carbone

(c) Freins

L'un des principaux freins relevés par les agriculteurs concerne le temps qu'il faudra accorder au mécanisme et à la mise en place d'une nouvelle pratique (Figure 53) : *« Il ne faudrait pas que cela implique une surcharge trop importante de travail et de justification. »*.

En effet ils sont nombreux (24/31) à ne pas souhaiter s'engager dans un mécanisme trop chronophage ou complexe. *"Par moment, cela devient tellement compliqué qu'il est préférable de s'en passer."* Certains enquêtés rappellent qu'ils sont déjà soumis à de nombreux contrôles.
Les coûts liés à la mise en place d'une nouvelle pratique représentent aussi un frein évident. Il est important qu'il y ait un certain retour sur investissement ou du moins que cela n'entraîne pas un déficit pour eux. Certains agriculteurs soulignent l'importance de prendre en compte le contexte spécifique de chaque exploitation dans le choix d'évolution de pratiques. L'un d'eux a par exemple expliqué qu'il ne souhaiterait *"pas cultiver des pois qui vont ensuite nourrir les oiseaux"*.

L'enquête a également sondé les critères qui seraient importants pour les agriculteurs concernant le choix des financeurs d'un projet de compensation carbone, en fonction de leur

activité ou des valeurs qu'ils portent. Les résultats à cette question sont assez nuancés. Certains ne voudraient pas vendre des unités de réduction à des entreprises polluantes qui n'agissent pas pour améliorer leurs pratiques, *"Je ne veux pas cautionner l'impact de certains qui n'essaient pas de le diminuer. »* ou à des entreprises qui nuisent à l'image de l'agriculture. D'autres au contraire pourraient vendre aux entreprises polluantes car cela pourrait *"les inciter à moins polluer"* ou aux entreprises qui nuisent à [l'image de] l'agriculture car cela permettrait de leur montrer que les agriculteurs *"essaient de travailler en limitant leurs émissions."*

Freins identifiés :

Entretiens et questionnaire*

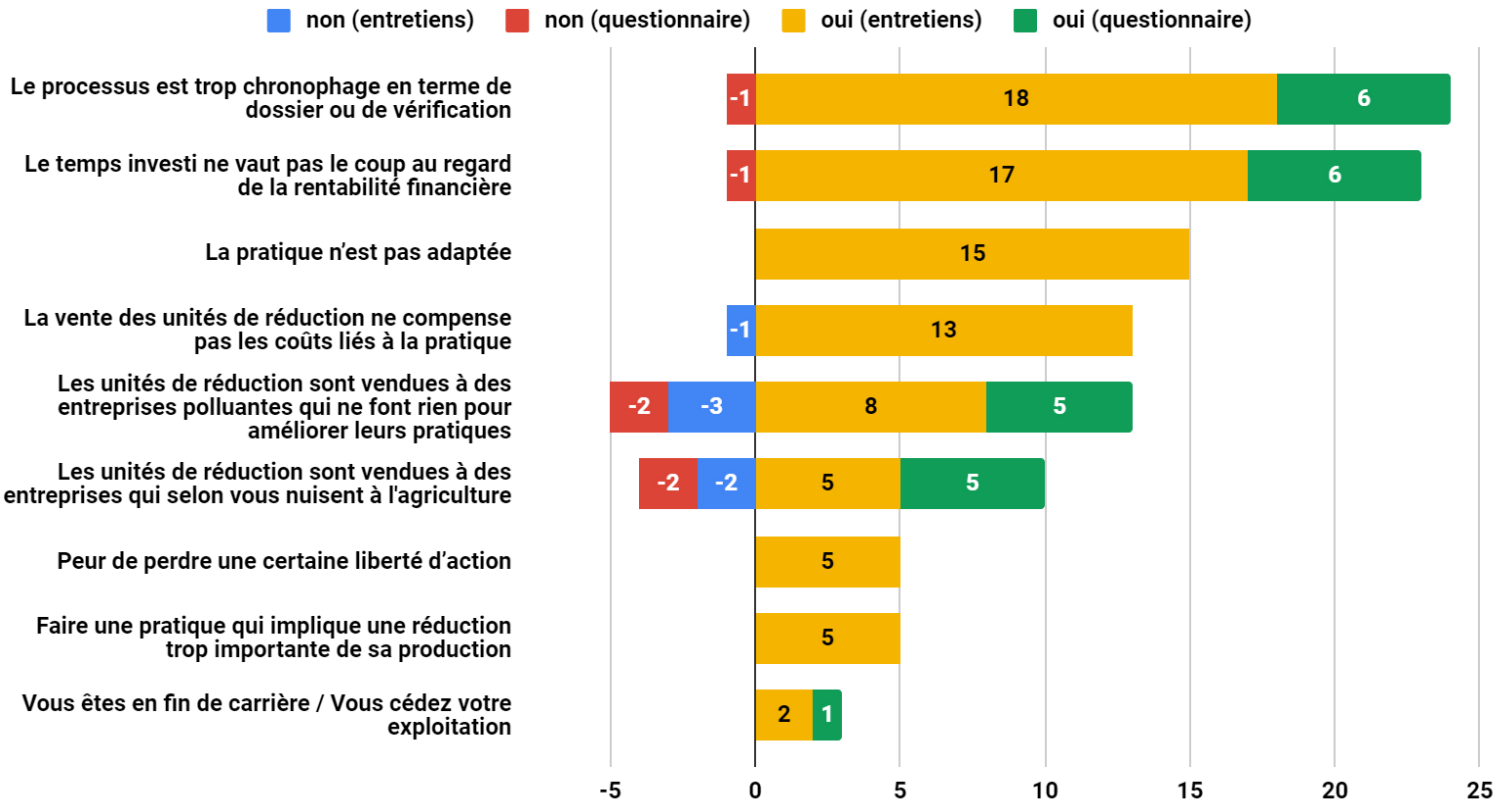


Figure 53 : Freins identifiés par les enquêtés à la mise en place d'un projet de compensation carbone. Les chiffres positifs sont à associer aux freins.

Dans le questionnaire, les choix "la pratique n'est pas adaptée", "la vente des unités de réduction ne compense pas les coûts liés à la pratique", "peur de perdre une certaine liberté d'action" et "faire une pratique qui implique une réduction trop importante de sa production" ne faisaient pas parti des propositions au QCM, mais un champ libre était proposé pour les agriculteurs souhaitant relever d'autres freins.

(4) Pratiques déjà en place - Additionnalité

La grande majorité des exploitations a déjà mis en place des pratiques qui ont un potentiel de compensation carbone (Figure 54).

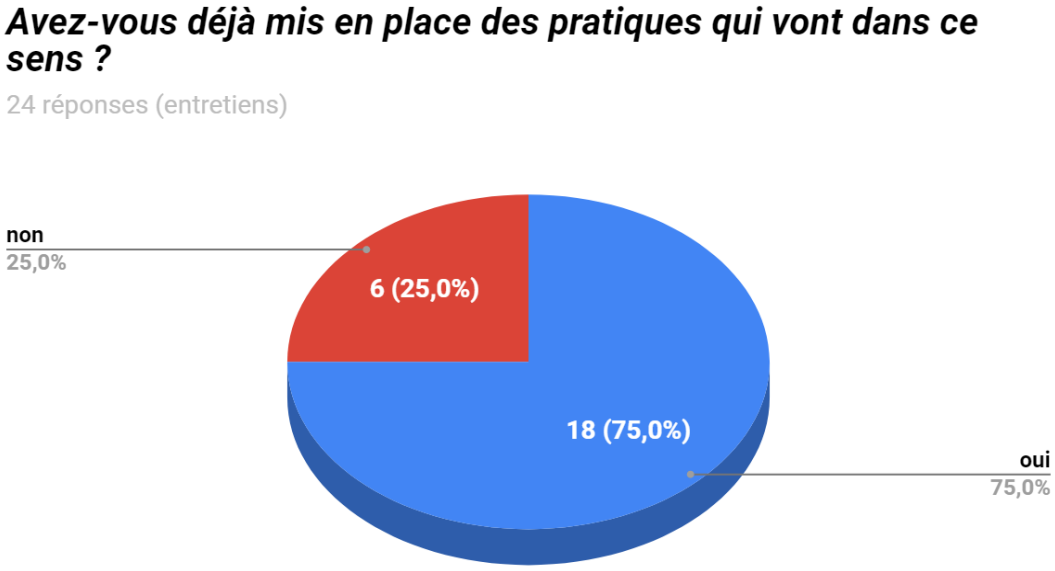


Figure 54 : Nombre d'agriculteurs ayant déjà mis en place des pratiques avec un potentiel de compensation carbone

Il a été demandé aux agriculteurs ayant déjà mis en place des pratiques avec un potentiel de compensation carbone d'exprimer leur opinion sur le principe d'additionnalité. La majorité d'entre eux trouverait dommage que les actions déjà mises en œuvre ne soient pas prises en compte : *« Cela consiste presque en une double peine. Pour bénéficier de la compensation carbone, il suffirait de tout arrêter pour repartir à zéro […] Cela pénalise les précurseurs alors que le but c'est d'encourager à aller vite. ».*

Un agriculteur parle alors d'aide au maintien : « Je n'aurai pas la mentalité de retourner en arrière pour pouvoir bénéficier du mécanisme mais une aide au maintien serait nécessaire. Retourner en arrière pourrait être une pratique envisagée par certains. Donc il faut aider à maintenir ce que l'on fait pour éviter cela ».

D'autres agriculteurs, au contraire, trouvent cela normal et se sentent à l'aise avec ce principe. Seulement un des agriculteurs ayant répondu à cette question n'a pas exprimé d'avis sur le principe d'additionnalité. Il s'agit d'un exploitant qui n'est pas convaincu de l'intérêt du mécanisme de la compensation carbone pour sa ferme.

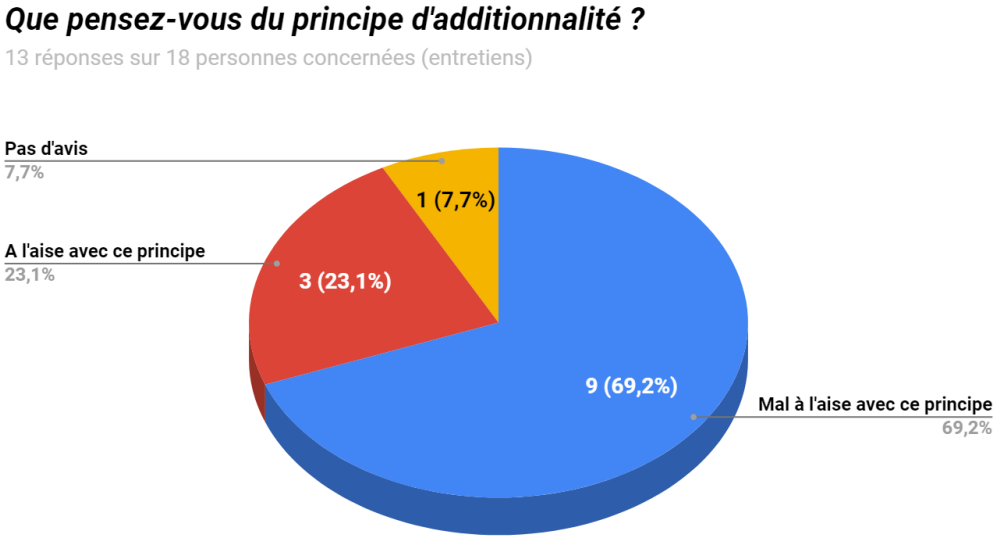


Figure 55 : Ressenti des agriculteurs interrogés quant au principe d'additionnalité

(5) Prêt à changer de pratiques ?

Les agriculteurs interrogés dans le cadre de l'étude sont tous prêts à faire évoluer certaines de leurs pratiques dans le cadre du mécanisme de la compensation carbone, à une exception près (Figure 56).

L'agriculteur ayant exprimé un avis mitigé explique avoir besoin d'autonomie et préférer ne pas dépendre d'un mécanisme.

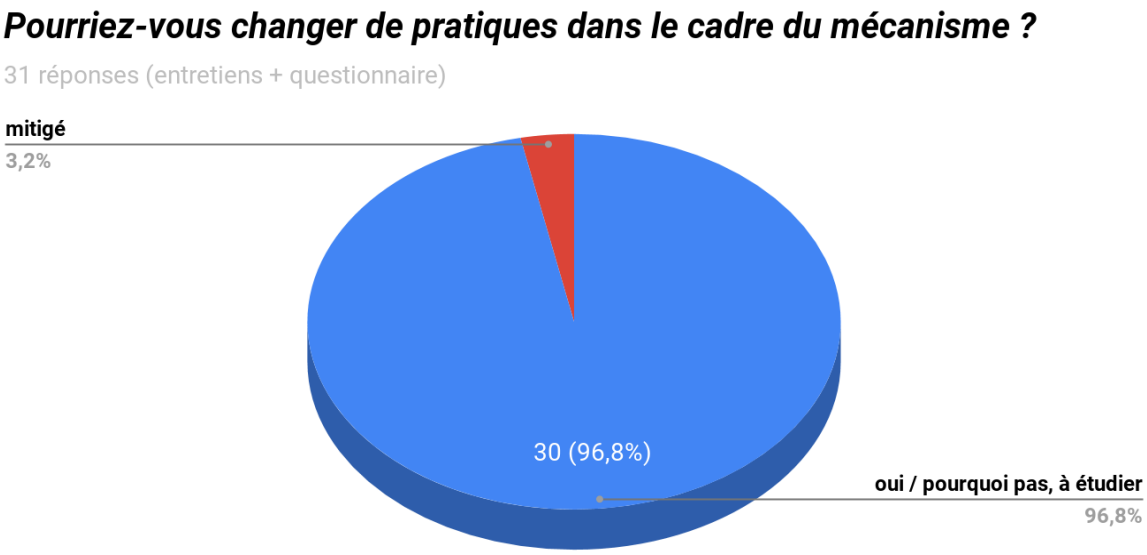


Figure 56 : Disposition des agriculteurs à changer de pratiques dans le cadre de la compensation carbone

La suite de l'enquête vise à passer en revu les pratiques identifiées dans le cadre de l'étude technique menée par l'INRA, ainsi que l'implantation de haies et d'identifier l'intérêt des agriculteurs interrogés pour ces pratiques et potentiels blocages.

h) Potentiel pour des changements de pratiques

Les avis qu'ont pu donner les agriculteurs concernant les pratiques ci-dessous ont été regroupés en plusieurs catégories :

- "Déjà en place" : pratique qu'ils utilisent déjà
- "Oui /pourquoi pas, à étudier" : pratique qu'ils pourraient envisager si cela ne les met pas en difficulté par ailleurs
- "Réponse nuancée" associée soit au symbole "+" ou au symbole "-" : Ont été mises dans cette catégorie les réponses nuancées qui tendaient selon les cas plutôt vers un intérêt ou un désintérêt. Par moment la différence entre "réponse nuancée positive ou "négative" pouvait être très légère. Le choix a donc pu être subjectif sans que cela n'impacte significativement le résultat.
- "Non" : pratique qu'ils ne mettront pas en place
- "Pas d'avis"
- "Pas concerné"

Il à noter que l'ensemble des pratiques agricoles n'ont pas pu être abordées avec tous les agriculteurs rencontrés. En effet, dans le cadre de l'entretien semi-directif, selon la disponibilité et le temps accordé par les exploitants, et selon la tournure des échanges, certaines questions n'ont pas été posées en vue de conserver une fluidité dans l'échange.

(1) Retours des agriculteurs sur les pratiques envisagées dans le cadre de l'étude

(a) Couverts végétaux (hors CIPAN)

Tableau 9 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur la mise en place de couverts végétaux (hors CIPAN) selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionnelle	10	100%
Agriculture de conservation	7	100%
Agriculture biologique	10	71%
TOTAL Agriculteurs	27	87%

Les couverts végétaux (hors CIPAN[7]) sont par définition déjà en place dans les exploitations pratiquant l'agriculture de conservation (Figure 57). C'est une pratique répandue dans les exploitations bio enquêtées (70% d'entre elles), qui intéresse également celles qui ne l'ont pas encore mise en place.

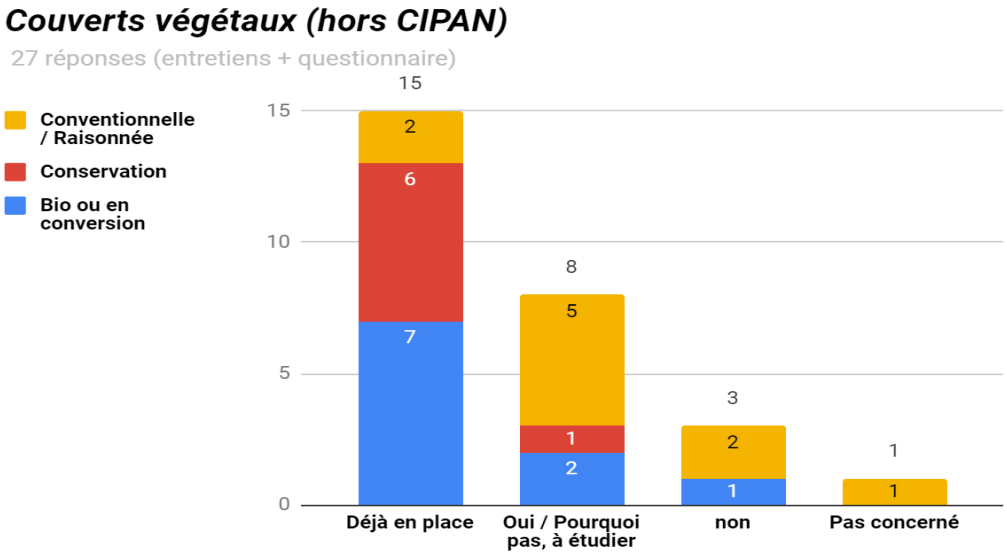


Figure 57 : Opinion des agriculteurs en fonction du type d'agriculture pratiquée

50% des agriculteurs pratiquant une agriculture conventionnelle ou raisonnée présentent un intérêt pour cette pratique, et deux d'entre eux l'ont déjà mise en œuvre sur leurs exploitations.

[7] CIPAN : Culture Intermédiaire Piège A Nitrates

Parmi les freins à la mise en place de couverts végétaux figure notamment l'incompatibilité de la pratique avec les conditions de production de l'exploitation, comme par exemple un agriculteur du Plateau de Vernouillet qui craint que les couverts ne lèvent pas sur ses sols très sableux. Au total, 85% des agriculteurs ayant répondu ont déjà mis en place cette pratique ou pourraient la mettre en place (Figure 58).

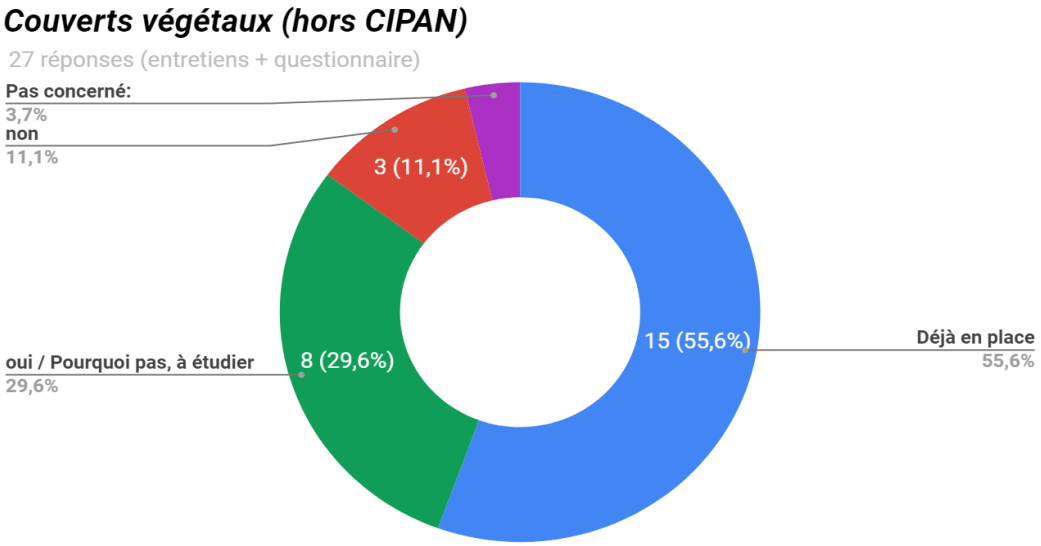


Figure 87 : Opinion des agriculteurs interrogés concernant la mise en place de couverts végétaux (hors CIPAN)

(b) Légumineuses

Tableau 10 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur la culture de légumineuses selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionelle	12	86%
Agriculture de conservation	7	100%
Agriculture biologique	8	80%
TOTAL Agriculteurs	27	87%

Comme pour les couverts végétaux, les légumineuses sont essentiellement mises en place dans les exploitations pratiquant l'agriculture biologique ou de conservation (15/17 exploitants pratiquant l'agriculture biologique ou de conservation). De plus, 58% des agriculteurs

interrogés pratiquant une agriculture raisonnée ou conventionnelle pourraient être intéressés pour intégrer des légumineuses dans leurs rotations. (Figure 59).

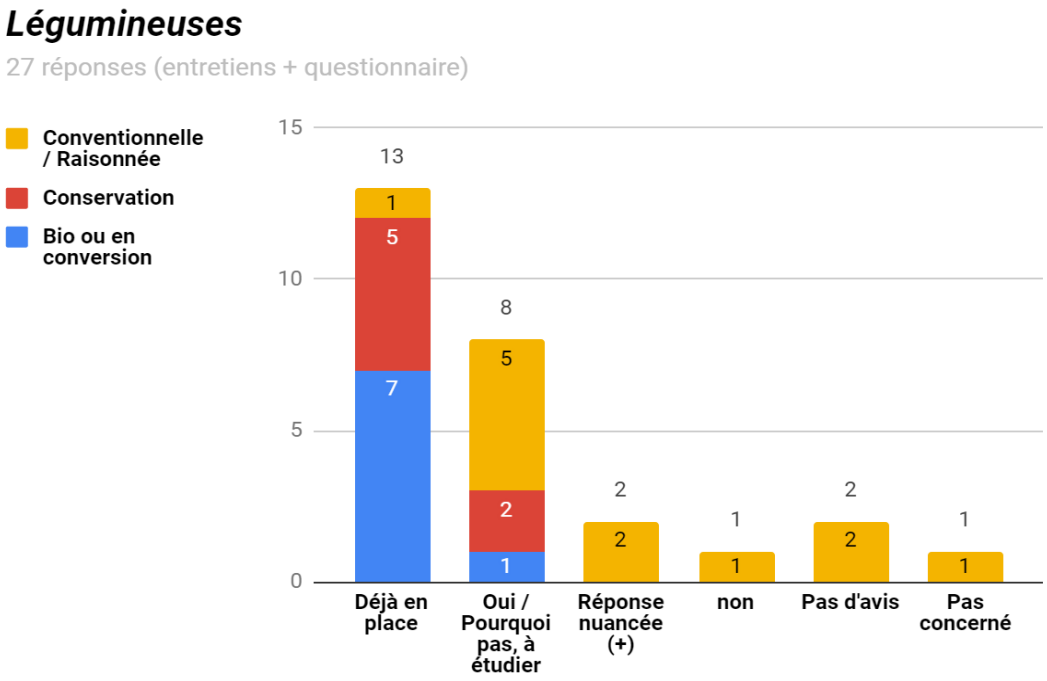


Figure 59 : Opinion des agriculteurs interrogés sur la culture des légumineuses en fonction des types d'agriculture

Plusieurs points de blocage ont été relevés pour le déploiement de cette pratique.
Des agriculteurs ont mentionné le manque de débouchés, cette filière n'étant pas très développée en Ile-de-France. Un groupe de travail d'agriculteurs animé par l'APPVPA réfléchit d'ailleurs actuellement au développement d'une filière locale.

La question des rendements, trop aléatoires, est également posée. L'aide financière que pourrait apporter un mécanisme de compensation serait donc intéressante pour soutenir la culture de légumineuses.

Enfin, plusieurs agriculteurs interrogés ont fait part de destructions de cultures de légumineuses par les oiseaux (pigeons, corneilles, etc) (figure 60). Plusieurs ont fait le choix d'abandonner certaines légumineuses, le pois essentiellement, à cause des problèmes causés par ces ravageurs. Certains agriculteurs interrogés se sont dits prêts à envisager cette culture si leurs pertes étaient compensées par le mécanisme de la compensation carbone. Au contraire, d'autres n'approuvent pas l'idée de mettre en place une culture dont une grande partie vise à nourrir les oiseaux (pigeons, corneilles, etc). *"Nous n'allons pas cultiver des pois et toucher des primes pour nourrir les oiseaux (pigeons, corneilles, etc) de Paris."*

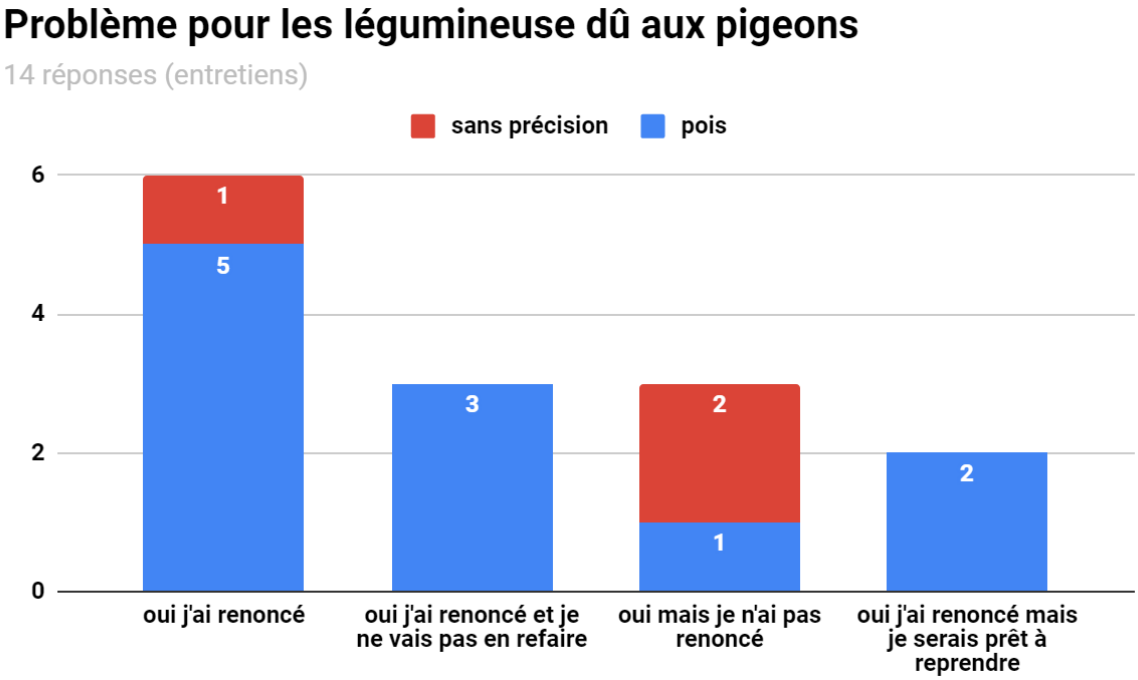


Figure 60 : Impact des oiseaux (pigeons, corneilles, etc) sur la culture de légumineuse et la volonté d'en cultiver

En quelques chiffres, la culture de légumineuses est une pratique bien acceptée des agriculteurs ayant répondu :

- 48 % d'entre eux la mettent déjà en place
- 29% des agriculteurs ayant répondu sont intéressés
- 4% ne veulent pas mettre en place cette pratique (Figure 61)

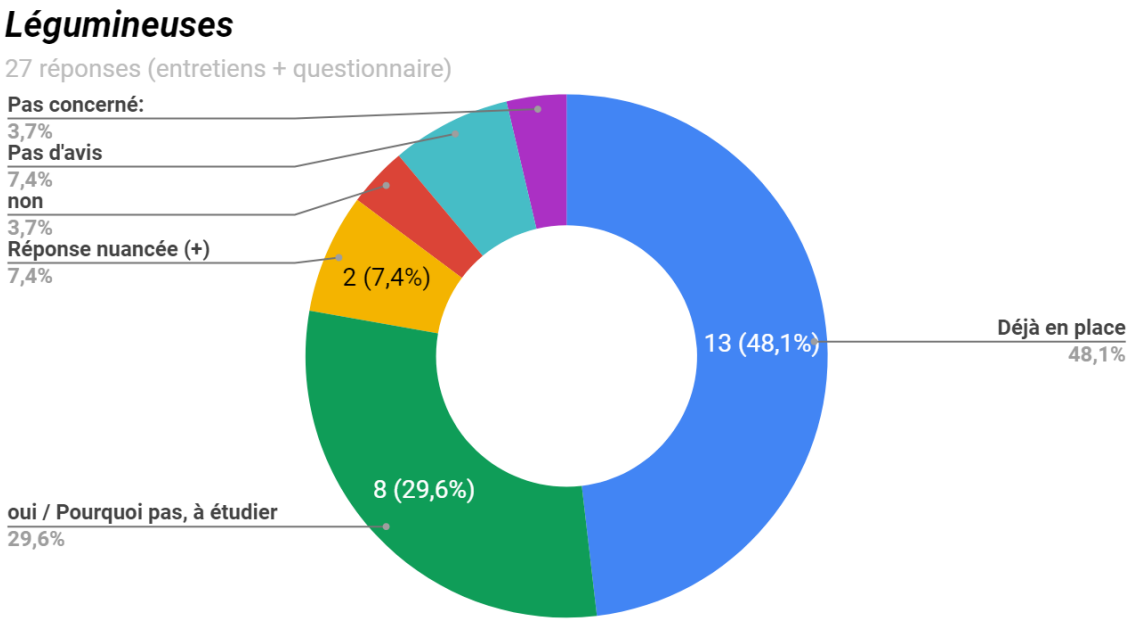


Figure 61 : Opinion des agriculteurs interrogés concernant la culture de légumineuses

(c) Plantation de haies / Agroforesterie intra-parcellaire

Plantation de haies

Presque l'ensemble des agriculteurs se sont prononcés sur la plantation de haies.

Tableau 11 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur la plantation de haies selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionelle	13	93%
Agriculture de conservation	7	100%
Agriculture biologique	10	100%
TOTAL agriculteurs	30	97%

La plantation de haies est une pratique qui est déjà mise en place ou qui pourrait être envisagée par 80% des agriculteurs ayant répondu. Les réponses ne semblent pas dépendre des différents modes de production (Figure 62).

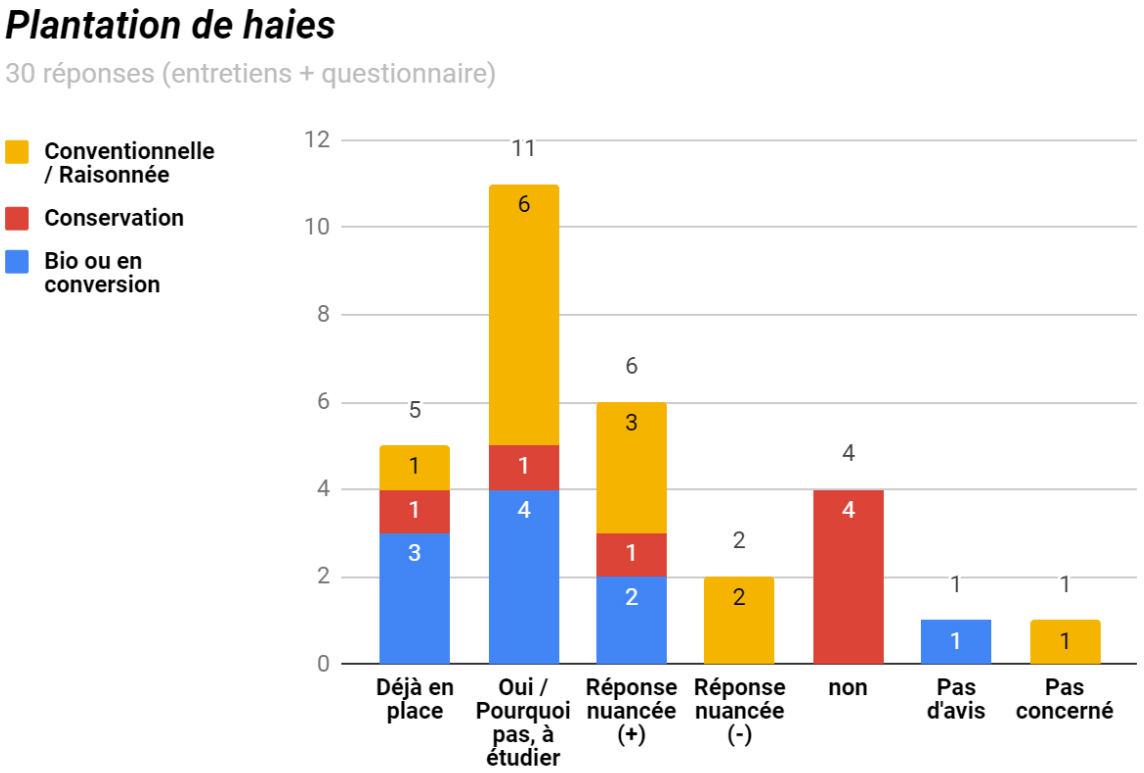


Figure 62 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant la plantation de haies en fonction des différents modes de culture

Différentes interrogations ont été exprimées concernant la mise en œuvre de cette pratique. La principale concerne l'entretien des haies qui peut impliquer l'achat de matériel ainsi qu'un temps de travail supplémentaire, mais aussi des difficultés de circulation pour des machines agricoles. *"Le problème des haies c'est l'entretien une ou deux fois par an. Qui dit taille, dit temps, et un investissement pour du matériel, etc."*

Une deuxième interrogation concerne le caractère irréversible ou non de la plantation de haies sur le plan réglementaire. Cet élément peut être un point de blocage important pour les agriculteurs : *"Comme le matériel et les parcelles évoluent […] il serait mieux que l'agriculteur puisse l'enlever pour faciliter son travail et qu'il la compense d'une autre manière, en la plantant 20 mètres plus loin par exemple, pour qu'il ne le fasse pas de manière cachée et qu'il ne craigne pas d'implanter des haies […]" C'est ce côté potentiellement irréversible qui peut être décourageant pour les agriculteurs".*

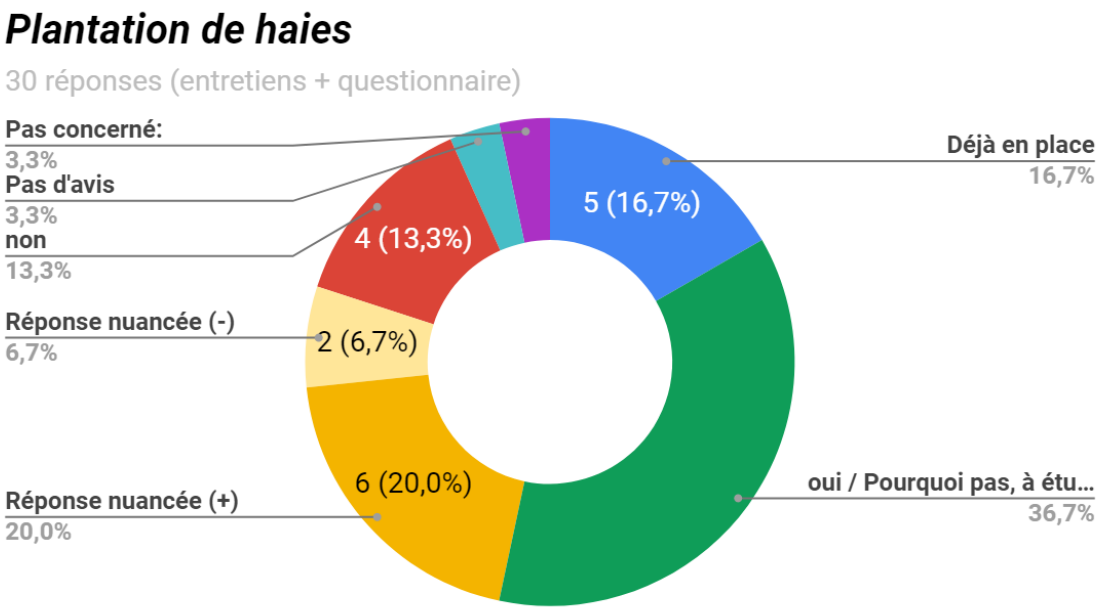


Figure 63 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant la plantation de haies

Parmi les réponses mitigées, seul un agriculteur a exprimé un doute sur l'intérêt agronomique des système arborés.

En résumé, la plantation de haies est une pratique bien acceptée mais les agriculteurs attendent des réponses claires sur l'entretien et sur leur liberté de faire évoluer ces systèmes.

En quelques chiffres, la plantation de haies est une pratique plus nuancée en termes d'opinion des agriculteurs ayant répondu :

- 16 % d'entre eux la mettent déjà en place
- 37 % des agriculteurs ayant répondu sont intéressés
- 13 % ne veulent pas mettre en place cette pratique (Figure 63)

Agroforesterie intra-parcellaire

Sur les 31 agriculteurs ayant été interrogés dans le cadre de cette étude, 24 se sont prononcés sur l'agroforesterie intra-parcellaire (tableau 12).

Tableau 12 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur l'agroforesterie intra-parcellaire selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionnelle	12	86%
Agriculture de conservation	3	43%
Agriculture biologique	9	90%
TOTAL agriculteurs	24	77%

29,6% des agriculteurs ayant répondu pourraient envisager l'implantation de systèmes d'agroforesterie intraparcellaire. Symétriquement, le même pourcentage d'agriculteur ne peut pas l'envisager. Les agriculteurs biologiques interrogés ont manifesté davantage d'intérêt pour l'agroforesterie parcellaire que les autres (Figure 64).

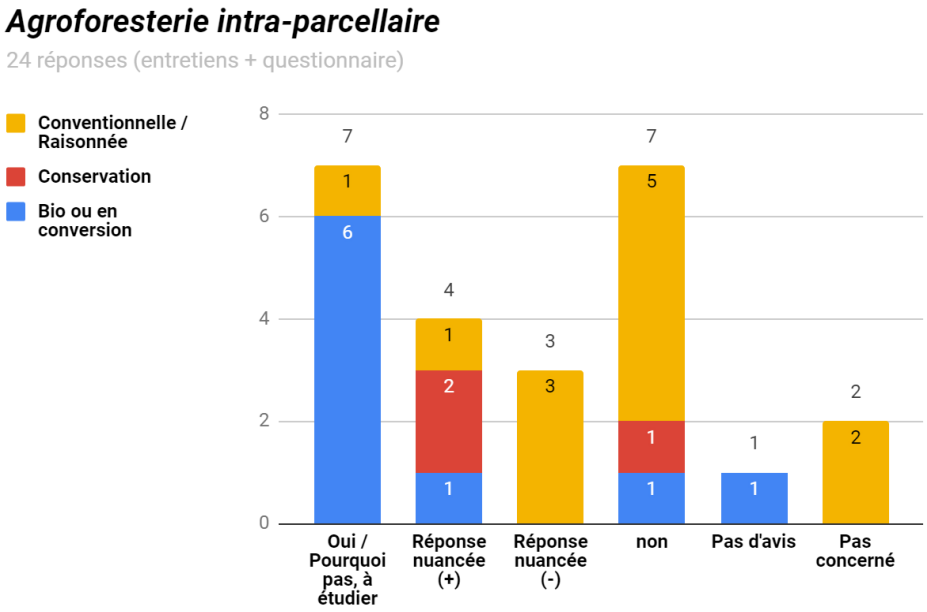


Figure 64 : Opinion des agriculteurs interrogés concernant l'agroforesterie intra-parcellaire en fonction des différents modes de culture

De nombreux freins ont été relevés :

- L'intérêt agronomique est questionné
- La compétition hydrique des arbres avec les cultures
- La problématique de l'ombrage et de l'impact sur les rendements
- La complexité du système et des modifications à apporter dans l'organisation du travail
- Le besoin en outillage spécifique
- La gestion des arbres
- L'adaptation de l'agroforesterie au parcellaire existant quand les îlots sont considérés comme petits

Parmi les nuances apportées, figurent également la question de la rentabilité et l'importance de garder des bonnes conditions de travail.
La plantation de haies est donc globalement plus acceptée et envisagée que la plantation d'arbres au sein d'une parcelle auprès des agriculteurs interrogés.

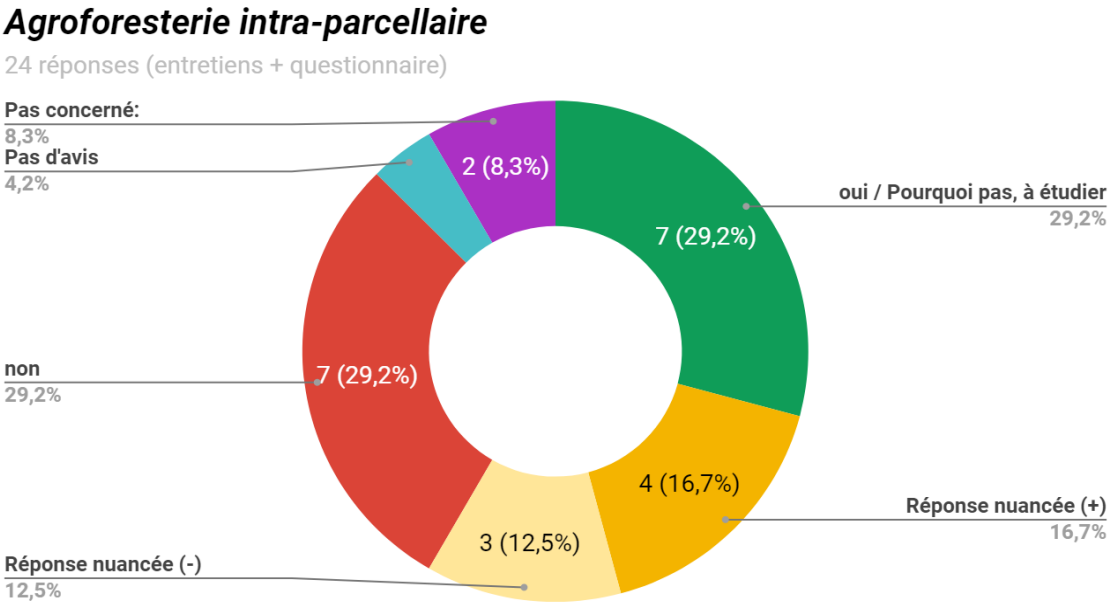


Figure 65 : Opinion des agriculteurs interrogés concernant l'agroforesterie intra-parcellaire

(d) Intégration de bandes enherbées inter-parcellaire

La moitié des agriculteurs ayant été interrogés dans le cadre de cette étude, se sont prononcés sur l'intégration de bandes enherbées inter-parcellaire (tableau 13).

Tableau 13 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur l'intégration de bandes enherbées inter-parcellaire selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionelle	8	57%
Agriculture de conservation	3	43%
Agriculture biologique	4	40%
TOTAL agriculteurs	15	48%

Cette pratique a déjà été mise en place par 40% des agriculteurs interrogés et pourrait être envisagée par 20% d'entre eux. (Figure 66).

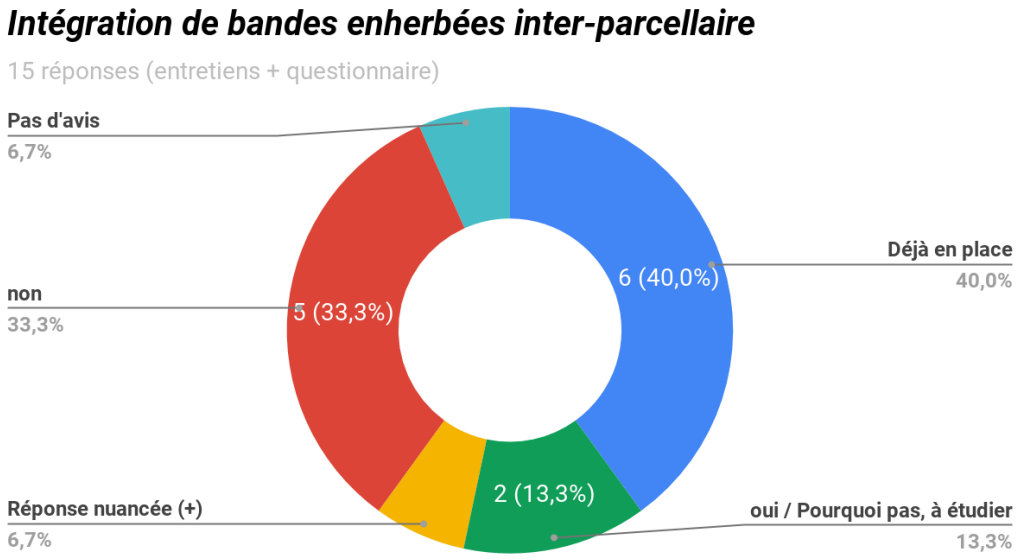


Figure 66 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant l'intégration de bandes enherbées inter-parcellaire

Certains exploitants ont aussi précisé que la mise en place de cette pratique pouvait entraîner de nombreuses difficultés liées au passage que cela induirait (chiens, promeneurs, motos, etc...) et aux risques en termes de dépôts sauvages de déchets. Un usage inapproprié des

bandes enherbées nuirait aux objectifs de développement de la biodiversité et au bon développement de la biomasse.

La question de la réduction de rendement est également posée.
Comme le précise la partie technique de la contribution de Levavasseur, INRA, l'intégration de bandes enherbées inter-parcellaire ne pourrait être additionnable que dans le cadre de fonctionnalités anti-érosives et/ou à destination de la biodiversité. Dans le cas contraire,"si l'enherbement n'est réalisé qu'à des fins de compensation carbone, il conviendrait de considérer la perte de production et le report potentiel de cette production dans le bilan GES, vu que cette perte n'aurait pas eu lieu autrement." Les risques liés à une utilisation "sauvage" des bandes enherbées soulignés par les agriculteurs sont donc à prendre en compte.

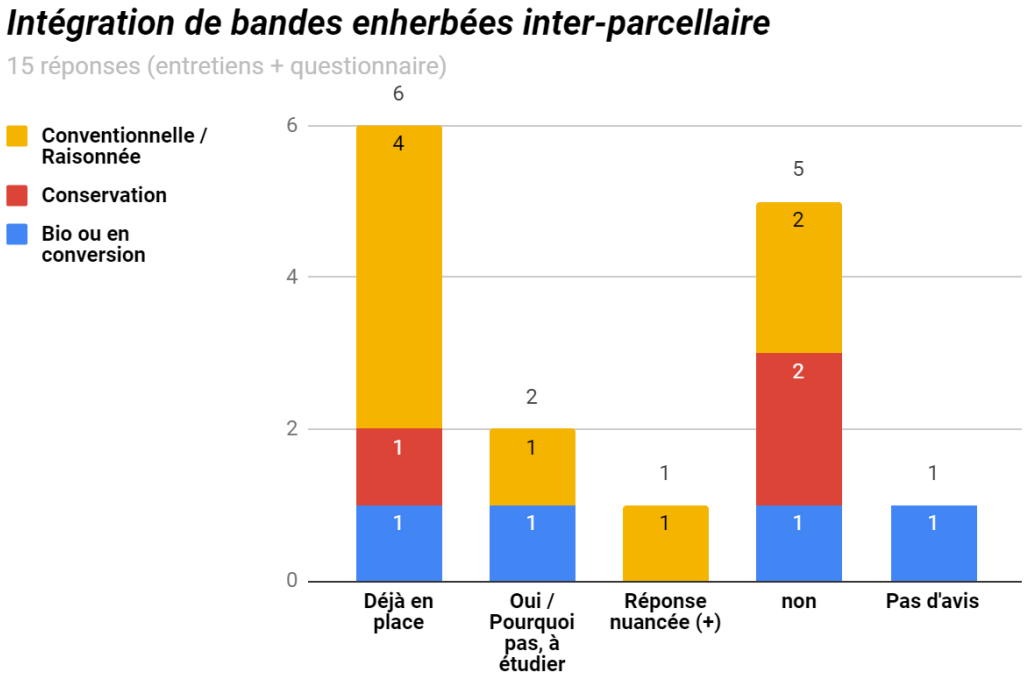


Figure 67 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant l'intégration de bandes enherbées inter-parcellaire en fonction des différents modes de culture

En quelques chiffres, la plantation de haies est une pratique nuancée en termes d'opinion parmi les agriculteurs ayant répondu :

- 40 % d'entre eux la mettent déjà en place
- 20 % des agriculteurs ayant répondu sont intéressés
- 33 % ne veulent pas mettre en place cette pratique (Figure 66)

(e) Utilisation de la matière organique

La moitié des agriculteurs ayant été interrogés dans le cadre de cette étude, se sont prononcés sur l'utilisation de matière organique (tableau 14).

Tableau 14 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur l'utilisation de matière organique selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionelle	4	29%
Agriculture de conservation	5	71%
Agriculture biologique	7	70%
TOTAL Agriculteurs	16	52%

Cette pratique a déjà été mise en place par 44% des agriculteurs ayant répondu et 38% des agriculteurs ayant répondu à ces questions serait potentiellement intéressés. L'utilisation de matière organique est une pratique bien acceptée parmi les agriculteurs interrogés quel que soit le type d'agriculture pratiquée (Figure 68).

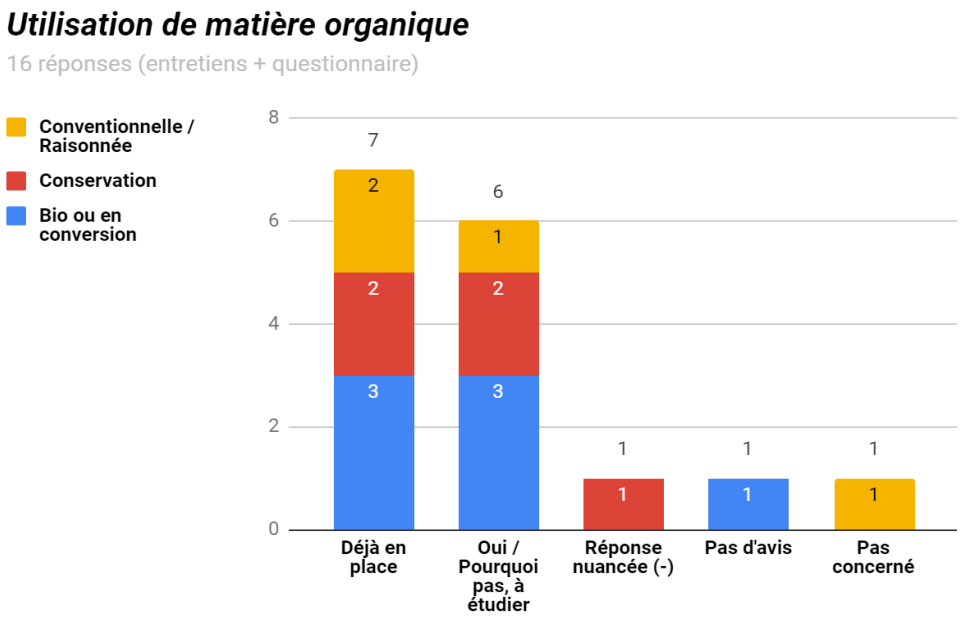


Figure 68 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant l'utilisation de matière organique en fonction des différents modes de culture

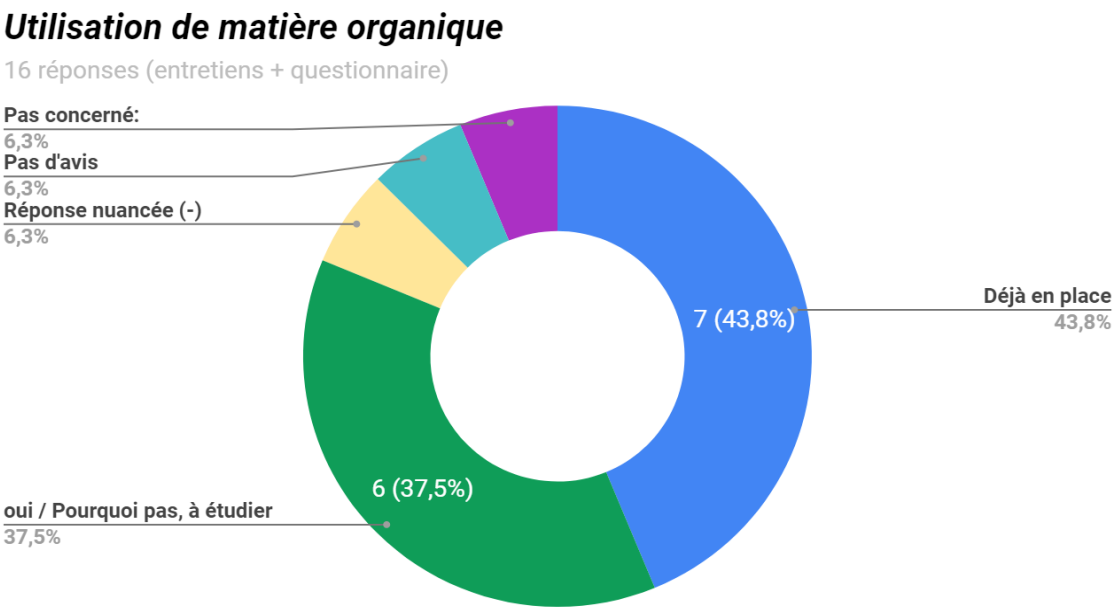


Figure 69 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant l'utilisation de matière organique

En quelques chiffres : l'utilisation de la matière organique est une pratique plébiscitée par les agriculteurs ayant répondu :

- 44 % d'entre eux la mettent déjà en place
- 38 % des agriculteurs ayant répondu sont intéressés (Figure 68)

(f) Epandage d'urine

Presque l'ensemble des agriculteurs ayant été interrogés dans le cadre de cette étude, se sont prononcés sur l'épandage d'urine (tableau 15).

Tableau 15 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur l'épandage d'urine selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionelle	14	100%
Agriculture de conservation	6	86%
Agriculture biologique	10	100%
TOTAL Agriculteurs	30	77%

L'épandage d'urine humaine a suscité de nombreuses interrogations pendant les entretiens. S'ils sont peu à désapprouver cette pratique (10%) (Figure 70), la plupart ne pourrait pas l'envisager sans certaines garanties quant à la qualité.

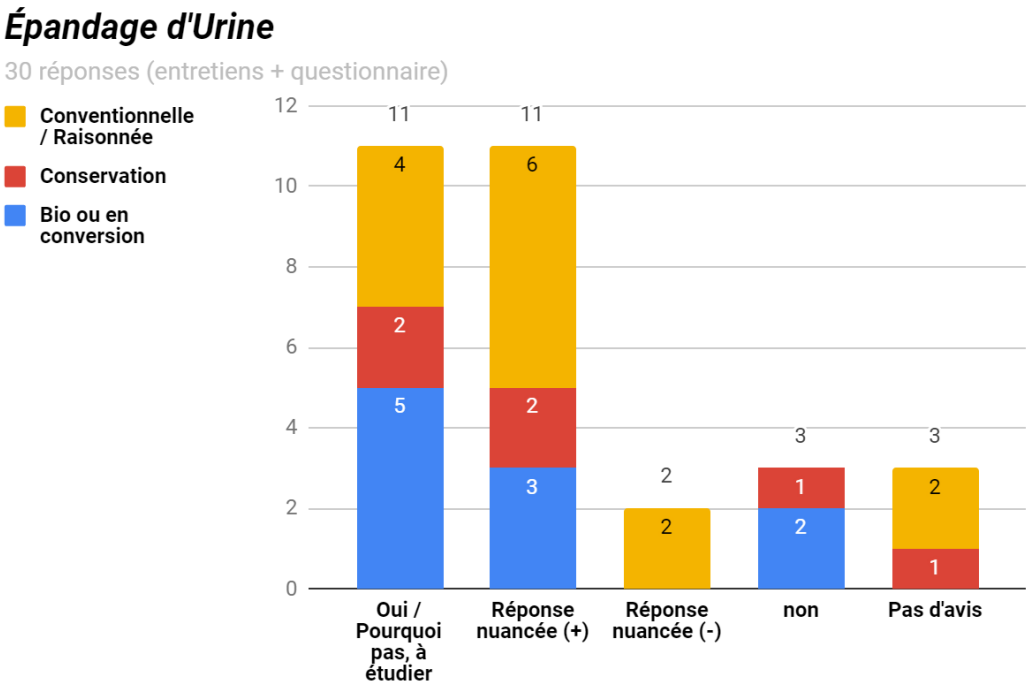


Figure 70 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant l'épandage d'urine en fonction des différents modes de culture

Les points de blocage identifiés sont essentiellement liés à la présence potentielle de substances dans sa composition, à savoir la présence d'antibiotiques ou d'hormones qui pourraient contaminer les sols. Les agriculteurs biologiques ne sont donc pas certains qu'ils soient autorisés à en épandre.
Dans tous les cas il est primordial pour les agriculteurs que cet aspect soit bien étudié : "Il ne faut pas que l'on pollue un sol. Ça peut être intéressant mais il faut que ce soit validé scientifiquement.", "Il faudrait que ce soit un produit normalisé."

D'autres freins sont soulevés :

- Nuisances liées aux odeurs par exemple.
- Impact sur l'acidité du sol
- Nécessité d'une logistique ou d'équipements spécifiques.

Malgré ces inquiétudes, 80% des agriculteurs ayant répondu pourraient envisager d'épandre de l'urine humaine s'ils avaient des garantis de qualité.

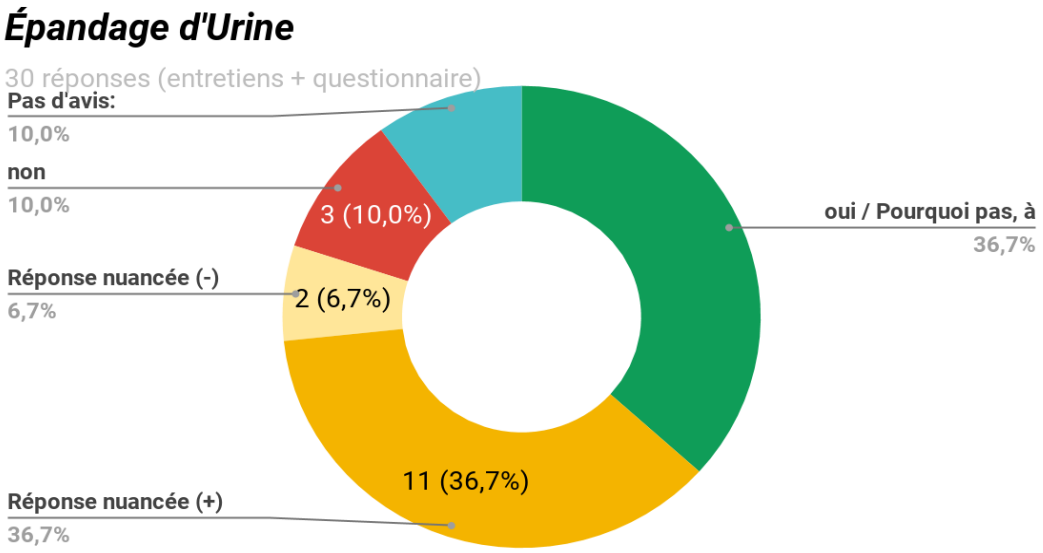


Figure 71 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant l'épandage d'urine

En quelques chiffres, l'épandage d'urine est une pratique à fort potentiel parmi les agriculteurs ayant répondu :

- 37 % seraient intéressés pour mettre en place cette pratique
- 37 % des agriculteurs ayant répondu sont nuancés mais ont un avis plutôt favorable
- 10 % ne veulent pas mettre en place cette pratique (Figure 71)

(g) Projet de méthaniseur

Un très faible nombre des agriculteurs ayant été interrogés dans le cadre de cette étude, se sont prononcés sur un projet de méthaniseur (tableau 16).

Tableau 16 : Nombre et part des agriculteurs s'étant prononcés sur les projets de méthaniseur selon leur mode de production agricole

Mode de production agricole	Nombre d'agriculteurs s'étant prononcé sur cette pratique	Part des agriculteurs interrogés s'étant prononcé sur cette pratique
Agriculture raisonnée ou conventionnelle	5	36%
Agriculture de conservation	3	43%
Agriculture biologique	3	30%
TOTAL Agriculteurs	11	35%

Les agriculteurs n'ont pas été beaucoup interrogés sur leur intérêt pour un projet de méthaniseur. Il est donc difficile de ressortir une quelconque tendance parmi ces quelques

réponses. Aussi la plupart d'entre eux ne se sentent pas concernés ou n'ont pas d'avis sur le sujet.
Malgré tout, sur les 11 agriculteurs interrogés, un peu plus d'un quart trouve l'idée intéressante.

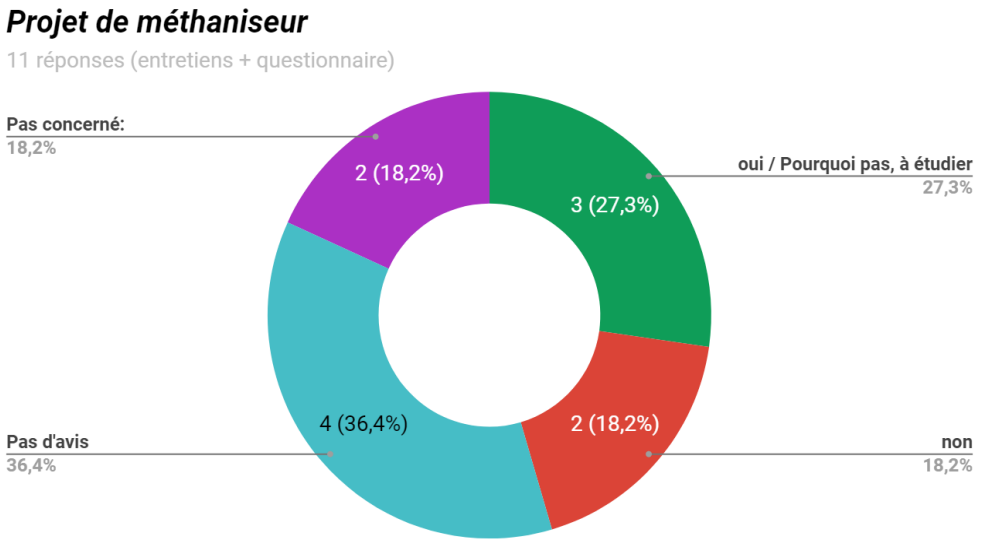


Figure 72 : Opinion des agriculteurs interrogés concernant le projet méthaniseur

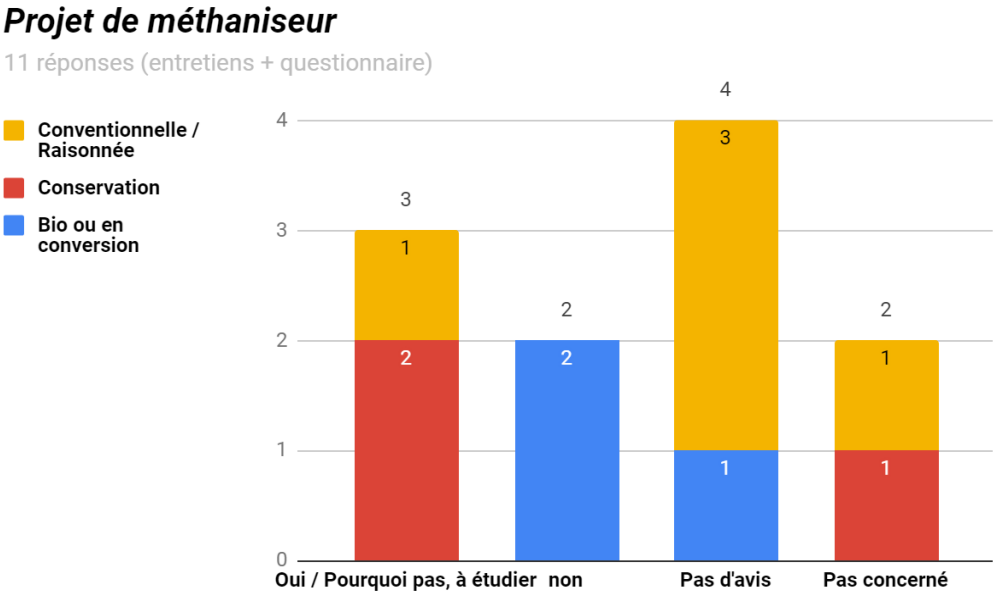


Figure 73 : Opinion des agriculteurs ayant répondu concernant le projet de méthanisation en fonction des différents modes de culture

En quelques chiffres, un projet de méthaniseur est parmi les agriculteurs ayant répondu :

- 27 % seraient intéressés un projet de ce type
- 18 % ne sont pas intéressés par ce projet (Figure 73)

(2) Durée réaliste de mise en place

Le mécanisme mis en place dans le cadre du label bas carbone nécessite un engagement de changement de pratique sur une longue durée pour plusieurs d'entre elles.
En effet, par exemple comme le montre l'étude INRA dans la partie technique (2.3.4.) , les pratiques de stockages de carbone dans les sols, comme la mise en place de couverts végétaux, nécessite un renouvellement régulier. En effet, il existe un déstockage qui réduit très considérablement le carbone stocké, et qui est proche de zéro après 50 ans.

18 agriculteurs sur les 24 ayant participé aux entretiens se sont prononcés sur les possibilités pour eux de s'engager dans la mise en place de pratiques agricoles de stockage ou de mitigation dans la durée. Deux d'entre eux n'ont pas pu donner un avis, l'un étant en fin de carrière, et l'autre venant de démarrer son activité.

Pour certains (4/18), la durée d'engagement dépendra de la pratique mise en place. Il est possible de retrouver à travers cette réponse un des freins identifiés précédemment, à savoir l'inquiétude de perdre une certaine liberté d'action.

44,4% des agriculteurs interrogés envisagent un engagement sur du long terme.

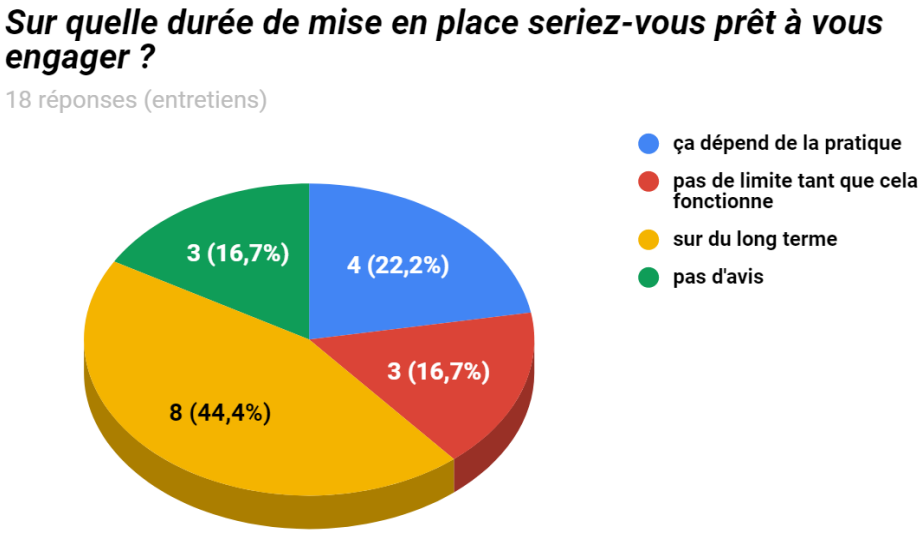


Figure 74 : Opinion des agriculteurs interrogés concernant la durée potentielle de leur engagement

En conclusion, les exploitants interrogés ont globalement une vision à long terme, mais la durée d'engagement peut varier en fonction de la pratique, et de son bon fonctionnement.

(3) Etes-vous intéressé par le devenir du mécanisme et à l'idée de proposer un projet le cas échéant ?

A la fin des entretiens, et après tous les éléments de connaissance amenés au sujet du label Bas Carbone, la plupart des agriculteurs ont confirmé qu'ils étaient intéressés par le mécanisme de la compensation carbone et à l'idée de proposer des projets quand cela serait possible.

Figure 75 : Opinion des agriculteurs interrogés concernant leur engagement possible dans un projet de compensation carbone

i) Conclusion

Avant le lancement des entretiens, des hypothèses avaient été formulées sur les facteurs d'influence s'exerçant sur le positionnement des agriculteurs enquêtés.
Il avait été fait l'hypothèse que l'intérêt des agriculteurs pour une démarche de compensation dépendrait :

- de leur niveau d'information sur le changement climatique, et sur l'impact de l'agriculture ;
- de leur représentation du rôle de l'agriculture dans la société ;
- de leur connaissance de la dynamique du territoire vis à vis des questions du carbone ;
- de leur bonne compréhension du fonctionnement de la compensation carbone, et de la représentation qu'ils se font de ce mécanisme ;
- de la dynamique déjà en place de faire évoluer les pratiques au sein de l'exploitation.

Les enquêtes n'ont pas toujours pu donner suffisamment d'éléments pour confirmer ou infirmer certaines hypothèses.

Ainsi par exemple, les questionnaires n'ont pas été conçu pour avoir une lecture complète du rôle que les agriculteurs interrogés donnent à l'agriculture dans la société.

Mais il a été clairement identifié que les agriculteurs de l'enquête, a minima en tant que citoyens, pensent pour la plupart avoir un rôle à jouer face au changement climatique. Cette question n'est pas pour eux nécessairement en corrélation avec l'échelle territoriale. Bien qu'ils soient nombreux à avoir un sentiment d'appartenance territoriale, ils associent en effet le changement climatique à un enjeu mondial dont ils témoignent des impacts négatifs sur leur activité, et ils sont prêts à mener une réflexion sur leurs pratiques.

Les exploitants interrogés n'ont cependant pas fait le lien entre les PCAET mis en place par leur collectivité, et leur potentiel d'action. Il existe donc une marge d'action sur ce terrain, notamment a minima sur une communication entre les objectifs fixés par les intercommunalités dans leur PCAET, et les projets de changements de pratiques envisagés par les exploitations.

La méthodologie s'appuie sur des entretiens réalisés sur la base du volontariat. Il a été observé que dans certains cas, le manque de connaissance sur la compensation carbone a pu nuire à l'obtention de rendez-vous. De plus, les agriculteurs qui se sentaient le moins concernés n'ont pas souhaité participer à l'étude.

L'hypothèse selon laquelle le niveau d'information des agriculteurs impacte leur motivation pour des mécanismes tels que la compensation carbone est donc certainement vraie, mais n'est pas suffisante. En effet, plusieurs agriculteurs ont pu témoigner de l'inconfort produit par le regard que porte la société sur leurs activités souvent considérées comme polluantes. Ce facteur peut également avoir nuit à la prise de rendez-vous et à l'image de la compensation carbone.

Plusieurs freins ont été identifiés, et notamment la crainte de mécanisme complexes, et chronophage pour une compensation financière non significative. Ce paramètre serait à prendre en compte dans la réflexion à mener sur une gouvernance adaptée aux territoires de l'étude pour la mise en œuvre d'une organisation permettant l'émergence et l'accompagnement de porteurs de projets.
Les agriculteurs interrogés, ont pour la plupart déjà mis en œuvre certaines actions possédant un potentiel de stockage de carbone ou d'atténuation des émissions. Ils ont témoigné leur désaccord avec une application du principe d'additionnalité qui ne leur permettrait pas de valoriser les efforts qu'ils ont mené en tant que précurseurs de certaines pratiques. C'est notamment le cas de plusieurs exploitants investis en agriculture de conservation.

L'ensemble des opinions des agriculteurs et des freins identifiés concernant les pratiques de compensation carbone étudiées ci-dessus ont été synthétisées dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Synthèse de l'avis des agriculteurs concernant les pratiques envisagées dans le cadre de la compensation carbone

	Intérêt des agriculteurs pour la pratique
Couverts végétaux (hors CIPAN)	85% des agriculteurs ayant répondu ont déjà mis en place cette pratique ou sont intéressés pour le faire. Les 15% restants s'expliquent en partie par une incompatibilité de la pratique.
Légumineuses	Cette pratique est mise en place dans 92% des exploitations en agriculture biologique et de conservation. 58% des agriculteurs ayant répondu pratiquant une agriculture raisonnée pourraient être intéressés pour intégrer des légumineuses dans leur rotation. Les points de blocage identifiés sont : • le manque de débouchés • la dimension aléatoire des rendements • la destruction de ces cultures occasionnée par les oiseaux (oiseaux (pigeons, corneilles, etc), corneilles, etc)
Plantation de haies	La plantation de haies est une pratique déjà en place ou qui pourrait être envisagée pour 80% des agriculteurs interrogés quel que soit le mode de production de l'exploitation. Les réserves concernant la mise en place de cette pratique sont principalement le travail d'entretien mais également la liberté de l'agriculteur de faire évoluer ces systèmes.
Agroforesterie intra-parcellaire	Parmi les agriculteurs ayant répondu, 29,6% pourraient envisager l'implantation de systèmes d'agroforesterie intra-parcellaire et le même pourcentage ne pourrait pas l'envisager. De nombreux freins ont été relevés concernant l'agroforesterie intra-parcellaire : • L'intérêt agronomique est questionné • La compétition hydrique des arbres avec les cultures • La problématique de l'ombrage et de l'impact sur les rendements • La complexité du système et des modifications à apporter dans l'organisation du travail • Le besoin en outillage spécifique • La gestion des arbres • L'adaptation de l'agroforesterie au parcellaire existant quand les îlots sont considérés comme petits
Intégration de bandes enherbées inter-parcellaire	Cette pratique a déjà été mise en place par 40% des agriculteurs ayant répondu et pourrait être envisagée par 20% d'entre eux. Les difficultés apportées par cette pratique sont : • l'utilisation des bandes comme espace de passage non désirés • la réduction des rendements • l'additionnalité qui n'existe que dans le cadre de fonctionnalités anti-érosives et/ou à destination de la biodiversité
Utilisation de matière organique	81% des agriculteurs ayant répondu utilisent déjà de la matière organique ou seraient prêt à en utiliser dans le futur (75% des agriculteurs s'étant prononcés sont en agriculture biologique ou de conservation). L'utilisation de matière organique est une pratique bien acceptée parmi les agriculteurs interrogés quel que soit le type d'agriculture pratiqué.

Epandage d'urine	10% des agriculteurs répondu désapprouvent cette pratique mais 80% pourraient envisager d'épandre de l'urine humaine si leurs préoccupations étaient prises en compte. Ce sont principalement : ● la composition de l'urine et les substances qui la composent, ● la présence d'antibiotiques ou d'hormones qui pourraient contaminer les sols. Mais également : ● les nuisances liées aux odeurs par exemple. ● l'impact sur l'acidité du sol ● la nécessité d'une logistique ou d'équipement spécifiques. Les agriculteurs biologiques ne sont pas certains d'être autorisés à en épandre.
Projet de méthaniseur	La majorité des agriculteurs ne se sent pas concernée ou n'a pas d'avis sur le sujet. Cependant, sur les 11 agriculteurs ayant répondu, un peu plus d'un quart trouve l'idée intéressante.

IV. PARTIE 4 : CONCLUSION SUR LE POTENTIEL D'UNE DÉMARCHE TERRITORIALE

A. Réflexions sur le déploiement d'une méthodologie territoriale

Au début de l'étude, la visibilité sur le déploiement des méthodologies construites dans le cadre du Label Bas Carbone était réduite. Il avait alors été constaté que les pratiques agricoles sélectionnées dans le cadre de l'étude ne faisaient alors pas toutes l'objet de projets de rédaction de méthodologies de calcul dans le cadre du label Bas Carbone. De plus, au regard des spécificités de chaque exploitation, il a semblé intéressant d'envisager des projets à échelle territoriale, incluant seulement quelques exploitations de profil proche. La question de l'intérêt de développer une méthodologie territoriale pour les territoires agri-urbains franciliens s'est posée.

Plusieurs limites ont été identifiées :

- Si les territoires agri-urbains se retrouvent sur les grands enjeux qui conditionnent leur développement, on a pu constater dans le cadre de l'étude INRA, qu'ils n'ont pas des sols homogènes. En effet, deux types de sols se démarquent sur le périmètre de l'étude : les "luvisols décarbonatés, profonds sont assez majoritaires, de 40-50 % (plaine de Versailles et Seine Aval) à plus de 80 % (Cœur d'Essonne et plateau de Saclay)" et les "calcosols plus ou moins profonds et calcaires"[8]. "Ces deux types de sol ont des potentiels agronomiques différents, globalement plus élevés pour les luvisols. Ils ont aussi des comportements différents d'un point de vue stockage de carbone"[9]. A ce titre une approche de modélisation agronomique commune n'est pas réaliste.

- L'étude INRA présentée dans ce rapport a étudié un ensemble de pratiques et évalué leurs potentiels de compensation. Il en résulte que les pratiques ayant un potentiel de compensation intéressant ne présentent pas de spécificité francilienne suffisante pour qu'il soit pertinent de travailler sur une méthodologie territoriale particulièrement adaptée aux territoires agri-urbains d'Ile-de-France. Il semble préférable pour ces pratiques de développer des méthodologies de compensation thématiques dédiées, qui puissent par la suite composer la boîte à outil mise à disposition des territoires pour certifier leurs projets locaux de compensation carbone.

- Les étapes de labellisation de projet du label Bas Carbone nécessitent des compétences spécifiques et sont chronophages. Carbone 4 estime par exemple qu'un ETP serait nécessaire sur le périmètre de l'étude pour animer et accompagner administrativement les premiers projets. A cela s'ajoute les coûts des étapes de vérifications dont la complexité sera variable selon les pratiques et les méthodologies associées. La labellisation Bas Carbone semble donc intéressante, seulement à l'échelle de nombreux projets déposés en même temps (plusieurs centaines). La

[8] Cf. page 26 de cette étude
[9] Cf. page 27 de cette étude

rédaction d'une méthodologie territoriale pour les territoires agriurbains concernerait un nombre restreint d'exploitation en comparaison avec des méthodologies nationales. En effet, l'approche des agriculteurs pour prendre rendez-vous dans le cadre de l'étude sociologique, a montré que les agriculteurs peu informés ou peu habitués à être sollicités n'étaient pas prêts à prendre du temps pour échanger sur la compensation carbone. Il est donc peu probable que le nombre d'agriculteurs des territoires agri-urbains intéressés dès les premières années à mener des actions de mitigation dans le cadre du label bas carbone se comptent en centaines.

En conséquence, l'idée du dépôt d'une méthodologie territoriale n'a pas été retenue.

B. Approche territoriale de la compensation

L'étude CEREOPA a montré que "l'approche territoire peut être très chronophage pour la collecte des données et les échanges avec les différentes parties prenantes. Elle ne se justifie que pour un nombre important d'exploitations engagées dans le projet."
Lors la présentation des résultats de cette étude par le CEREOPA au Comité de Pilotage (COPIL), les intercommunalités en présences ont fait part de leur doute de pouvoir concrétiser cette approche de par la difficulté à mobiliser un grand nombre d'agriculteurs sur un projet commun sur ces thématiques. Elles ont par ailleurs souligné que cela serait très chronophage en termes de coordination et d'animation, et que les coûts associés n'étaient pas évalués.
Par ailleurs, les incertitudes associées à l'approche "global territoire" proposée dans l'étude CEREOPA sont importantes et difficile à quantifier.
Ces limites représentent des freins aux approches territoriales malgré l'intérêt qu'elles peuvent représenter dans l'atteinte d'objectifs pouvant avoir été fixés dans les PCAET.
Cependant, certaines méthodologies en cours de déploiement et issues de travaux de recherche ont une approche territoriale.

C'est le cas de :

- ABC'Terre, projet de recherche destiné à l'aide à la décision et à conception de "stratégies **d'optimisation de la gestion du carbone organique des sols** dans les **systèmes de culture** à l'échelle d'un territoire"[10],

[10] Sols et Territoires (2019, 1er Octobre). Le Projet ABC'Terre. Consulté sur https://sols-et-territoires.org/?id=212
"L'ensemble des travaux a été mené à bien par un partenariat de compétences et d'expertises scientifiques et techniques complémentaires :
Agro-Transfert Ressources et Territoires (AGT-RT), porteur du projet, et l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) : acteurs du transfert agricole dans les régions tests et compétences sur la dynamique du C des sols et l'évaluation de SdC ;
AGT-RT et l'INRA Agro-Impact Laon : cycles C et N dans les SdC et application aux bilans GES ;
UMR SADAPT AgroParisTech-INRA et l'INRA Agronomie Grignon, l'Institut LaSalle Beauvais-ESITPA (ILB-E), AGT-RT, l'ARAA et la Chambre d'Agriculture de Poitou-Charentes :caractérisation et spatialisation des SdC ;

- MAELIA, plateforme de modélisation et de simulation intégrée des systèmes et territoires agricoles développée par un consortium de chercheurs de différents laboratoires[11].
- CARBOCAGE, projet piloté par la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, visant à "concevoir une méthode assurant l'évaluation du stockage de carbone par les haies" basé sur un travail d'expérimentation sur 3 territoires pilotes[12]. Cette étude devrait aboutir au dépôt d'une méthodologie auprès de la DGEC au premier semestre 2020.

Les études MAELIA et CARBOCAGE ont mené des expérimentations sur des territoires pilotes et ont pu tirer des conclusions sur la faisabilité des démarches à ces échelles. Il conviendra pour la suite de prendre connaissance des leviers et des freins dans le cadre de ces études.
Par ailleurs, certaines méthodologies ont une approche filière. Un processus articulant animation locale avec les acteurs du territoire et certification nationale dans le cadre de méthodologie « filière » semble être une piste réaliste sur les territoires ne pouvant pas envisager dans l'immédiat une approche territoriale.

C. Les cadres institutionnels mis en place par les collectivités pouvant soutenir la démarche

L'Agglomération Cœur d'Essonne a réalisé le Bilan Carbone de son territoire et son plan d'actions a été adopté en 2018. Elle est actuellement en train d'élaborer un schéma directeur de développement des énergies renouvelables et de récupération et lancera l'élaboration de son PCAET en 2020.
Si le mécanisme de la compensation carbone étudié prouve son intérêt, il pourra tout à fait s'inscrire dans ce cadre. Par ailleurs, les projets prévus pour accompagner la transition agricole et alimentaire du territoire créeront des liens privilégiés avec les exploitants actuels et futurs, ce qui permettrait de les sensibiliser à cette pratique et de les accompagner dans la mise en œuvre des actions liées.

INRA Infosol Orléans, ILB-E, l'ARAA et le LDAR (Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche de l'Aisne) : maîtrise de la cartographie et connaissance des sols et l'accès à des bases de données utiles au projet.

[11] DU UMR AGIR. (2019, 1er Octobre). CONTRIBUTEURS. Consulté sur http://maelia-platform.inra.fr/accueil/contributeurs/
UMR LAE (Nancy - Colmar), INRA UMR AGIR, ARVALIS, Compagnie d'Aménagement des Côteaux de Gascogne, UMR IRIT Toulouse, UMR GET Toulouse, Ecolab Toulouse

[12] Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire. (2019, 1er Octobre). Valoriser le Carbone stocké par les haies. Le projet Carbocage. Consulté sur https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/innovation-rd/energie-climat/recherche-developpement/valoriser-le-carbone-stocke-par-les-haies-projet-carbocage/.

Enfin, une usine de transformation de produits bio va s'installer sur son territoire et celle-ci pourrait être très intéressée par les productions de légumineuses locales, ce qui permettrait d'offrir un débouché aux exploitants et de lever ainsi un point de blocage.

L'Agglomération sera donc attentive à l'avancée « des travaux et ouverte à la mise en œuvre de la compensation carbone sur son territoire, celle-ci résonnant avec plusieurs politiques publiques qu'elle mène ».

La Communauté Paris-Saclay a adopté son Plan Climat en juin 2019 dont un des axes vise à « préserver les ressources naturelles et favoriser une agriculture locale durable ». Elle entend accompagner les pratiques agricoles durables, favorisant notamment l'atténuation et le stockage de carbone. Ainsi, depuis plusieurs années, elle soutient financièrement les projets d'installation ou d'amélioration des exploitations agricoles à travers un fonds d'aide agricole. Il a été élargi en 2019 aux actions de performance environnementale, par exemple en vue d'augmenter le stockage carbone. Un partenariat avec une couveuse d'activités agricoles permet également d'accompagner les porteurs de projet. Il est envisagé pour l'année 2020 que la CPS mette en place un fonds de co-financement des projets LEADER. Dans ce cadre, il est notamment prévu d'aider le projet de réalisation de bilan GES des exploitations agricoles du Plateau de Saclay et d'élaboration de plans d'actions associés porté par Terre et Cité.

En tant qu'EPCI (Etablissement Public de Coopération Intercommunale), Saint-Quentin-en-Yvelines (SQY) a adopté son PCAET en septembre 2018. Les objectifs de ce plan sont de :

- lutter contre le changement climatique ;
- anticiper ses impacts et s'y adapter ;
- favoriser la transition énergétique vers les énergies renouvelables et vers davantage de sobriété et d'efficacité ;
- améliorer la qualité de l'air.

Le PCAET doit être compatible avec le Schéma Régional du Climat de l'Air et de l'Énergie (SRCAE) 2012 - 2020 dont les objectifs sont une diminution de 28% des émissions de GES, une augmentation de 20% d'efficacité énergétique et une augmentation de 11% d'énergies renouvelables. Le PCAET doit prendre en compte le PLUi et le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) qui est régional en Ile de France.

Le PCAET de SQY partage les objectifs de la nouvelle stratégie régionale de l'énergie et du climat de la Région Ile de France. Il s'agit avant tout de se baser sur 3 principes : la sobriété, la production d'ENR&R et la réduction de la dépendance énergétique. Pour 2030, le territoire a pour objectif d'avoir diminué de moitié la dépendance aux énergies fossiles et nucléaires par rapport à 2015, via :

- La réduction de près de 20% des consommations énergétiques ;
- La multiplication par 2 de la quantité d'énergie renouvelable produite sur le territoire ;
- La multiplication par 3 de la part globale des ENR dans les consommations énergétiques.

Dans ce cadre, SQY est naturellement intéressée par les réflexions et pistes d'actions visant à réduire les émissions de GES et/ou à stocker le carbone. Les solutions envisagées en matière d'agriculture sont des pistes intéressantes, qu'il convient de déployer sur le territoire. L'agriculture est un des axes du PCAET, qui fait l'objet de 3 fiches actions. Pour aller plus loin sur cet axe ambitieux, SQY s'est dotée d'un plan d'actions pour le développement de l'agriculture locale et des circuits courts alimentaires, voté le 27 juin 2019. Ce plan d'actions comprend un axe « Environnement/biodiversité », qui vise à l'amélioration des pratiques agricoles. Les différentes actions permettant d'encourager le stockage du carbone en agriculture s'inscrivent dans cet axe, et correspondent aux objectifs A et C :

A) Encourager les pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et de la biodiversité

C) Encourager les démarches d'économie circulaire

A ce titre, SQY est intéressée pour soutenir ces démarches, y compris en dehors d'une logique de « compensation carbone ». En effet, tant auprès des institutions publiques que des entreprises du territoire, les actions entreprises visent en premier lieu à encourager l'évitement/la réduction des émissions de GES.

Sur le territoire de l'ADADSA, plusieurs initiatives vont dans le sens de la compensation carbone. A l'échelle de la communauté urbaine du Grand Paris Seine et Oise (GPS&O), le PCAET en cours d'élaboration sera présenté au conseil communautaire de novembre 2019, pour une approbation en décembre 2019. Le Parc Naturel Régional du Vexin français, dont le périmètre croise celui du territoire de l'ADADSA, accompagne les exploitants agricoles de son territoire dans la mise en œuvre de pratiques respectueuses de l'environnement, notamment grâce à la mise en place de programmes de mesures agroenvironnementales (MAE).

Sur ces thématiques, l'Association de la Plaine de Versailles, poursuit différents projets :

- Accompagnement d'un groupe d'agriculteurs pour la constitution d'une filière légumes secs. Il est ainsi question d'allonger les rotations des céréaliers principalement par l'introduction d'une légumineuse aux vertus agronomiques riches, dont le rôle positif premier est de favoriser l'entrée d'azote dans le sol, une meilleure disponibilité de cet élément pour les microorganismes et, par conséquent, une préservation des formes récalcitrante de stockage de carbone et d'azote (rapport C/N). A terme, la création d'outils de transformation localisés sur le territoire permettra la diminution du bilan carbone global de la production ;
- Accompagnement aux changements de pratiques et soutien à l'agriculture de conservation des sols. De plus en plus d'agriculteurs de la plaine s'intéressent aux pratiques de conservation des sols, qui remettent à sa place centrale le sol, reconnu comme outil de production vivant. Une journée de formation avec SKY agriculture sur ces thématiques est d'ailleurs prévue le 25 novembre prochain ;
- Accompagnement à la plantation de haies en partenariat avec Biodif : des agriculteurs de la Plaine replantent des haies le long de leurs parcelles. La haie est une forme

d'agroforesterie et permet le stockage de carbone. L'animatrice ayant une expérience sur la plantation bocagère, l'association espère pouvoir approfondir cette thématique, en lien aussi avec la qualité de l'eau et la lutte contre les ruissellements ;

- Soutien à l'association Terre des Yvelines, un groupement d'agriculteurs de la plaine certifié ISO 14 001. Cette norme vise à améliorer leurs performances environnementales grâce à une utilisation plus rationnelle des ressources, à la réduction des déchets et à diminuer leur impact sur l'environnement ;

- Travail en lien avec la recherche : projet PROLEG sur la valorisation des produits organiques résiduaires (déchets verts) en agriculture. En augmentant la fertilité on joue sur le rapport C/N et donc le stockage de carbone ; et METAPOLSOL sur la valorisation des digestats de méthanisation.

De plus, le développement qualitatif et équilibré du territoire est une des orientations majeures du projet de territoire de la communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc. Elle entend mettre en lumière un art de vivre fondé sur ses complémentarités rurales et urbaines et prône un développement au service de la qualité de vie des habitants. Dans le cadre de sa politique d'écologie urbaine, elle s'attache ainsi à renforcer le lien entre la ville et l'agriculture.
Également en lien avec le climat et l'environnement, les résultats de cette étude seront croisés avec les réflexions liées à l'élaboration du PCAET de Versailles Grand Parc. »

V. CONCLUSION GENERALE

Clarisse Gimat

Terre et Cité

L'étude INRA a passé en revue 11 pratiques agricoles sélectionnées pour leur pertinence en Île-de-France et sur la base des études Pellerin et al., (2013), et BANCO (I Care & Consult et al., 2017).
L'étude a permis de conclure sur leur potentiel de compensation en évaluant :

- leur potentiel de stockage ou de mitigation ;
- leur additionnalité ;
- la faisabilité du suivi de la bonne mise en œuvre de la pratique et de son efficacité ;
- les incertitudes associées aux calculs de gaz à effet de serre ;
- leur gisement en termes de possibilité de mise en place sur le périmètre de l'étude ;
- leur gisement en volumes d'émissions de gaz à effet de serre stockable ou évitables sur le périmètre de l'étude ;
- leur coût de mise en œuvre.

Les pratiques identifiées par l'étude pour leur potentiel de compensation pour les territoires concernés sont :

- Les couverts végétaux ;
- Les inhibiteurs de nitrification ;

et avec quelques réserves :

- La substitution des engrais par l'urine ;
- Les semis directs ;
- L'implantation de légumineuses ;
- L'implantation de bandes enherbées intra-parcellaires.

De plus, l'étude T&C a montré qu'il existait pour les agriculteurs interrogés un intérêt pour l'implantation et la gestion des haies, et qu'il y aurait donc une pertinence à considérer ces pratiques sur le périmètre de l'étude. Ces pratiques ne figurent pas dans l'étude INRA, premièrement parce qu'il a été fait le choix de concentrer la réflexion sur des pratiques pour lesquelles le laboratoire ECOSYS (INRA) avait des compétences, et parce qu'elles ont déjà été traitées en profondeur, dans le cadre du projet CARBOCAGE mené parallèlement.

L'étude T&C a permis de se faire une meilleure représentation des opinions des agriculteurs sur les questions climatiques et sur le rôle qu'ils pourraient jouer pour diminuer l'empreinte carbone de leur territoire. Il en ressort qu'un certain niveau de connaissance sur les enjeux du climat et sur les principes de la compensation est nécessaire pour permettre aux exploitants de se positionner, et de manifester un potentiel intérêt pour le mécanisme mis en place dans le cadre du Label Bas Carbone. Les agriculteurs interrogés ont pour la plupart conscience du fait que l'agriculture joue, avec d'autres secteurs, un rôle dans le changement climatique. Ils ont également fait part du fait qu'ils sont directement impactés par les dérèglements du climat et en subissent les effets, notamment par des pertes de production.

L'échantillon d'agriculteurs rencontrés n'est pas parfaitement représentatif de l'agriculture en Île-de-France, mais il en est proche et est probablement à l'image des premiers exploitants qui pourraient être intéressés pour avoir plus d'information sur le Label Bas Carbone, ou pour s'y inscrire. A ce titre, il est remarquable de constater leur intérêt pour assumer cette dimension climatique dans leur métier d'agriculteur, et que cet intérêt s'est accru en fin d'entretien après

avoir eu plus d'informations sur le fonctionnement du mécanisme. La sensibilisation du secteur sera donc certainement un levier essentiel pour une bonne appropriation de ce levier par les acteurs agricoles.

De plus, l'étude a permis de collecter le retour des agriculteurs sur un ensemble de pratiques agricoles. La mise en place de couverts végétaux, qui a été identifiée comme ayant un bon potentiel de compensation par l'étude INRA, est considérée comme intéressante par la moitié des exploitations conventionnelles ou raisonnées[13].

L'intégration des légumineuses dans le système de rotation est en place dans 92% des exploitations pratiquant l'agriculture biologique ou l'agriculture de conservation de l'enquête.
Par ailleurs, « 58% des agriculteurs en agriculture raisonnée ou conventionnelle ayant répondu "pourraient être intéressés pour intégrer des légumineuses dans leur rotation. Les points de blocage identifiés sont :

- le manque de débouchés ;
- la dimension aléatoire des rendements ;
- la destruction de ces cultures occasionnée par les oiseaux (pigeons, corneilles, etc)" ».

Parmi les pratiques identifiées par l'étude INRA figure la substitution d'engrais par l'urine. Cette pratique innovante et prometteuse, nécessite davantage d'étude pour que son potentiel de compensation soit évalué positivement. Parallèlement à cela, il est intéressant de constater que 74% des agriculteurs ayant répondu à l'enquête de T&C y sont plutôt favorables.

Il y a donc clairement un certain nombre de leviers concrets pour la compensation carbone agricole locale que les agriculteurs sont prêts à activer, et certains qui restent à approfondir.

Avec la sortie de la méthodologie CARBON AGRI de l'Institut de l'Elevage, des premières exploitations agricoles du périmètre de l'étude vont pouvoir s'inscrire dans une démarche de certification selon le Label Bas Carbone. Cette méthodologie s'adresse aux exploitations en élevage laitiers ou bovins, et peut aussi être appliquée aux exploitations en grande culture conventionnelle. Sur le Plateau de Saclay, la ferme de Viltain a déjà manifesté son souhait de participer à la première vague de projets déposés par l'Institut de l'Elevage. L'association Terre et Cité souhaiterait pouvoir faire bénéficier l'Unité Technique du GT1 du GIEC de ces premiers crédits carbone.

La ferme de Grignon AgroParisTech devrait mener l'évaluation en suivant la méthodologie CARBON AGRI de l'Institut de l'Elevage. Les agriculteurs du territoire souhaitent avoir une vision approfondie et comprendre en détail ce qu'ils font et situer leurs pratiques au regard des grands enjeux internationaux. La ferme de Grignon AgroParisTech devrait donc réaliser en complément les bilans gaz à effets de serres approfondis de 8 exploitations en vue de construire avec elles des plans d'action adaptés à leurs spécificités.

[13] Elle est déjà en place dans une forte proportion des exploitations de l'enquête pratiquant une agriculture biologique ou de conservation.

Parallèlement à cela, Terre et Cité prévoit d'accompagner 8 exploitations de son périmètre sur des projets de diagnostics de haies, suivis d'actions de plantations et l'Association de la Plaine de Versailles a engagé plusieurs projets concrets pour accompagner des pratiques agricoles plus vertueuses en matière de GES (cf chapitre précédent).
Afin de pouvoir poursuivre cette dynamique, Terre et Cité s'est inscrite au groupe de travail proposé par l'I4CE et l'INRA sur la construction d'une méthodologie Grandes Cultures en vue de suivre l'avancée des travaux dans la suite des résultats de la présente étude, et envisage également de suivre les avancées de la méthodologie Carbocage. Ces actions visent à proposer aux agriculteurs du Plateau de Saclay et aux territoires partenaires la possibilité de bénéficier des premières opportunités de dépôts de projets dans le cadre du Label Bas Carbone, pour des actions de stockage de carbone dans les sols en grande culture, et à proximité de haies, et de pouvoir faire bénéficier ces groupes de travaux des retours de terrain qu'ont permis d'identifier cette étude.

Lorsqu'ils sont accompagnés dans ces démarches par des tiers de confiance, les agriculteurs sont prêts à agir. Il convient désormais de mettre le potentiel d'action identifié chez les agriculteurs en lien plus direct avec les outils de politique publique développés par les collectivités, au premier rang desquels les PCAET évoqués précédemment. Il convient également de mener un travail de fond avec les acteurs économiques pour s'assurer d'un niveau de prix satisfaisant pour les crédits carbone qui seront générés dans le cadre du Label Bas Carbone.

L'étude Carbone 4 a montré que parmi l'échantillon d'entreprises interrogées, les perceptions de la compensation carbone sont mitigées. En effet, ce mécanisme n'est pas connu de la même manière dans les PME que dans les grandes entreprises, et ne bénéficie pas de la même image selon les politiques d'entreprise. L'image de la compensation portée par le Label Bas Carbone nécessite donc certainement un travail de sensibilisation auprès des acteurs économiques privés.
Les entreprises ayant répondu souhaitent être en relation la plus directe possible avec les porteurs de projet, et sont davantage intéressées par le financement de projets locaux de compensation carbone issus des secteurs agricoles et forestiers. C'est déjà ce qui avait été démontré dans le cadre de l'étude VOCAL (Tronquet et al. 2018), une des raisons étant que ces secteurs sont perçus comme producteurs de co-bénéfices environnementaux.
La sensibilisation des acteurs doit également impérativement porter sur la question des prix des crédits carbone locaux. En effet, les acteurs économiques interrogés ne sont a priori pas prêts à payer davantage pour des unités de réduction produites localement, et ce malgré un souhait de contacts plus directs avec les porteurs de projets. Une réponse à la problématique soulevée par ces retours ambivalents semble être celle de l'image que l'on donne au mécanisme de compensation. En effet, plutôt que de considérer l'achat de crédits carbone comme un moyen de réduction de son empreinte sur le climat, une entreprise pourrait y voir une opportunité de financement de projets porteurs et bénéfiques pour l'environnement, dans le cadre d'un ancrage territorial amélioré, approfondi, pérenne et inscrit dans une démarche de Responsabilité Sociétale des Entreprises.

Terre et Cité prévoit de travailler avec ses partenaires à la rencontre des entreprises et des acteurs économiques locaux pour une sensibilisation sur l'opportunité que représente le label Bas Carbone dans la valorisation de projets agricoles vertueux et dans les liens qui peuvent être créés par ce biais entre les entreprises, les salariés et leur territoire.

IV. Annexes et Bibliographie

A. Annexes de l'Etude de la faisabilité socio-économique de la compensation carbone

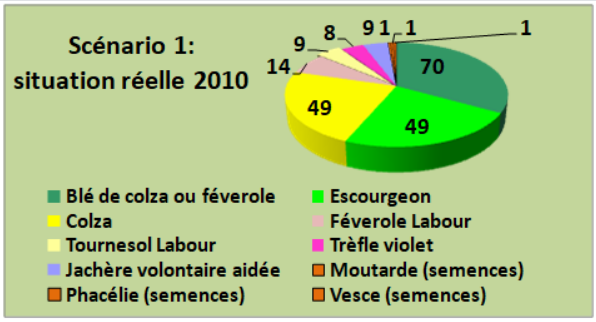
Mettez-vous en œuvre une politique de comptabilité et de maîtrise de vos émissions de GES ?
Si oui, disposez-vous d'un bilan carbone ou d'une estimation de vos émissions de gaz à effet de serre en téqCO2 ? Pour quel périmètre retenu ?
De quel volume parle-t-on ?
Vous êtes-vous fixé un objectif de neutralité carbone ?
Si oui, neutralité partielle ou intégrale ? Quelle échéance ?
Connaissez-vous les mécanismes de compensation carbone ?
Si oui, quel est votre avis sur cette démarche ?
Que pensez-vous d'être direct avec les porteurs de projets ?
S'il était possible de compenser vos émissions via le soutien de projets menés sur le territoire français, le feriez-vous ?
Quelles seraient vos motivations / vos freins à compenser sur le territoire ?
Quel prix seriez-vous prêt à payer pour compenser une tonne de carbone évitée ou séquestrée localement ?
Sur quels types de projets seriez-vous prêts à vous engager (réduction d'émissions induites ou séquestration carbone) ? Quels secteurs ?
Et l'agriculture sur le plateau de Saclay ?
Sur combien de temps seriez-vous prêt à vous engager ?

Seriez-vous prêts à proposer à vos salariés de compenser leurs propres émissions ?
Et vos clients particuliers ?
Êtes-vous prêts à soutenir le développement du projet ? Originer[14] des projets ?

B. Annexes Etude de la compensation carbone en agriculture et sa faisabilité à l'échelle du territoire en île de France

Résultats d'un diagnostic de performance réalisé avec l'outil PerfAgroP3 du Céréopa :

SAU : 210 ha sur 1 zone. Pas d'irrigation, pas d'élevage



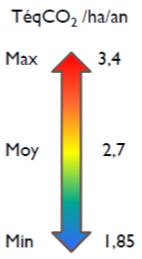
Indicateurs de performance	
Marge PerfAgro (Euros/an)	230 880
Consommations d'énergie (GJ/an)	-2730
Emissions de GES (t. éq. CO2/an)	511
Personnes nourries / énergie	2 130
Personnes nourries / protéines	2 740

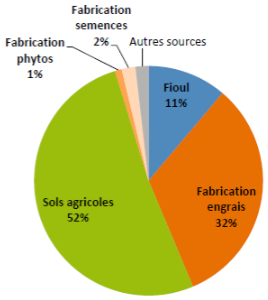
Marge PerfAgro		Energie (consommations)	GES
Produits	Charges		
Ventes.....78.5% *DPU.....20%* *Primes cultures ..1.5%*	*Ch. Méca. .....36%* *Engrais.....21%* *Autres intrants...28%* *Main d'œuvre ....15 %*	Direct .....28 % Indirect.....72 % Dont engrais....82 %	Direct .....55% Dont engrais.....71% Indirect.....45% Dont engrais.....90 %

1. Exemple de résultats GES sur systèmes GC+CI (Grandes Cultures + Cultures Industrielles) du Grand Est

[14] Originer un projet = développer en interne un projet carbone (réduction d'émissions induites ou séquestration carbone).

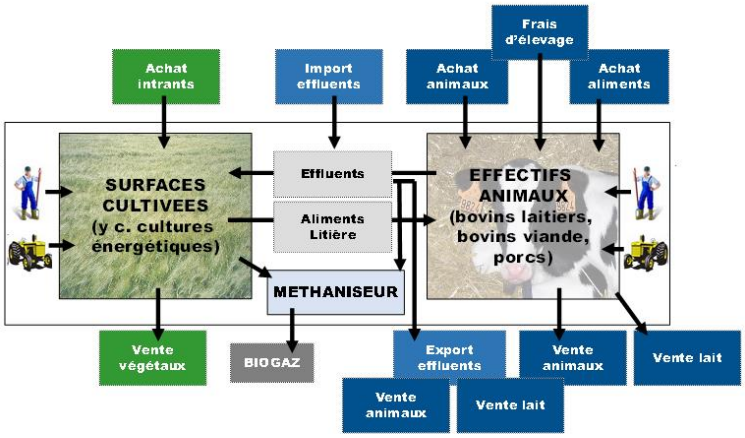
- Emissions nettes de 2,55 Téq CO_2/ ha et un stockage de carbone élevé par rapport aux exploitations Grandes Cultures en COP
- Les émissions des **sols agricoles** (surtout issues de l'apports d'engrais minéraux et des résidus de culture) : + de ½ des émissions
- **fabrication des engrais** : presque 1/3





2. Périmètre et hypothèses de la quantification GES mise en œuvre dans la démarche Grignon Energie Positive

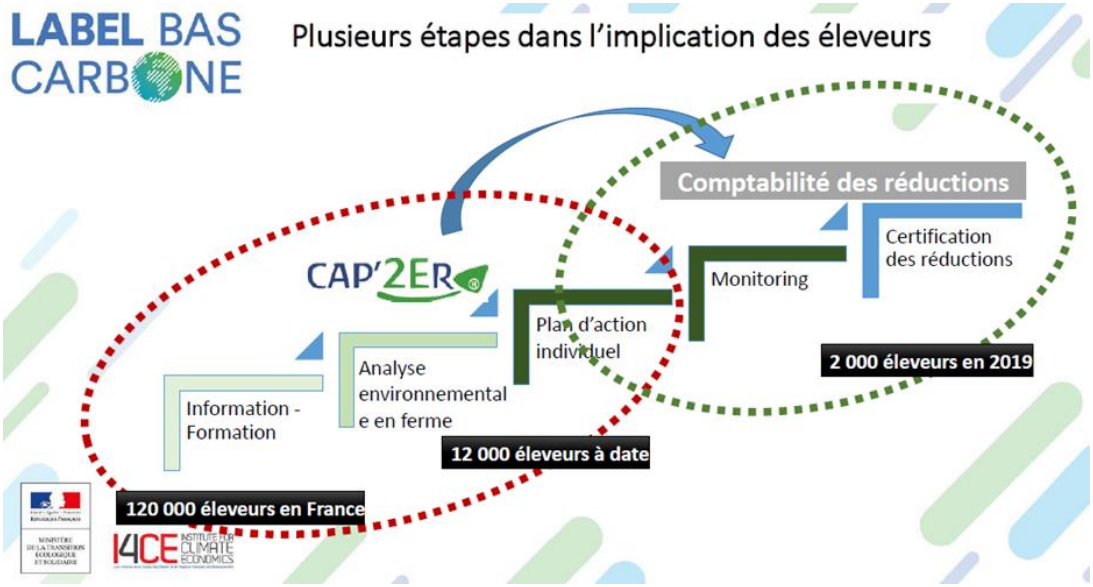
Périmètre et ateliers



pour chaque poste : on recense les quantités annuelles de matières et énergie consommées et produites

les facteurs d'impact GES sont issus des BDD (Agribalyse, Ecoalim, Base Carbone)

3. Les étapes de la démarche bas carbone proposée dans CARBON AGRI (CNIEL, Idele)



C. Bibliographie

1. Bibliographie de la faisabilité technique

a) Articles scientifiques

Antle, J.M., Ogle, S.M., 2012. Influence of soil C, N2O and fuel use on GHG mitigation with no-till adoption. Clim. Change 111, 609–625. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0193-7

Autret, B., Mary, B., Chenu, C., Balabane, M., Girardin, C., Bertrand, M., Grandeau, G., Beaudoin, N., 2016. Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. Agric. Ecosyst. Environ. 232, 150–164. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.008

Beaulieu, J.J., Tank, J.L., Hamilton, S.K., Wollheim, W.M., Hall, R.O., Mulholland, P.J., Peterson, B.J., Ashkenas, L.R., Cooper, L.W., Dahm, C.N., Dodds, W.K., Grimm, N.B., Johnson, S.L., McDowell, W.H., Poole, G.C., Valett, H.M., Arango, C.P., Bernot, M.J., Burgin, A.J., Crenshaw, C.L., Helton, A.M., Johnson, L.T., O'Brien, J.M., Potter, J.D., Sheibley, R.W., Sobota, D.J., Thomas, S.M., 2011. Nitrous oxide emission from denitrification in stream and river networks. Proc. Natl. Acad. Sci. 108, 214–219. https://doi.org/10.1073/pnas.1011464108

Benoit, M., 2014. Les fuites d'azote en grandes cultures céréalières : Lixiviation et émissions atmosphériques dans des systèmes biologiques et conventionnels du bassin de la Seine (France) (phdthesis). Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.

Brown, S., Kruger, C., Subler, S., 2008. Greenhouse Gas Balance for Composting Operations. J. Environ. Qual. 37, 1396–1410. https://doi.org/10.2134/jeq2007.0453

Burg, V., Bowman, G., Haubensak, M., Baier, U., Thees, O., 2018. Valorization of an untapped resource: Energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion. Resour. Conserv. Recycl. 136, 53–62. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.004

Charles, A., Rochette, P., Whalen, J.K., Angers, D.A., Chantigny, M.H., Bertrand, N., 2017. Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis. Agric. Ecosyst. Environ. 236, 88–98. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.11.021

Chenu, C., Angers, D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J., n.d. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. Soil Tillage Res. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011

Clivot, H., Mouny, J.-C., Duparque, A., Dinh, J.-L., Denoroy, P., Houot, S., Vertès, F., Trochard, R., Bouthier, A., Sagot, S., Mary, B., 2019. Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model. Environ. Model. Softw. 118, 99–113. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.004

Dimassi, B., Cohan, J.-P., Labreuche, J., Mary, B., 2013. Changes in soil carbon and nitrogen following tillage conversion in a long-term experiment in Northern France. Agric. Ecosyst. Environ. 169, 12–20. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.01.012

Ellert, B.H., Bettany, J.R., 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Can. J. Soil Sci. 75, 529–538. https://doi.org/10.4141/cjss95-075

Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C., Ji, L., Chen, Z., Fang, F., 2018. Impact of agronomy practices on the effects of reduced tillage systems on CH4 and N2O emissions from agricultural

fields: A global meta-analysis. PLOS ONE 13, e0196703. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196703
Gerin, P.A., Vliegen, F., Jossart, J.-M., 2008. Energy and CO2 balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion. Bioresour. Technol. 99, 2620–2627. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.049
Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U., 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168, 439–446. https://doi.org/10.1002/jpln.200520510
Hao, X.J., Zhang, T.Q., Wang, Y.T., Tan, C.S., Qi, Z.M., Welacky, T., Hong, J.P., 2018. Soil Test Phosphorus and Phosphorus Availability of Swine Manures with Long-Term Application. Agron. J. 110, 1943–1950. https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0412
Labreuche, J., Afsaneh, L., Malaval, C., Germon, J.C., 2011. Impact des techniques culturales sans labour (TCSL) sur le bilan énergétique et le bilan des gaz à effet de serre des systèmes de culture. Cah Agric 20, 204–215.
Le Gall, C., Jeuffroy, M.-H., Hénault, C., Python, Y., Cohan, J.-P., Parnaudeau, V., Mary, B., Compère, P., Tristant, D., Duval, R., Cellier, P., 2014. Analyser et estimer les émissions de N2O dans les systèmes de grandes cultures français. Innov. Agron. 12, 97–112.
Le Garrec, L., Revel, A., 2004. Le non-labour en grandes cultures et élevage : évaluations environnementale et économique à l`aide de la marge directe et des indicateurs Deltameq® et Indigo®. Ingénieries - E T 21–35.
Mei, K., Wang, Z., Huang, H., Zhang, C., Shang, X., Dahlgren, R.A., Zhang, M., Xia, F., 2018. Stimulation of N2O emission by conservation tillage management in agricultural lands: A meta-analysis. Soil Tillage Res. 182, 86–93. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.006
Naroznova, I., Møller, J., Scheutz, C., 2016. Global warming potential of material fractions occurring in source-separated organic household waste treated by anaerobic digestion or incineration under different framework conditions. Waste Manag. 58, 397–407. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.020
Peltre, C., Christensen, B.T., Dragon, S., Icard, C., Kätterer, T., Houot, S., 2012. RothC simulation of carbon accumulation in soil after repeated application of widely different organic amendments. Soil Biol. Biochem. 52, 49–60. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.023
Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A., Cassman, K.G., 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. Nat. Clim. Change 4, 678–683. https://doi.org/10.1038/nclimate2292
Powlson, D.S., Whitmore, A.P., Goulding, K.W.T., 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. Eur. J. Soil Sci. 62, 42–55. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x
Rehl, T., Müller, J., 2011. Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies. Resour. Conserv. Recycl. 56, 92–104. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.08.007
Ros, M., Klammer, S., Knapp, B., Aichberger, K., Insam, H., 2006. Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. Soil Use Manag. 22, 209–218. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00027.x
Verret, V., Gardarin, A., Makowski, D., Lorin, M., Cadoux, S., Butier, A., Valantin-Morison, M., 2017. Assessment of the benefits of frost-sensitive companion plants in winter rapeseed. Eur. J. Agron. 91, 93–103. https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.006
Wulf, S., Jäger, P., Döhler, H., 2006. Balancing of greenhouse gas emissions and economic efficiency for biogas-production through anaerobic co-fermentation of slurry with organic waste. Agric. Ecosyst. Environ., Mitigation of Greenhouse Gas Emissions from Livestock Production 112, 178–185. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.017

Zaouche, M., Bel, L., Vaudour, E., 2017. Geostatistical mapping of topsoil organic carbon and uncertainty assessment in Western Paris croplands (France). Geoderma Reg. 10, 126–137. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.07.002

b) Autres sources

Ademe, 2012. La compensation volontaire. Démarches et limites. Brochure comprendre pour agir.

Ademe, 2015. ExpéCIVE 2013 – 2014. Etude au champ des potentiels agronomiques, méthanogènes et environnementaux de cultures intermédiaires à vocation énergétique. Rapport d'étude.

Ademe, 2019a. Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone ®. Consultée sur http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm

Ademe, 2019b. Réaliser une unité de méthanisation à la ferme. Guide technique.

AESN, 2018. 11ème programme d'intervention de l'agence de l'eau Seine-Normandie 2019-2024

Agreste 2014 GraphAgri Régions - édition 2014

APCA, 2015. Fiche technique couverts en interculture.

Brun F., 2018. *Freins et leviers à l'emploi de fertilisants à base d'urine humaine en agriculture en Île-De-France*. 87 p. rapport de recherche

Chambre d'Agriculture de Poitou-Charentes, 2018. Méthode d'Estimation & Restitutions par les Cultures Intermédiaires. Présentation de l'outil MERCI.

Charles R., Dürr C., Joannon A., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires. Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Chapitre 3. Les itinéraires techniques des cultures intermédiaires. Rapport d'étude INRA.

Comifer, 2013. Prise en compte de la volatilisation des engrais minéraux. Document technique téléchargeable sur www.comifer.fr

Conseil Régional Île-de-France, 2018. Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) : vers un objectif zéro déchet.

Esculier F., 2018. Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques. Thèse de doctorat de l'université Paris Est.

GIEEC, 2014. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014.

I Care & Consult, INRA et Céréopa, 2017. Analyse des freins et des mesures de déploiement des actions d'atténuation à coût négatif dans le secteur agricole : couplage de modélisation économique et d'enquêtes de terrain. Rapport de projet BANCO.

Jeuffroy MH, 2015. Le développement des légumineuses dans les systèmes agricoles : freins et opportunités. Les rencontres de l'INRA au salon de l'Agriculture. SIA 2015.

Martin T., 2017. Valorisation des urines humaines comme source d'azote pour les plantes : une expérimentation en serre. Rapport de stage de M2 Université Paris Est Créteil.

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

Moinard V., 2018. Characterization of organic resources and their uses in fertilisation practices in the territory of Plaine de Versailles. Master 2 internship report, Université Paris Saclay.

Ordif, 2018. La gestion des déchets ménagers et assimilés en Île-de-France : Données 2016. Rapport d'étude.

Thomas F., 2006. TCS et semis direct : quelles sont les marges d'économies ? TCS n°36 - janvier / février 2006 –

Tidaker, 2003. Life Cycle Assessment of Grain Production Using Source-Separated Human Urine and Mineral Fertiliser. Swedish University of Agricultural Sciences. Report 251.

2. Bibliographie étude sociologique

Beaud S., Weber F. (2010), *Guide de l'enquête de terrain*, La Découverte, 336 p.

Campenhoudt L. V., Quivy R. (2011), *Manuel de recherche en sciences sociales*, Dunod, 4ème édition, 288 p.

Tronquet C., Grimault J., Foucherot C., 2017. Potentiel et determinant de la demande volontaire en credits carbones en France. Projet VOCAL, I4CE