



LABEL BAS-CARBONE

Méthode Grandes Cultures

Version 1.1

(Méthode du 23 juillet 2021 ; Référentiels du 23 juillet 2021)



Auteurs de la Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures : Baptiste Soenen¹, Morgane Henaff², Hélène Lagrange¹, Edouard Lanckriet², Anne Schneider³, Remy Duval⁴, Jean-Louis Streibig⁵

Experts scientifiques contributeurs : Joachim Boissy⁷, Julien Coignac⁹, Sylvie Dauguet³, Coraline Dessienne¹, Francis Flénet³, Armelle Gac⁸, Sophie Gendre¹, Catherine Henault⁶, William Huet⁹, Justine Lamerre⁷, Cécile Le Gall³, Anne-Sophie Perrin³, Paul Tauvel⁴, Hayo Van der Werf⁶, Grégory Véricel¹, Aurélie Wilfart⁶ (pour le GT émissions GES) ; Laure Brun-Lafleur⁸, Eric Ceschia⁶, Hélène Chambaut⁸, Claire Chenu⁶, Hugues Clivot⁶, Jean-Baptiste Dollé⁸, Annie Duparque⁷, Fabien Ferchaud⁶, Katja Klumpp⁶, Justine Lamerre⁷, Manuel Martin⁶, Jean-Christophe Mouny⁷, Anne-Sophie Perrin³, Sylvie Recous⁶, Stéphanie Sagot¹¹, Laure Soucémarianadin¹², Olivier Therond⁶, Matthieu Valé¹⁰, Gécica Yogo⁶ (pour le GT stockage de carbone dans les sols) ; Frédérique Angevin⁶, Christian Bockstaller⁶, Nicolas Cerrutti³, Sylvie Dauguet³, Coraline Dessienne¹, Hélène Gross¹², Aline Lapierre¹³, Patricia Lecadre¹³, Vincent Lecomte³, Anne-Sophie Perrin³, Christophe Sausse³, Clotilde Toqué¹, Aurélie Wilfart⁶ (pour le GT co-bénéfices)

Experts scientifiques consultés : Suzanne Reynders⁶, Jean-François Soussana⁶, Antoine Messéan⁶, Thomas Eglin¹⁴, Claudine Foucherot¹⁵

Contacts :

Baptiste Soenen : b.soenen@arvalis.fr

Edouard Lanckriet : elanckriet@agrosolutions.com

Pour citer ce document :

Baptiste Soenen, Morgane Henaff, Hélène Lagrange, Edouard Lanckriet, Anne Schneider, Remy Duval, Jean-Louis Streibig, 2021. Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures (version 1.0). 133p.

Ce document est disponible sur le site du MTE (<https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone>)

¹ : Arvalis - Institut du Végétal

² : Agrosolutions

³ : Terres Inovia

⁴ : Institut Technique de la Betterave

⁵ : Association Recherche Technique Betteravière

⁶ : INRAE

⁷ : AgroTransfert R&T

⁸ : IDELE

⁹ : Cristal Union

¹⁰ : Auréa

¹¹ : LDAR

¹² : ACTA

¹³ : Céréopa

¹⁴ : ADEME

¹⁵ : I4CE

Remerciements aux soutiens financiers des rédacteurs de la méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures

Une partie du temps des membres du Comité de Rédaction, dédié à la rédaction de ce document, a été financée par :

Les interprofessions des céréales (InterCéréales) de la pomme-de-terre (GIPT, UNPT et GIPT) et du lin (CIPALIN) pour Arvalis.



L'interprofession des huiles et protéines végétales (Terres Univia), pour Terres Inovia.



La Région Grand-Est, dans le cadre des Partenariats Européens d'Innovation de la Commission Européenne pour Agrosolutions (via le projet Carbon Think) et pour Terres Inovia (via le projet Partage).



Le CASDAR (PNDAR 2014-2022) pour Arvalis, Terres Inovia et ARTB.



Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Glossaire | 9 |
| 1. Présentation de la Méthode..... | 10 |
| 1.1 Objet de la Méthode et applicabilité..... | 10 |
| 1.2 Promoteur de la Méthode Grandes Cultures..... | 10 |
| 1.3 Le Porteur de Projet..... | 11 |
| 1.4 Périmètre d'application de la Méthode | 12 |
| 1.4.1 Périmètre de comptabilisation | 12 |
| 1.4.2 Maille de calcul | 12 |
| 1.4.3 Réduction d'émissions couvertes..... | 13 |
| 1.5 Durée des Projets..... | 13 |
| 1.6 Procédure de mise en œuvre de la Méthode..... | 14 |
| 1.7 Articulation avec les autres Méthodes existantes | 14 |
| 1.7.1 Articulation avec la Méthode CarbonAgri | 14 |
| 1.7.2 Articulation avec la Méthode Haies | 15 |
| 1.7.3 Articulation avec la Méthode Légumineuses..... | 15 |
| 1.7.4 Articulation avec la méthode Méthanisation..... | 16 |
| 1.8 Mise à jour des référentiels et de la Méthode..... | 17 |
| 2. Les bénéfices des Projets pour l'économie bas-carbone | 18 |
| 2.1 La diminution des émissions de GES associées à la fertilisation azotée | 18 |
| 2.2 La diminution des émissions de GES associées aux combustibles fossiles.. | 19 |
| 2.3 Le stockage de carbone dans le sol | 20 |
| 2.4 La diminution des émissions de GES en aval de l'exploitation | 21 |
| 3. Les critères d'éligibilité des Projets | 22 |
| 4. Démonstration de l'additionnalité des Projets agricoles | 23 |
| 4.1 Freins liés à la mise en œuvre des leviers sur les exploitations en grandes cultures..... | 23 |
| 4.1.1 Leviers permettant de réduire les émissions de GES des exploitations agricoles..... | 23 |
| 4.1.2 Leviers permettant de stocker du carbone dans les sols | 25 |
| 4.1.3 Leviers liés à la valorisation des productions en aval du Projet..... | 27 |
| 4.2 Démonstration de l'additionnalité pour un premier Projet..... | 27 |
| 4.2.1 Méthode des budgets partiels | 28 |
| 4.2.2 Méthode générale..... | 29 |
| 4.3 Démonstration de l'additionnalité dans le cadre d'un renouvellement de Projet | 29 |
| 5. Le scénario de référence | 30 |
| 5.1 Choix du type de scénario de référence..... | 30 |
| 5.2 Définition des systèmes de culture | 31 |
| 5.2.1 Description du contexte pédoclimatique..... | 31 |
| 5.2.2 Description de la stratégie culturale : historique des 10 dernières années..... | 33 |
| 5.2.3 Description de la conduite culturale..... | 33 |
| 5.3 Scénario de référence spécifique | 34 |

| | | |
|--|--|------------|
| 5.4 | Scénario de référence générique | 34 |
| 6. | La méthode d'évaluation des réductions d'émissions | 38 |
| 6.1 | Calcul des RE émissions | 38 |
| 6.1.1 | Calcul des RE fertilisation | 39 |
| 6.1.2 | Calcul des RE combustibles | 45 |
| 6.1.3 | Calcul des RE séchage/stockage | 49 |
| 6.2 | Calcul des RE aval | 51 |
| 6.2.1 | Calcul de RE séchage OS : réduction d'émissions GES liées au séchage chez les organismes stockeurs | 51 |
| 6.2.2 | Calcul de RE protéines : valorisation des biomasses en protéines pour l'alimentation animale | 52 |
| 6.2.3 | Calcul de RE biomatériaux : valorisation des biomasses en biomatériaux | 52 |
| 6.3 | Calcul des RE stockage | 53 |
| 6.3.1 | Précision de certains choix méthodologiques | 53 |
| 6.3.2 | Références génériques et spécifiques pour le stockage du C, choix des pratiques | 54 |
| 6.3.3 | Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de carbone | 55 |
| 6.3.4 | Description des calculs des évolutions du stock de carbone | 57 |
| 6.4 | Evaluation des incertitudes et calculs des rabais | 60 |
| 6.4.1 | Choix du scénario de référence | 60 |
| 6.4.2 | Incertitudes des méthodes utilisées | 60 |
| 6.4.3 | Evaluation des incertitudes des données d'entrée | 61 |
| 6.4.4 | Risque de non-permanence | 63 |
| 6.4.5 | Risque lié à la non-démonstration de l'additionalité | 63 |
| 6.4.6 | Récapitulatif des rabais | 64 |
| 7. | Impacts et co-bénéfices associés aux Projets | 67 |
| 7.1 | Pressions sur les ressources physiques | 68 |
| 7.1.1 | Prévenir l'érosion des sols (et améliorer leur stabilité structurale) | 69 |
| 7.1.2 | Pressions sur d'autres ressources et sur la qualité de l'air ou des eaux | 71 |
| 7.2 | Enjeu biodiversité | 74 |
| 7.2.1 | Processus à l'origine des effets sur la biodiversité | 74 |
| 7.2.2 | Préconisations | 74 |
| 7.2.3 | Indicateurs de suivi | 75 |
| 7.3 | Enjeux socio-économiques et demandes sociétales | 77 |
| 7.3.1 | A l'échelle de la société : mieux répondre aux demandes sociétales liées à des enjeux planétaires ou nationaux | 78 |
| 7.3.2 | A l'échelle du territoire : impact sur la dynamique territoriale | 81 |
| 7.3.3 | A l'échelle de l'agriculteur : revenu viable et conditions de travail | 81 |
| 8 | Vie d'un Projet et modalités de vérification des réductions d'émissions | 84 |
| 8.1 | Vie d'un Projet | 84 |
| 8.2 | Suivi d'un Projet | 86 |
| 8.3 | Modalités de vérification | 87 |
| 8.4 | Conformité des outils de calcul des RE | 87 |
| 9 | Formulaires nécessaires aux Porteurs de Projet | 89 |
| 10 | Bibliographie | 90 |
| Annexes techniques | | 93 |
| Annexe 1 : Données nécessaires pour établir les RE à l'initialisation des Projets et en fin de Projet et éléments de vérification | | 94 |
| Annexe 2 : Pouvoir de Réchauffement Global des gaz à effet de serre | | 106 |

| | |
|--|------------|
| Annexe 3 : Références nécessaires liées aux engrais minéraux et organiques..... | 107 |
| Annexe 4 : Références nécessaires liées aux cultures | 108 |
| Annexe 5 : Méthode de calcul de la consommation de carburant attribuée à chaque atelier | 109 |
| Annexe 6 : Références nécessaires liées aux combustibles fossiles | 111 |
| Annexe 7 : Références pour le calcul des RE_{aval} | 112 |
| Annexe 8 : Calculs des RE_{stockage}, précisions sur certains choix méthodologiques | 113 |
| Annexe 9 : Liste des modèles de bilan humique utilisables et domaines de validité | 117 |
| Annexe 10 : Evaluations des modèles AMG et STICS | 118 |
| Annexe 11 : Valeur des aléas d'érosion | 119 |
| Annexe 12 : Références pour le calcul des indicateurs de biodiversité | 120 |
| Annexe 13 : Données nécessaires au calcul des composantes du pouvoir nourricier | 123 |
| Annexe 14 : Références pour le calcul des indicateurs de contribution positive sur des enjeux sociétaux | 124 |
| Annexe 15 : Mode de calcul des indicateurs de conditions de travail de l'agriculteur | 127 |
| Annexe 16 : Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des leviers..... | 130 |
| Annexe 17 : Données de vérification en cas de coexistence de systèmes de culture dans et hors projet sur une exploitation | 132 |

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Liste des leviers « fertilisation azotée » | 18 |
| Tableau 2 : Liste des leviers « Combustibles fossiles » | 19 |
| Tableau 3 : Liste des leviers sélectionnés pour permettre le stockage de carbone dans les sols | 20 |
| Tableau 4 : Liste des leviers « Aval » | 21 |
| Tableau 5: Coût technique du passage en semis direct..... | 24 |
| Tableau 6: Coût technique de l'extension des cultures intermédiaires | 25 |
| Tableau 7 : Coût technique de l'allongement et de l'insertion des prairies temporaires | 25 |
| Tableau 8 : Coût technique de la mobilisation de nouvelles ressources organiques..... | 26 |
| Tableau 9 : caractéristiques des principaux types de sol en grande culture en France | 32 |
| Tableau 10 : Choix de la méthode de calcul des EGES _{combustibles} | 46 |
| Tableau 11 : Données à utiliser pour les simulations d'une référence générique | 55 |
| Tableau 12 : Données à utiliser pour les simulations d'une référence spécifique | 56 |
| Tableau 13 : Données à utiliser pour les simulations du Projet..... | 57 |
| Tableau 14 : Règles pour le calcul des RE _{stockage} | 58 |
| Tableau 15 : schémas représentant les différents cas de figure pouvant se présenter pour le calcul de Delta_StockC | 59 |
| Tableau 16 : Rabais associés aux incertitudes du mode de recueil des données pour le calcul des RE _{stockage} | 62 |
| Tableau 17 : Récapitulatif des rabais applicables à la Méthode LBC Grandes Cultures..... | 64 |
| Tableau 18 : Inventaire des enjeux ou critères proposés pour les co-bénéfices..... | 67 |

| | |
|---|----|
| Tableau 19 : Effets des leviers sur la pression sur les ressources physiques et recommandations de mise en œuvre | 68 |
| Tableau 20 : Facteur $C_{culture}$ | 71 |
| Tableau 21 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant la pression sur les autres ressources et la qualité de l'eau et de l'air | 73 |
| Tableau 22 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant la pression sur la biodiversité | 76 |
| Tableau 23 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques à l'échelle de la société | 79 |
| Tableau 24 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques à l'échelle du territoire..... | 81 |
| Tableau 25 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques vis-à-vis des agricultures | 82 |
| Tableau 26 : Procédure et vie d'un Projet..... | 85 |
| Tableau 27 : Règles d'échantillonnage pour la vérification des Projets collectifs..... | 87 |
| Tableau 28 : Modalités de certification pour la conformité des outils de calcul des RE..... | 88 |

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Structuration du consortium LBC Grandes Cultures | 11 |
| Figure 2 : Structurations possibles de portage d'un projet | 11 |
| Figure 3 : Périmètre de la Méthode LBC Grandes Cultures | 12 |
| Figure 4 : Définition des systèmes de culture et principe de suivi | 13 |
| Figure 5 : Réductions d'émissions couvertes par la Méthode | 13 |
| Figure 6 : Procédure de mise en œuvre de la Méthode | 14 |
| Figure 7 : Articulation avec la méthode CarbonAgri | 15 |
| Figure 8 : Articulation avec la Méthode Haies | 15 |
| Figure 9 : Articulation avec la Méthode Légumineuses..... | 16 |
| Figure 10 : Articulation avec le Méthode Méthanisation | 17 |
| Figure 11 : Cartographie des zones climatiques en France..... | 31 |
| Figure 12 : Etapes clef de la vie d'un Projet | 84 |

Table des équations

| | |
|--|----|
| Équation 1 : Calcul des réductions d'émissions | 38 |
| Équation 2: Calcul des RE $émissions$ | 38 |
| Equation 3 : Calcul de RE $fertilisation$ | 39 |
| Equation 4: Calcul des émissions de GES associées à la fertilisation..... | 39 |
| Equation 5: Calcul des émissions de N_2O directes..... | 40 |
| Equation 6: Calcul de la quantité d'azote contenue dans les résidus de culture | 42 |
| Equation 7: Calcul du coefficient d'abattement associé au chaulage des sols acides..... | 42 |
| Equation 8: Calcul des émissions de N_2O indirectes par volatilisation..... | 43 |
| Equation 9: Calcul des émissions de N_2O indirectes par Lixiviation | 43 |
| Equation 10: Calcul des émissions de CO_2 directes au champ | 44 |
| Equation 11: Calcul des émissions de CO_2 équivalents associées à la fabrication des engrais minéraux..... | 44 |
| Equation 12: Calcul des émissions de CO_2 équivalents associées à la fabrication des engrais organiques..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Equation 13: Calcul de RE _{combustibles} | 46 |
| Équation 14 : Calcul des émissions de GES associées aux combustibles fossiles (méthode A) | 47 |
| Équation 15 : Calcul des émissions de GES associées aux combustibles fossiles (méthode C) | 48 |
| Équation 16: Calcul des RE _{séchage/stockage} | 49 |
| Équation 17: Calcul des RE _{séchage ferme} | 50 |
| Équation 18: Calcul des RE _{stockage ferme} | 50 |
| Équation 19: Calcul des RE _{aval} | 51 |
| Équation 20: Calcul des RE _{séchage OS} | 51 |
| Équation 21 : Calcul des consommations d'énergie pour le séchage par les OS..... | 52 |
| Équation 22 : Calcul des RE _{stockage} | 53 |
| Équation 23 : Calcul de Delta_StockC | 58 |
| Équation 24 : Calcul du rabais stockage lié au choix du mode de recueil de données d'entrée | 62 |
| Équation 25 : Equation générale pour le calcul des rabais | 66 |
| Équation 26 : Calcul de l'évolution de l'érodibilité | 70 |
| Équation 27 : Caclul du facteur C _{pratique} | 70 |
| Équation 28 : Calcul de l'évolution comparée de l'empreinte eau théorique vs. réelle | 73 |

Glossaire

AB : Agriculture Biologique

BDD : Base De Données

CEE : Certificats d'Economie d'Energie

DGEC : Direction Générale de l'Energie et du Climat

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement

FE : Facteur d'Emissions

GES : Gaz à Effet de Serre

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (**GIEC** en français)

LBC : Label Bas-Carbone

MAFOR : Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire

MRP : Matières premières Riches en Protéines

MTE : Ministère de la Transition Ecologique

NRO : Nouveau Résidus Organiques

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SdC : Système de Culture

RE : Réductions d'Emissions. Ce terme désigne indifféremment des quantités de GES dont l'émission a été évitée ou des quantités de GES séquestrées.

UTCATF : Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt

VN : Valeur Neutralisante

1. Présentation de la Méthode

1.1 Objet de la Méthode et applicabilité

La présente Méthode est une méthode sectorielle conforme au référentiel du Label Bas-Carbone (décret n°2018-1043 et arrêté du 28 novembre 2018). Elle s'applique à des Projets agricoles en France métropolitaine ayant pour objectif d'atténuer le changement climatique via des modifications de pratiques, voire de systèmes, sur leurs ateliers de grandes cultures. Sur la base du volontariat, les Porteurs de Projet identifient et mettent en œuvre un cortège de leviers, permettant une réduction additionnelle des émissions de GES et/ou un stockage de carbone dans les sols à l'échelle de l'exploitation agricole et sur la durée du Projet (regroupés sous le terme de Réductions d'Emissions, ou RE). Compte-tenu du nombre et de la diversité des cultures traitées par la Méthode, les RE sont comptabilisées en teqCO_2/ha .

Afin d'éviter tout effet de report entre les volets « émissions » et « stockage », l'application de la Méthode couvre systématiquement l'évaluation de l'impact des leviers mis en œuvre sur les émissions de GES et le stockage de carbone dans les sols de l'exploitation. Afin que les Projets utilisant cette Méthode soient réalisés en cohérence avec les bonnes pratiques inhérentes à la transition bas-carbone des économies nationales, il est recommandé aux Porteurs de Projet d'identifier systématiquement les leviers de réduction d'émissions de GES avant de traiter ceux liés au stockage de carbone dans les sols.

Ce document explicite les méthodes de comptabilisation de l'efficacité carbone des leviers mis en œuvre, en comparaison d'un scénario de référence, ainsi que les co-bénéfices socio-économiques et environnementaux associés aux Projets. Les critères d'éligibilité et la démonstration de l'additionnalité y sont également présentés.

1.2 Promoteur de la Méthode Grandes Cultures

Selon l'arrêté du 28 novembre 2018, « toute personne physique ou morale peut développer et soumettre, pour approbation, une Méthode à l'Autorité, devenant ainsi Promoteur de la Méthode ».

La rédaction de la Méthode LBC Grandes Cultures est une démarche des producteurs de grandes cultures, structurée via un consortium composé des quatre associations spécialisées grandes cultures (AGPB, AGPM, CGB et FOP), leurs quatre instituts techniques (Arvalis, Terres Inovia, ITB et ARTB) et d'Agrosolutions. Ce consortium s'articule de la façon suivante :

- Un comité de pilotage exécutif constitué des quatre associations spécialisées (AGPB, AGPM, CGB et FOP), maître d'ouvrage, qui décide des choix stratégiques et arbitre
- Un comité de rédaction de la Méthode (Promoteurs de la Méthode) constitué des quatre instituts techniques (Arvalis, Terres Inovia, ITB et ARTB), maîtres d'œuvre, qui portent, rédigent et déposent la Méthode, avec un appui opérationnel d'Agrosolutions. Le comité de rédaction i) associe à la rédaction un comité d'experts rassemblant des scientifiques reconnus pour leur expertise dans les domaines nécessaires à la rédaction de la Méthode, ainsi que des représentants d'autres Méthodes déjà approuvées ou en cours de rédaction, ii) consulte un comité des usagers pour remonter les questions et les propositions des futurs usagers de la Méthode, et iii) consulte un comité scientifique (ADEME, I4CE, INRAE, DGEC) pour anticiper l'instruction de la Méthode par le groupe de travail expert en charge de la validation de la Méthode.

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

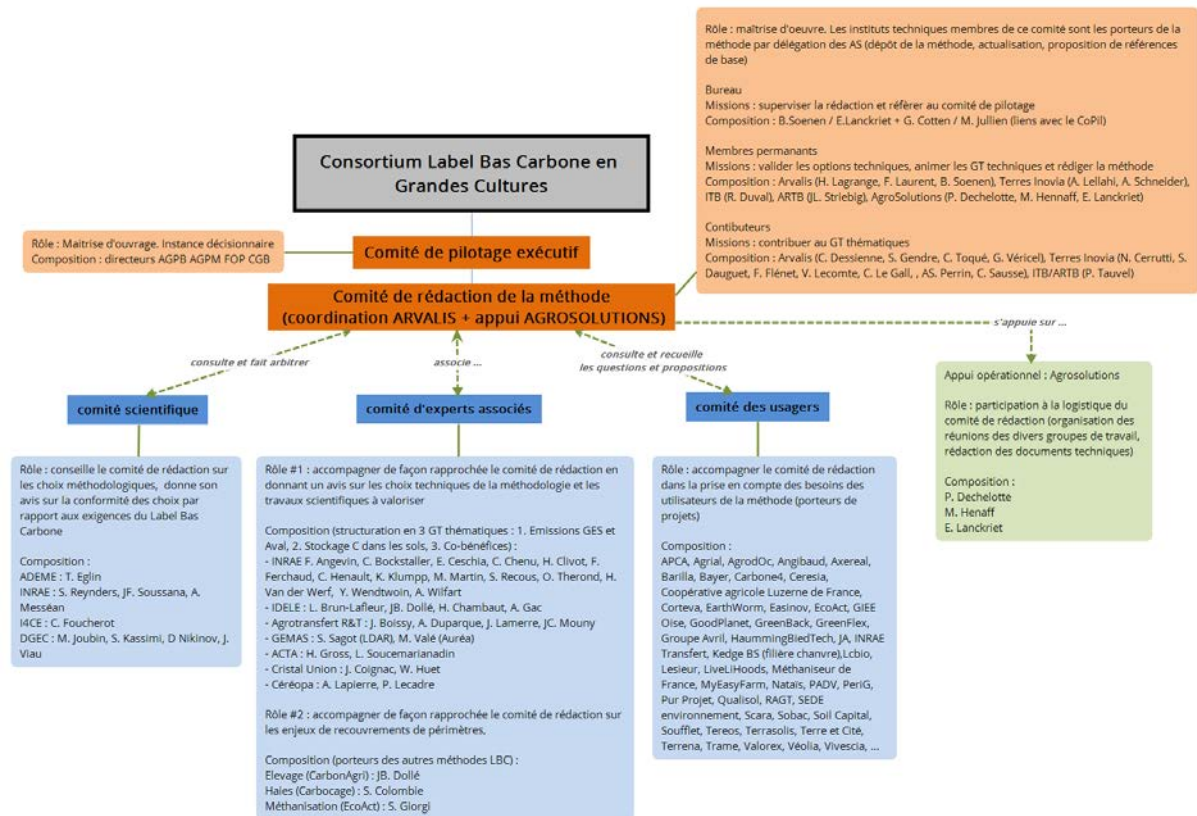


Figure 1 : Structuration du consortium LBC Grandes Cultures

1.3 Le Porteur de Projet

Le Porteur de Projet est l'entité qui porte le Projet éligible à la présente Méthode, remplit le document de Projet et fait la demande de certification de l'Autorité (entité en charge de la validation).

Toute personne, qu'elle soit de droit privé ou de droit public, peut être un Porteur de Projet. Un Projet peut être individuel et porté soit en direct par l'exploitation agricole (en nom propre ou sous forme sociétaire), soit via une tierce entité, appelée Mandataire. Un projet peut également être collectif, c'est-à-dire qu'il regroupe plusieurs exploitations agricoles, et dans ce cas le Porteur est un Mandataire.

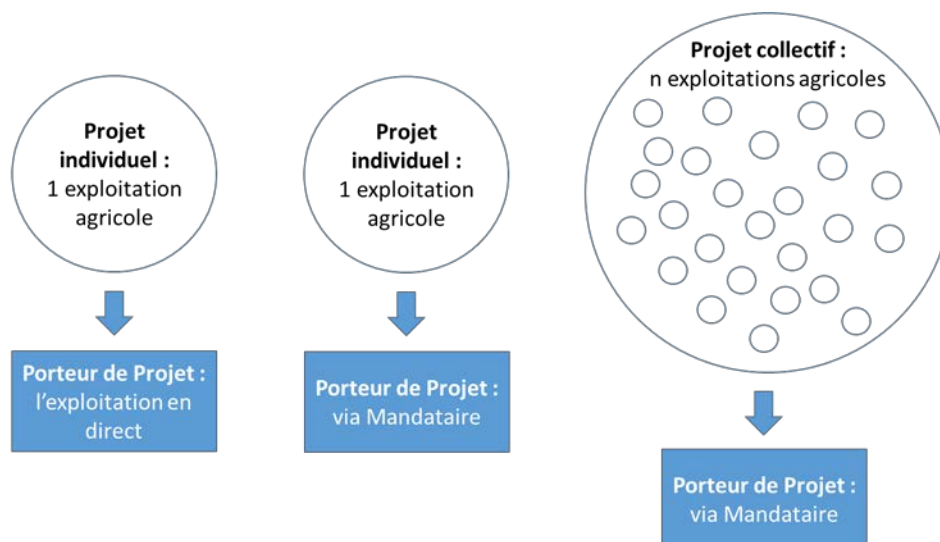


Figure 2 : Structurations possibles de portage d'un projet

1.4 Périmètre d'application de la Méthode

1.4.1 Périmètre de comptabilisation

Le périmètre de la Méthode LBC Grandes Cultures est l'exploitation agricole et plus particulièrement l'atelier grandes cultures (systèmes de culture en grandes cultures + bâtiments de stockage/séchage des grandes cultures).

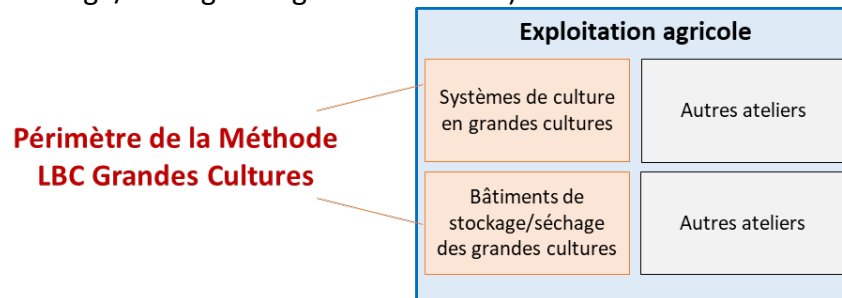


Figure 3 : Périmètre de la Méthode LBC Grandes Cultures

Les espèces concernées par la Méthode LBC Grandes Cultures sont les suivantes :

- céréales (blé tendre, blé dur, orge d'hiver, orge de printemps, maïs, sorgho...)
- oléagineux (colza, tournesol, lin oléagineux...)
- protéagineux et légumineuses à graines (soja, pois, féverole, lupin, lentille, pois chiche...)
- cultures fourragères assolées (prairie temporaire, luzerne...)
- cultures industrielles mécanisées (betterave, pomme-de-terre, lin fibre, chanvre fibre, légumes de plein champ...)
- production de semences et de plants

1.4.2 Maille de calcul

La maille de calcul, ou autrement dit le grain du scénario de référence, est le système de culture (SdC), qui se définit comme étant la combinaison entre le contexte pédoclimatique, la stratégie culturale (présence de prairies, gestion de la rotation et du travail du sol) et la conduite culturale (gestion de la fertilisation, des MAFOR, des résidus et de l'irrigation). Une étape préalable consistera donc à définir l'ensemble des SdC sur les exploitations des projets.

Cette échelle de travail a été privilégiée, car elle représente un bon compromis entre une représentation réaliste des exploitations agricoles et une opérationnalité de mise en œuvre de la Méthode (historique des pratiques d'une rotation longue accessible en seulement 3 ans, projection sur les leviers à mettre en place...).

Pour le suivi des Projets, la collecte des données concernant la conduite culturale se fera à l'échelle de la parcelle, puis sera agrégée à l'échelle des SdC ; la collecte des données de la stratégie culturale et du contexte pédoclimatique se fera à l'échelle des SdC. Dès lors qu'un SdC fait l'objet d'au moins un levier mis en œuvre, un suivi complet sera réalisé et la méthode d'évaluation des émissions de GES et du stockage de carbone dans le sol sera mise en œuvre. A contrario, pour les SdC sur lesquels aucun levier n'est mis en œuvre, un suivi allégé est proposé pour apporter des garde-fous sur les transferts potentiels entre SdC (cf. partie 8 de ce document).

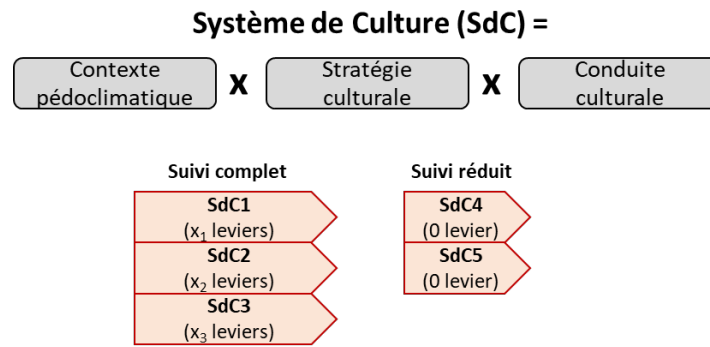


Figure 4 : Définition des systèmes de culture et principe de suivi

1.4.3 Réduction d'émissions couvertes

Les Réductions d'Emissions (RE) couvertes par la Méthode, concernent les RE directes, qui ont lieu sur le périmètre du Projet, mais aussi les RE indirectes, qui ont lieu en amont ou en aval de l'exploitation agricole. La Méthode Grandes Cultures ne couvre que des RE effectuées, car le risque de non permanence est trop important pour pouvoir couvrir des RE anticipées.

Plus précisément, les RE indirectes liées à l'amont du Projet, concerne les émissions de GES liées à l'achat des engrais et de combustibles fossiles pour les engins, l'irrigation et les bâtiments de stockage/séchage. Les RE directes prennent en compte les émissions directes ou indirectes de N₂O associées aux apports d'azote (engrais minéraux, engrais organiques, résidus de culture et minéralisation basale du sol), ainsi que la diminution des émissions de N₂O au profit du N₂ (N non réactif) en lien avec les pratiques agricoles comme le chaulage. Les RE directes tiennent également compte du stockage de carbone dans les sols, lié aux pratiques agricoles comme les couverts intermédiaires, les prairies temporaires, les MAFOR, l'augmentation des résidus de culture... Pour finir, les RE indirectes liées à l'aval du Projet concernent la réduction des émissions de GES liées au séchage des productions chez les organismes stockeurs.

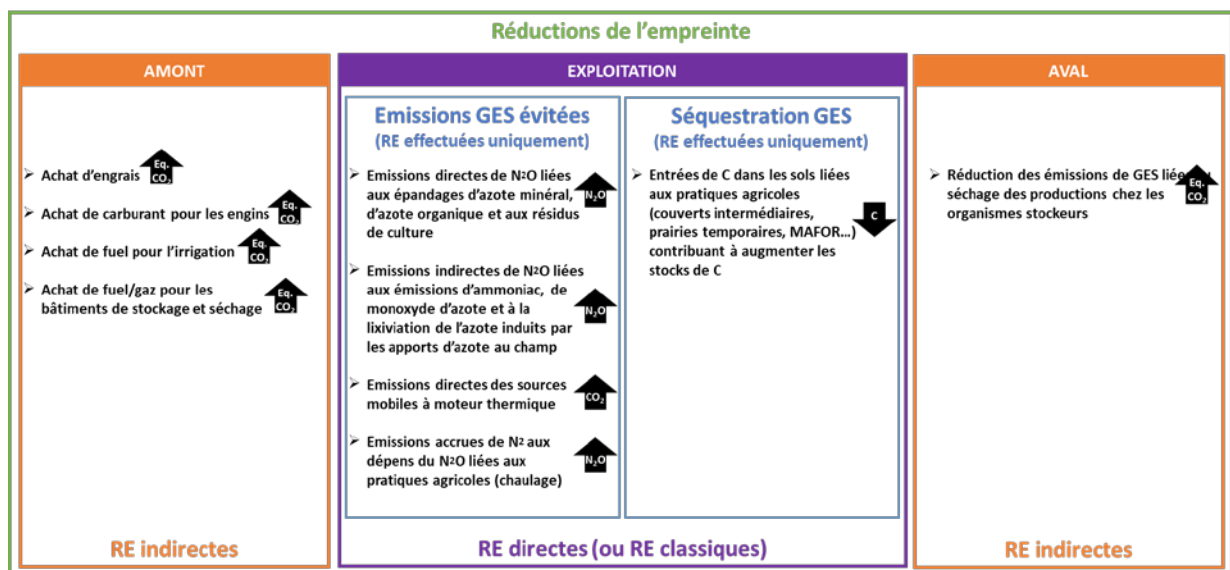


Figure 5 : Réductions d'émissions couvertes par la Méthode

1.5 Durée des Projets

La durée d'un Projet est fixée à 5 ans. Cette durée est un compromis permettant de limiter l'incertitude des méthodes utilisées pour évaluer le stockage de carbone dans les sols, tout

en préservant une projection raisonnable des modifications des ateliers de grandes cultures par les Porteurs de Projets.

Les Projets sont renouvelables sans limite, mais sous réserve de redémontrer l'additionnalité des leviers mis en œuvre et de validation par l'Autorité compétente.

1.6 Procédure de mise en œuvre de la Méthode

Les RE sont comptabilisées entre la labellisation du Projet par l'Autorité en début de processus et la vérification par un Auditeur en fin de processus (cf. Partie 8.1 pour en savoir plus sur les procédures administratives liés à la vie d'un Projet). La procédure de mise en œuvre de la Méthode LBC Grandes Cultures présentée dans ce document est résumée dans la figure suivante.

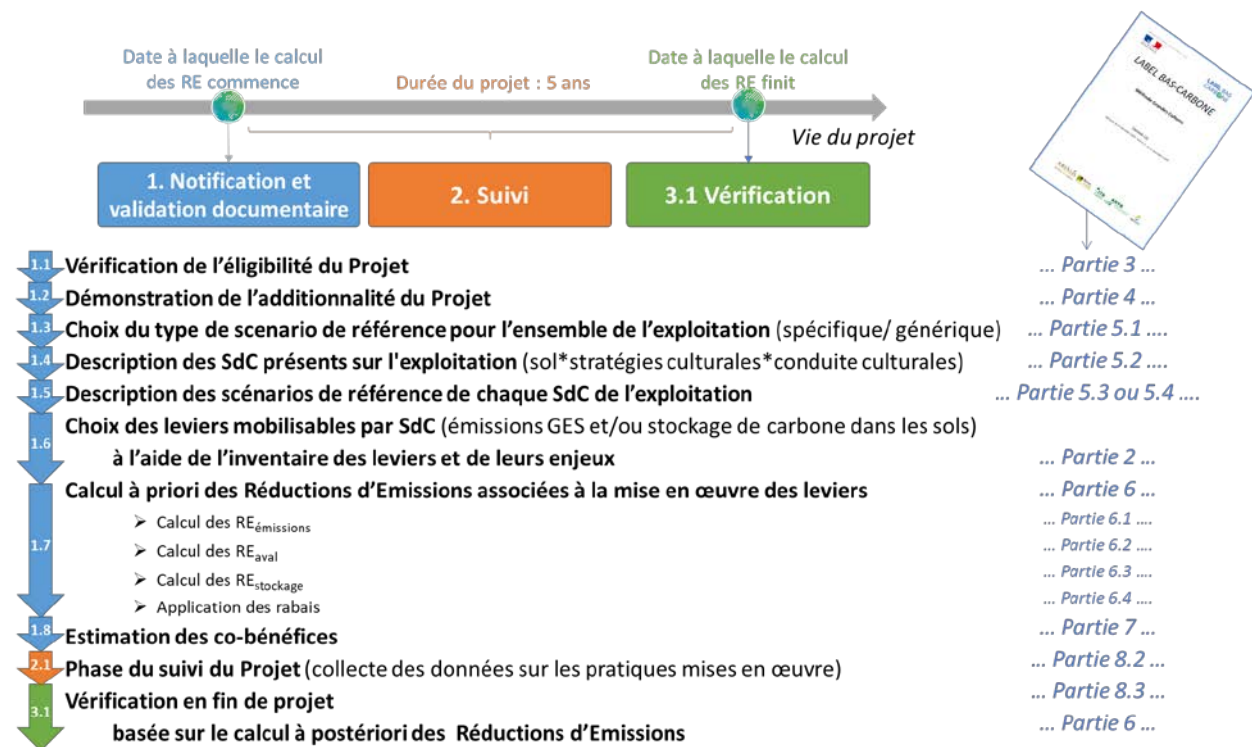


Figure 6 : Procédure de mise en œuvre de la Méthode

1.7 Articulation avec les autres Méthodes existantes

L'articulation avec l'ensemble des Méthodes déjà approuvées sur le secteur agricole au moment du dépôt de la présente Méthode est présentée ci-après. Pour les Méthodes en cours de validation par l'Autorité ou en cours de rédaction et qui ont pu être identifiées, ce document présente les orientations discutées avec les Promoteurs de ces Méthodes. L'articulation effective avec ces dernières sera donc décrite dans les Méthodes approuvées ultérieurement à la Méthode LBC Grandes Cultures.

1.7.1 Articulation avec la Méthode CarbonAgri

Promoteur IDELE

Méthode déjà approuvée lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures

Le périmètre du LBC Grandes Cultures ne couvre que les leviers strictement grandes cultures. Dès lors qu'il y a un atelier d'élevages bovins, les leviers liés à l'élevage (pâturage, restitution des effluents...) seront gérés par interopérabilité avec la Méthode CarbonAgri. Les

prairies temporaires sont dans le périmètre du LBC Grandes Cultures (car en rotation avec les grandes cultures), mais pas les prairies permanentes, qui sont dans le périmètre de la Méthode CarbonAgri. La Méthode CarbonAgri va intégrer la Méthode LBC Grandes Cultures pour les leviers liés aux grandes cultures dans sa prochaine mise à jour. Une exploitation déjà engagée dans un Projet avec la Méthode CarbonAgri dans lequel des leviers ont été identifiés sur les grandes cultures, ne pourra donc pas identifier ces mêmes leviers dans un nouveau Projet avec la Méthode LBC Grandes Cultures.

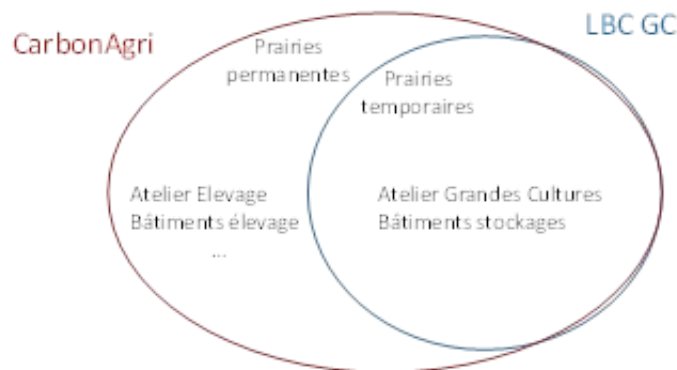


Figure 7 : Articulation avec la méthode CarbonAgri

1.7.2 Articulation avec la Méthode Haies

Promoteur CA Pays de la Loire

Méthode déjà approuvée lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures

Il n'y a pas de recouvrement de périmètre identifié entre la méthode Haies et la Méthode Grandes Cultures. Les deux Méthodes peuvent donc être utilisées de façon complémentaire.

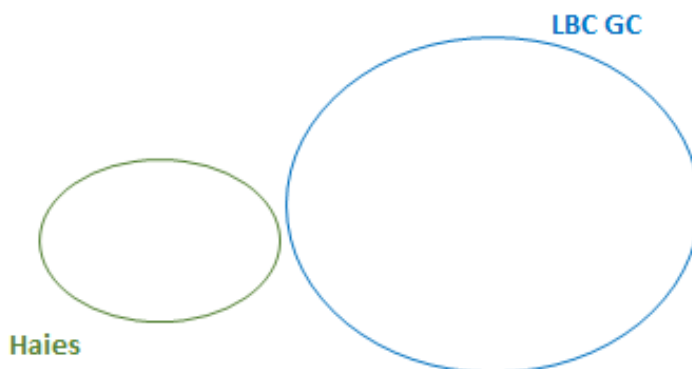


Figure 8 : Articulation avec la Méthode Haies

Au moment du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures, les Promoteurs de la Méthode Haies travaillent à la rédaction d'une version 2 qui intégrerait l'agroforesterie. Les premiers échanges font apparaître que cette mise à jour n'engendrerait pas à priori de recouvrement, cette information devant être confirmée lors du dépôt de la mise à jour de la Méthode Haie.

1.7.3 Articulation avec la Méthode Légumineuses

Promoteur Bleu Blanc Cœur

Méthode en cours de rédaction lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures

Le périmètre des deux Méthodes couvre l'atelier de grandes cultures des exploitations agricoles. La Méthode Légumineuses actionne uniquement le levier d'insertion de légumineuses dans la succession culturale pour la réduction des émissions de GES directes et indirectes, selon la même approche de comptabilisation des RE que la Méthode Grandes

Cultures. La Méthode Légumineuses est donc inclusive à la Méthode Grandes Cultures. Lorsqu'une exploitation agricole s'est déjà engagée dans un premier Projet avec la Méthode Légumineuses, il peut advenir qu'elle souhaite finalement valoriser d'autres leviers que l'insertion des légumineuses en s'engageant dans un deuxième Projet mobilisant la Méthode Grandes cultures. Il s'agira alors d'appliquer le Projet Grandes Cultures en prenant en compte l'ensemble des leviers y compris l'implantation des légumineuses, et de retrancher ensuite les RE vérifiées dans le cadre du Projet Légumineuses (sur la période de recoupement des deux projets uniquement).

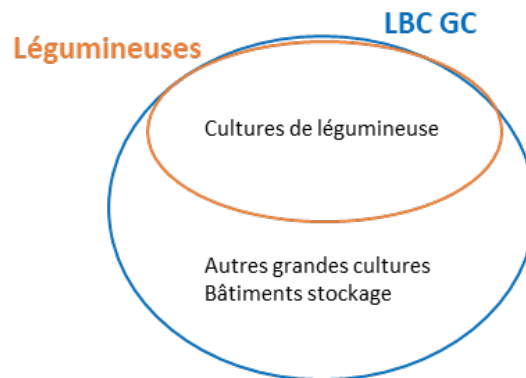


Figure 9 : Articulation avec la Méthode Légumineuses

1.7.4 Articulation avec la méthode Méthanisation

Promoteur GrDF

Méthode en cours de rédaction lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures

La Méthode LBC Grandes Cultures et la Méthode Méthanisation n'ont pas le même périmètre (respectivement centré sur l'exploitation et sur le méthaniseur). Les Promoteurs de ces deux Méthodes se sont coordonnés pour éviter les recouvrements de périmètres et l'articulation retenue est la suivante :

- Emissions liées à la production des biomasses qui rentrent dans le méthaniseur (interventions mécaniques liés au semis, apports organiques, récolte des CIVE...) : intégrées au périmètre de la Méthode LBC Grandes Cultures
- Emissions associées au transport des biomasses et à la production de biométhane (stockage pré-traitement, stockage post-traitement) : intégrées au périmètre de la Méthode LBC Méthanisation
- Emissions évitées par la production de gaz renouvelable (substitution d'énergie fossile) : intégrées au périmètre de la Méthode LBC Méthanisation
- Emissions de gaz à effet de serre liées au transport des digestats et à leur épandage : intégrées au périmètre de la Méthode LBC Méthanisation
- Emissions évitées liées au pouvoir fertilisant des digestats (substitution d'engrais minéraux) et effet des digestats sur le stockage de carbone dans les sols : intégrées au périmètre de la Méthode LBC Grandes Cultures

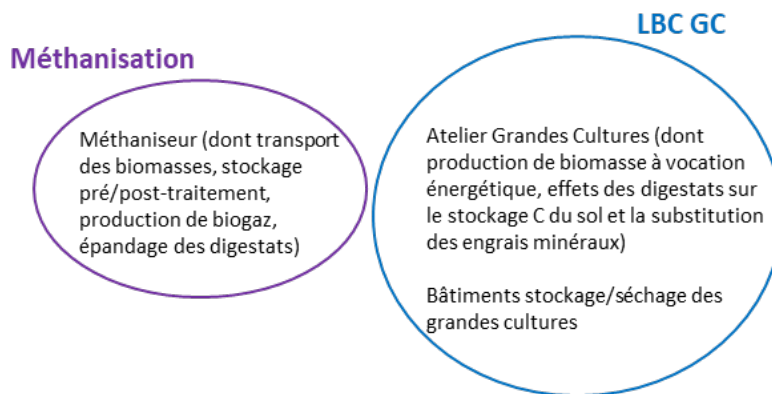


Figure 10 : Articulation avec le Méthode Méthanisation

Il n'y a donc pas de recouvrement pour le moment avec la Méthode LBC Grandes Cultures. Les deux Méthodes peuvent donc être utilisées de façon complémentaire.

1.8 Mise à jour des référentiels et de la Méthode

Les référentiels en annexe de cette Méthode pourront être mis à jour par le Promoteur, afin d'être complétés le cas échéant ou lorsque des évolutions des références nationales, voire internationales, utilisées le justifieront.

La présente Méthode pourra également faire l'objet de mises à jour lorsque des avancées scientifiques majeures permettront de quantifier plus précisément les réductions de GES ou le stockage de carbone dans les sols.

Ces mises à jour seront publiées sur le site du MTE. Si la Méthode est mise à jour en cours de projet, alors sa version la plus récente peut être utilisée pour la vérification en fin de Projet donnant lieu à la reconnaissance des RE, si et seulement si elle ne génère pas une perte de RE par rapport à la version en application au moment de la labellisation du Projet.

2. Les bénéfices des Projets pour l'économie bas-carbone

D'un côté le secteur agricole contribue pour 19% des émissions de GES de la France, soit 85.3 MtCO₂eq pour l'année 2018 selon les inventaires du CITEPA, et pour 88% des émissions de protoxyde d'azote (N₂O, un gaz à effet de serre 265 fois plus puissant que le CO₂). L'objectif affiché dans la SNBC est de réduire d'un facteur deux les émissions du secteur agricole à horizon 20250.

D'un autre côté, le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt) est un puits de carbone, via l'absorption de CO₂ grâce à la photosynthèse et le stockage d'une partie de ce carbone dans la biomasse et les sols. Toujours selon le CITEPA, le secteur des terres cultivées en France représente en 2018 une source de 19.6 MtCO₂eq, alors que la prairie constitue un puits de -7.6 MtCO₂eq. D'après l'étude 4p1000 (Pellerin *et al.*, 2019), le potentiel de stockage de carbone dans les sols agricoles à horizon 2050 est important, à hauteur de -31 MtCO₂eq/an.

Les références présentées dans les tableaux de cette partie représentent des potentiels de RE liées à la mobilisation des leviers ciblés par cette Méthode. L'effet global des leviers peut être la résultante d'effets contradictoires entre le stockage de carbone dans les sols et les émissions de GES. Par exemple le levier de la restitution des résidus de culture va permettre d'augmenter le stockage de carbone dans les sols, mais dans le même temps il sera responsable d'une augmentation des émissions de GES. C'est pourquoi la Méthode Grandes Cultures nécessite de comptabiliser ces deux composantes de façon systématique dès lors qu'un levier est activé.

Les tableaux présentés dans cette partie listent les leviers mobilisables par la Méthodes LBC Grandes Cultures. Des informations sur le potentiel de RE sont également données. Elles sont données à titre indicatifs afin d'estimer un ordre de grandeur des potentiels de RE pour aider les Porteurs de Projet à sélectionner les leviers mobilisables.

Le calcul des RE à priori (en début de Projet) et à posteriori (en fin de Projet) sera ensuite à réaliser selon la méthode décrite en partie 6.

2.1 La diminution des émissions de GES associées à la fertilisation azotée

Tableau 1 : Liste des leviers « fertilisation azotée »

| Leviers de réduction des émissions de GES | Potentiel de RE |
|---|--|
| <p>Réduire la dose d'azote minéral apportée sur le système de culture</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustement du calcul de dose prévisionnelle grâce à une meilleure prise en compte des apports et des objectifs de rendements réalistes • Prise en compte des conditions climatiques pour le déclenchement des apports • Utilisation d'outils de pilotage • Modulation intraparcellaire | <p>Environ -12,7 kgeqCO₂/kgN minéral évité (en considérant la réduction d'émissions directes au champ et indirectes liée à la fabrication des engrais)</p> |
| <p>Améliorer l'efficacité de l'azote apporté et valorisé par la plante en limitant la nitrification/dénitrification, la volatilisation et la lixiviation – Agir sur la nitrification / dénitrification :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'inhibiteurs de nitrification • Chaulage des sols acides (uniquement pour les pH_{eau} initial < 6.8 et dans l'objectif d'atteindre une | <p>Utiliser des inhibiteurs de nitrification : -317 kg CO₂ eq/ha/an (Pellerin <i>et al.</i>, 2013)</p> <p>Substituer 100 kgN d'urée par 100 kgN d'ammonitrate : -114 kgeqCO₂/ha/an</p> |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| | |
|---|--|
| <p>valeur de 6.8)</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilisation de formes d'engrais moins émettrices (réduction de l'utilisation des formes uréiques, inhibiteurs d'uréase) Enfouissement des apports organiques et minéraux | <p>Enfouir les engrais dans le sol : -219 kgeqCO₂/ha/an (Pellerin et al., 2013)</p> |
| <p>Introduire des légumineuses fixatrices d'azote dans la rotation (en culture principale, associée ou intermédiaire) ou des cultures/variétés à plus faible besoin en azote</p> | <p>Jusqu'à -2000 à -2200 kgeqCO₂/ha pour une féverole, un pois, un soja ou un lupin en culture principale non fertilisée par rapport à une culture fertilisée comme le blé (références AGRIBALYSE).</p> <p>A cela s'ajoute la réduction de dose sur la culture suivante (références ECOALIM) :</p> <ul style="list-style-type: none"> environ -200 kgeqCO₂/ha pour un précédent soja ou pois (par exemple 170 kgeqCO₂/ha pour le maïs suivant et 230 kgeqCO₂/ha pour le blé suivant) environ -1990 kgeqCO₂/ha pour une luzerne et -1600 kgeqCO₂/ha pour une prairie temporaire mixte avec trèfle |

2.2 La diminution des émissions de GES associées aux combustibles fossiles

Tableau 2 : Liste des leviers « Combustibles fossiles »

| Leviers de réduction des émissions de GES | Potentiel de RE |
|---|--|
| <p>Réduire la consommation de combustibles fossiles associée aux engins et à l'irrigation (fioul, GNR, gaz)</p> <ul style="list-style-type: none"> Réduire le nombre de passage des engins agricoles sur le système de culture (simplification du travail du sol, passage au semis direct...) Réduire la consommation d'énergie des engins (écoconduite, banc d'essais moteurs, motorisation électrique, autoguidage RTK) Réduire la consommation d'énergie du système d'irrigation (choix de matériel moins gourmands en énergie) | <p>-3,25 kgeqCO₂/L de GNR économisée</p> <p>Références sur la réduction de la consommation de carburant des engins:</p> <ul style="list-style-type: none"> Passage au banc d'essai moteur pour une exploitation type de grandes cultures : -7,2 L/ha (ALPA, 2012) Eco-conduite : -20 % soit -16 L/ha (Pellerin <i>et al.</i>, 2013) Auto-guidage RTK sur betterave : - 2 à -8 L/ha (Couvreur, FDCuma53) Passer de TCS au semis direct : -13 L/ha (CA Lorraine, 2009) Révision ou changement de la pompe pour l'irrigation : -0,29 kWh/m³ (Arvalis et CA Alsace, 2013) |
| <p>Réduire la consommation de combustibles fossiles associée au séchage et au stockage des grandes cultures</p> <ul style="list-style-type: none"> Réduire la consommation d'énergie du système de séchage et/ou de stockage de l'exploitation | <p>Séchage en crib d'1 ha de maïs grain par rapport à un séchage au gaz naturel de maïs grain à 25% d'humidité : -460 kgeqCO₂/ha (-6,5 GJ/ha de gaz pour le séchage +3,4 L/ha de GNR pour la récolte et le transport) (CRAGE, livret ACSE, 2020)</p> |

2.3 Le stockage de carbone dans le sol

Tableau 3 : Liste des leviers sélectionnés pour permettre le stockage de carbone dans les sols

| Leviers de stockage de carbone dans les sols | Potentiel de RE (stockage sur l'épaisseur 0-30 cm de sol) |
|---|---|
| Augmenter la quantité de biomasse restituée par les couverts végétaux, par exemple par l'intégration ou extension des couverts végétaux dans les rotations. | <p>Stockage additionnel moyen en France estimé à +126 kgC/ha/an \pm 93 kgC/ha/an (soit 462 kgeqCO₂/ha/an \pm 341 kgeqCO₂/ha/an).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intégration des couverts : +174 kgC/ha/an (soit +639 kgeqCO₂/ha/an) • Extension des couverts : +16 kgC/ha/an (soit +59 kgeqCO₂/ha/an) <p>(Pellerin <i>et al.</i>, 2019)</p> |
| Augmentation des restitutions par les résidus de cultures (restitution des résidus, augmentation de la production de biomasse par unité de surface) | <p>Effet fortement dépendant des rendements et des espèces implantées.</p> <p>A titre indicatif, la comparaison du carbone restitué par les cultures testées sur un cas-type en Picardie a été effectuée pour le projet de recherche SOLÉBIOM. Les cultures restituent entre 400 et 1600 kgC/ha/an (soit entre 1468 et 5867 kgeqCO₂/ha/an) (Perrin <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>Ce carbone incorporé au sol subira ensuite la minéralisation. Un bilan global est nécessaire pour estimer le stockage additionnel dans le sol. Il peut être approché par modélisation.</p> |
| Augmentation des apports de matières amendantes ou fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) sur l'exploitation (effluents d'élevage, composts, déchets urbains et industriels, digestats ...) | <p>Effet dépendant des quantités apportées, de la nature du produit et des caractéristiques du sol.</p> <p>Valeurs moyennes de stockage additionnel (Pellerin <i>et al.</i>, 2019) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Composts : +500 kgC/ha/an soit +1835 kgeqCO₂/ha/an (en moyenne 38% du C apporté par les composts d'effluents d'élevage est stocké; 40 à 42% pour les composts de déchets verts, de boues d'épuration ou de biodéchets) • Fumiers : +300 kgC/ha/an soit +1101 kgeqCO₂/ha/an (en moyenne 24% du C apporté par des fumiers divers est stocké, 36% pour les fumiers de bovins) • Lisiers : +100 kgC/ha/an soit +367 kgeqCO₂/ha/an (en moyenne 18% du C apporté par les lisiers est stocké) • Boues d'épuration : < +100 kgC/ha/an soit < à 367 kgeqCO₂/ha/an (en moyenne 30% du C apporté par les boues est stocké) |
| Insertion et allongement des prairies temporaires et artificielles (luzerne par exemple) dans les rotations | <ul style="list-style-type: none"> • Allongement des prairies déjà présentes : stockage de + 28kgC/ha/an \pm 78 kgC/ha/an (soit +102 kgeqCO₂/ha/an \pm 286 kgeqCO₂/ha/an) • Insertion de 3 ans de prairies temporaires : stockage en moyenne +466 kgC/ha/an \pm 160 kgC/ha/an (soit +1709 kgeqCO₂/ha/an \pm 587 kgeqCO₂/ha/an) <p>NB : ces résultats sont très dépendants de la culture qui est remplacée par la prairie.</p> <p>(Pellerin <i>et al.</i>, 2019)</p> |

Les potentiels de RE permis par le stockage du carbone sont le résultat d'un bilan entre le carbone entrant dans le système et le carbone sortant du système par minéralisation. Ce résultat est en partie soumis aux effets de facteurs pédoclimatiques indépendants des choix du Porteur de Projet. Le potentiel de RE est donné ici à titre indicatif, il représente une moyenne pour la France dans des contextes où les leviers cités peuvent être mis en place.

Les leviers de pratiques « stockantes » sont présentés ici indépendamment les uns des autres mais, la combinaison est possible et permet d'accroître le stockage de carbone. Le complément au rapport "Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?", de Constantin *et al.*, 2020 ; estime un potentiel de stockage de +184 kgC/ha/an (soit +675 kgeqCO₂/ha/an) sur l'épaisseur 0-30 cm du déploiement simultané de trois pratiques : extension des cultures intermédiaires, insertion et allongement de prairies temporaires, mobilisation de nouvelles ressources organiques.

2.4 La diminution des émissions de GES en aval de l'exploitation

Tableau 4 : Liste des leviers « Aval »

| Leviers de réduction des émissions de GES | Potentiel de RE |
|---|--|
| Réduire la consommation de combustibles fossiles associées au séchage à niveau des organismes stockeurs <ul style="list-style-type: none">Mettre en place un itinéraire technique permettant de récolter à plus faible teneur en humidité | 3,417 kgeqCO ₂ /kg de gaz naturel économisé Avec une consommation moyenne des séchoirs de 80 kg de gaz naturel / tonne d'eau à évaporer, cela fait - 27,3 kgeqCO ₂ /100 tonnes livrées à -1% d'humidité (avec un plancher à 25% pour le maïs par exemple) |

PS : les autres types de RE aval seront considérés en version 2 de la méthode.

3. Les critères d'éligibilité des Projets

Cette partie précise les conditions à remplir par le Porteur de Projet pour être éligible à la Méthode LBC Grandes Cultures. Si une des conditions sous-mentionnées n'est pas justifiée ou satisfaite lors du dépôt de dossier, celui-ci sera systématiquement rejeté par l'Autorité. Toutefois, le Porteur de Projet pourra corriger les éléments manquants de son dossier et faire un nouveau dépôt.

Pour être éligible à la Méthode LBC Grandes Cultures, les Projets doivent remplir les conditions suivantes :

- ✓ Exploitation ayant un atelier de grandes cultures
- ✓ Utilisation d'un outil certifié conforme (par un organisme de certification indépendant) à la Méthode LBC Grandes Cultures pour la réalisation des calculs des RE par le Porteur de Projet (*cf.* Partie 8.4)
- ✓ Respect du cadre national de la Directive Nitrates (notamment le plafond 170 kgN / ha de SAU contenus dans les effluents d'élevage pouvant être épandus annuellement), y compris hors zones vulnérables
- ✓ Respect de la conditionnalité de la PAC
- ✓ Respect des quotas d'eau d'irrigation le cas échéant
- ✓ $RE_{\text{émissions}} + RE_{\text{stockage}} > 0$

Tous ces critères permettent de garantir l'intégrité environnementale du Projet, en apportant des garde-fous sur l'impact environnemental des principaux leviers identifiés dans cette Méthode (gestion de la fertilisation azotée, couverture des sols, gestion de l'irrigation...), mais aussi des pratiques non référencés dans cette Méthode mais dont les impacts environnementaux peuvent être importants (utilisation des produits phytosanitaires...).

En complément une analyse des impacts et des co-bénéfices socio-économiques et environnementaux est proposée (*cf.* partie 7 de la Méthode), afin de démontrer que ces éventuels impacts sont maîtrisés.

4. Démonstration de l'additionnalité des Projets agricoles

L'additionnalité est un concept-clé des projets financés par les marchés du carbone, c'est une condition nécessaire pour leur éligibilité à un tel mécanisme de financement. Un Projet est additionnel lorsqu'il permet de lever les freins à la mise en œuvre des leviers bas-carbone qui, sans les apports financiers ou techniques du projet, n'auraient pas pu être mise en œuvre.

En agriculture les freins à la mise en œuvre des leviers bas-carbone ne sont pas uniquement financiers, mais peuvent être de natures multiples (*cf.* paragraphe suivant). La manière de réaliser la démonstration d'additionnalité pour les Porteur de Projet est présentée en partie 4.2 de ce document pour un premier Projet et en partie 4.3 pour un renouvellement.

4.1 Freins liés à la mise en œuvre des leviers sur les exploitations en grandes cultures

Cette partie présente une revue de littérature des freins identifiés à la mise en œuvre des leviers bas-carbone sur les exploitations agricoles.

4.1.1 Leviers permettant de réduire les émissions de GES des exploitations agricoles

Réduction de doses d'azote apporté sous forme minérale ...

- ... via l'apport d'azote sous forme organique

Pour ce levier, se référer aux éléments indiqués en partie 4.1.1 sur l'épandage de nouvelles ressources organiques.

- ... via l'introduction des légumineuses dans les cultures intermédiaires

Malgré un potentiel de gain économique direct pour l'agriculteur (10 €/ha/an en moyenne selon Pellerin *et al.*, 2013), ce levier met du temps à être déployé par les agriculteurs principalement, selon les auteurs, pour des raisons de difficultés techniques à gérer les adventices dans ces conditions.

Réduction des pertes lors des apports d'engrais azotés (liste non exhaustif des leviers) ...

- ... via l'enfouissement des apports d'engrais organiques azotés

Malgré un potentiel de gain économique direct pour l'agriculteur (11,6 €/ha/an en moyenne selon Pellerin *et al.*, 2013), ce levier met du temps à être déployé par les agriculteurs principalement pour des raisons de cycles d'investissement : le renouvellement du matériel adapté implique un investissement de l'ordre de 20 à 30 k€.

- ... via l'enfouissement des engrais minéraux dans le sol

Malgré un potentiel de gain économique direct pour l'agriculteur (9,1 €/ha/an en moyenne selon Pellerin *et al.*, 2013), ce levier met du temps à être déployé par les agriculteurs principalement pour des raisons de cycles d'investissement : le renouvellement du matériel et l'achat par exemple d'un semoir équipé pour enfouir l'engrais au semis implique un investissement de l'ordre de 20 k€.

- ... via un retard de la date du premier apport sur céréales à paille

Malgré un potentiel de gain économique direct pour l'agriculteur (22,7 €/ha/an en moyenne selon Pellerin *et al.*, 2013), ce levier reste peu déployé par les agriculteurs car ils craignent une baisse de rendement.

Introduction de légumineuses fixatrices d'azote dans la rotation

Selon Magrini *et al.*, 2015, l'augmentation de la production de légumineuses se heurte à un système agro-industriel qui s'est organisé en faveur des cultures majeures, de l'amont à l'aval, sur le marché de l'alimentation animale, mais également sur le marché de l'alimentation humaine. La structuration progressive des acteurs, des technologies, des

infrastructures, des institutions et des normes au fil des dernières décennies, a en effet conduit à un système très cohérent, autour d'un paradigme fondé sur l'intensification productive par l'agrochimie et des critères de sélection génétique associés. Malgré la volonté actuelle d'enclencher une transition vers une agriculture plus durable dans laquelle les services écosystémiques rendus par les systèmes avec légumineuses, qu'elles soient à graines ou fourragères, auraient toutes leurs intérêts, les surfaces n'augmentent pas. Les analyses de marges annuelles des cultures sur laquelle se base la plupart des décisions d'implantation souligne une faible compétitivité des récoltes de légumineuses par rapport aux autres productions végétales. Pour faire basculer des choix productifs en leur faveur une incitation significative au changement est nécessaire : la reconnaissance monétaire des réductions de GES pourra enclencher, *in fine*, des rendements croissants d'adoption en faveur des légumineuses. Alors pourra s'effectuer une augmentation significative des surfaces, ce qui apporte à la fois un bénéfice environnemental effectif au niveau national et une consolidation des filières par le volume et la valeur ajoutée.

Accroissement de la durée des prairies temporaires

Selon Pellerin *et al.*, 2013, « de multiples freins semblent s'opposer à l'allongement de la durée de vie des prairies temporaires. D'une part, la rentabilité sur le long terme de l'action est remise en question au regard des pertes de rendement (en quantité et/ou en valeur fourragère) importantes qui surviennent généralement à partir de la 4^{ème} année ; pertes résultant de la dégradation "naturelle" (évolution de la flore) des prairies non ressemées. D'autre part, le passage à l'acte est d'autant plus difficile qu'il engendre une évolution en profondeur du système de culture. Aussi, il reste difficile d'évaluer dans quelles mesures ces deux principaux freins sont pleinement objectifs ou au contraire plus subjectifs et découlent soit d'un besoin d'une montée en compétences des exploitants ou de réticences psychologiques. ».

Réduction du passage d'engins (liste non exhaustif des leviers) ...

- ... via le recours au semis direct

Le passage au semis direct présente un coût économique moyen estimé à 13€/ha/an, la réalité de ce chiffre est à pondérer selon les régions et les fluctuations économiques des marchés d'intrants d'une part, des commodités agricoles d'autre part. Les résultats de ce calcul montrent que, outre les freins non-économiques, le coût économique limite l'adoption de cette pratique.

Tableau 5: Coût technique du passage en semis direct

| Effets à considérer | Postes de dépenses et recettes <i>Hypothèses techniques et économiques retenues</i> | Coût annuel moyen (€/ha/an) | |
|---|--|-----------------------------|--------------------|
| | | Moyenne nationale | Extrêmes régionaux |
| Variation des charges de mécanisation et du travail | Economie de carburant et réduction du temps de travail | -29 | -14 à -44 |
| | Investissement dans un semoir adapté au semis direct | 2 | 0,2 à 4 |
| ↗ densité de semis | Densité de semis augmentée d'environ 20% | 15 | 8 à 28 |
| Variations de rendement | Baisse du rendement des céréales cultivées pour la vente <i>Manque à gagner sur les ventes</i> | 20 | 7 à 52 |
| | Variation du rendement des prairies et fourrages destinés aux animaux <i>Compensation par une modification de la ration alimentaire</i> | 6 | -14 à 12 |
| Coût total pour l'agriculteur | | 13 €/ha/an | -23 à 40 |

(Source : Pellerin *et al.*, 2019)

4.1.2 Leviers permettant de stocker du carbone dans les sols

Implantation et extension de couverts végétaux

L'implantation et l'extension de cultures intermédiaires présente un coût économique moyen estimé à 39€/ha/an. La réalité de ce chiffre est à pondérer selon les régions et les fluctuations économiques des marchés d'intrants d'une part, des commodités agricoles d'autre part. Les résultats de ce calcul montrent que, outre les freins non-économiques, le coût économique de cette pratique en limite l'adoption.

Tableau 6: Coût technique de l'extension des cultures intermédiaires

| Effets à considérer | Postes de dépenses et recettes <i>Hypothèses techniques et économiques retenues</i> | Coût annuel moyen (€/ha/an) | |
|--|--|-----------------------------|--------------------|
| | | Moyenne nationale | Extrêmes régionaux |
| Semis et destruction du couvert | Mise en place de la culture intermédiaire (achat de semences, déchaumage + semis, irrigation...) <i>Semis de moutarde ou de ray-grass en interculture d'hiver ; semis de féverole après un maïs grain ou de vesce en interculture d'été. Possibilité d'irriguer (30 mm) pour assurer la levée</i> | 65 | 10 à 119 |
| | Destruction mécanique <i>Par un labour, sauf dans les sols à >25% d'argile où le couvert est détruit par un roulage suivi d'un travail sans retournement</i> | 3,4 | 0 à 6,7 |
| Effets sur le rendement de la culture suivante | Baisse ou augmentation du rendement sur la surface en culture <i>Simulé par STICS</i> | 30 | -79 à 28 |
| | Coût total pour l'agriculteur | 39 €/ha/an | 12 à 147 |

(source Pellerin *et al.*, 2019)

Maintien de résidus de cultures au sol

Aucune référence liée à l'évaluation économique de ce levier n'a été identifiée dans la littérature. Selon les dires d'experts différents freins expliquent les limites au déploiement de ce levier : laissés au sol, les résidus de cultures peuvent avoir des impacts négatifs favorisant le développement de certaines maladies et ravageurs (piétin échaudage, piétin verse, pyrales, limaces ...). Par ailleurs les pailles sont souvent vendues aux éleveurs et les maintenir au sol engendre donc une baisse de revenus potentielle pour les exploitants agricoles.

Allongement et insertion de prairies temporaires

L'allongement et l'insertion de prairies temporaires présente un coût économique moyen estimé à 91€/ha/an, la réalité de ce chiffre est à pondérer selon les régions et les fluctuations économiques des marchés d'intrants d'une part, des commodités agricoles d'autre part. Les résultats de ce calcul montrent que, outre les freins non-économiques, le coût économique de cette pratique en limite l'adoption.

Tableau 7 : Coût technique de l'allongement et de l'insertion des prairies temporaires

| Effets à considérer | Postes de dépenses et recettes <i>Hypothèses techniques et économiques retenues</i> | Coût annuel moyen (€/ha/an) | |
|--------------------------------------|--|-----------------------------|--------------------|
| | | Moyenne nationale | Extrêmes régionaux |
| Modification des assolements | Suppression de cultures intermédiaires (économie de semences et travail du sol) | -1 | -5 à 0 |
| | Diminution de la surface allouée aux cultures (manque à gagner sur les ventes de ces cultures) | 96 | 22 à 275 |
| | Changement d'itinéraires techniques sur les hectares concernés (baisse des charges en intrants variables) | -24 | -101 à 0 |
| | Modification des rations alimentaires pour les animaux (augmentation de l'herbe pâturée et du foin, et baisse du maïs fourrage) <i>Taille du troupeau et part de prairie pâturée constantes</i> | 10 | -84 à 166 |
| Modification des pratiques agricoles | Diminution de la fertilisation minérale sur les cultures suivant les prairies | -8 | -15 à 3 |
| | Variation du rendement affectant le revenu lié aux ventes des cultures (l'impact sur la ration alimentaire est pris en compte dans le 4 ^e poste) | 23 | -27 à 57 |
| | Coût total pour l'agriculteur | 91 €/ha/an | -40 à 263 |

(source Pellerin *et al.*, 2019)

Épandage de matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR)

L'augmentation d'apport de produits résiduaire organiques (PRO) issus des effluents d'élevage, ou plus largement de toutes MAFOR (dont les déchets verts, les boues urbaines ou autres déchets urbains), a un coût pour l'agriculteur d'autant plus s'il n'a pas d'atelier élevage sur l'exploitation.

L'étude INRAE (Pellerin *et al.*, 2019) s'est focalisée sur les nouvelles ressources organiques (NRO) à l'échelle de la ferme France : dans ce cas, l'épandage des NRO présente un coût négatif moyen de l'ordre de -52 €/ha/an.

Tableau 8 : Coût technique de la mobilisation de nouvelles ressources organiques

| Effets à considérer | Postes de dépenses et recettes <i>Hypothèses techniques et économiques retenues</i> | Coût annuel moyen (€/ha/an) | |
|--------------------------------------|--|-----------------------------|----------------------|
| | | Moyenne nationale | Extrêmes régionaux |
| Achat, transport et épandage des NRO | Achat de NRO 17 €/tMB compost biodéchets ; 7,5 €/tMB composts boues ; 19 €/tMB composts déchets verts ; 0 €/tMB digestats | 26,7 | 9 à 41 |
| | Transport des NRO Composts de boues de STEP et digestats de biodéchets livrés gratuitement ; pour les autres composts, coût de 13 €/tMB pour une distance moyenne de 35 km | 13,4 | 0 à 26 |
| | Épandage des NRO Composts 15 tMB/ha épandu ; Digestats 25 tMB /ha épandu ; Composts de boues de STEP et digestats de biodéchets épandus gratuitement | 3,5 | 1 à 7,9 |
| ↳ fertilisation minérale N | Diminution de la dose et du nombre de passages -20 uN/ha de blé et colza, -70 uN/ha de maïs, -40 uN/ha de tournesol recevant des NRO 1 passage /ha en moins pour le maïs (grain et fourrage) et le tournesol | -6,6 | -11,8 à -1,9 |
| Variations de rendements | Augmentation du rendement des cultures de vente Simulée par STICS | -78 | -133 à -8,8 |
| | Variation de rendement des fourrages Simulée par STICS | -10 | -40 à 2,3 |
| Coût total pour l'agriculteur | | -51,6 €/ha/an | -116,6 à -8,2 |

(source Pellerin *et al.*, 2019)

Les freins à l'adoption généralisée de la valorisation des MAFOR sont donc de nature principalement non économique :

- réglementaire : en cas d'épandage de produits non normalisés ou sans autorisation de mise sur le marché, les agriculteurs sont soumis à des plans d'épandage qui régulent les quantités de produits organiques qu'ils sont autorisés à appliquer sur leurs parcelles. Le non-respect de ces plans d'épandage est sanctionné par des amendes, l'épandage de ressources organiques par les agriculteurs requiert de fait une grande maîtrise de la pratique de leur part et une estimation précise de la nature du produit épandu. Une trop faible maîtrise de cette complexité est associée à un risque financier (amende) qui limite l'adoption de cette pratique. Pour ces raisons non-économiques un grand nombre d'agriculteurs n'adopte pas la pratique (aversion au risque).
- normative : en raison de la grande diversité de leur composition (liée à la diversité de de leurs origines et des procédés de leur obtention), il est difficile de connaître précisément le contenu en éléments nutritifs et la valeur agronomique des produits organiques, aussi les exploitants agricoles leur préfèrent les engrais industriels minéraux dont la composition en différents éléments est précisément connue.
- Faible disponibilité des produits pour les exploitations en grandes cultures (éloignement des zones d'élevages du pays ; contraintes réglementaires limitant les échanges entre pays européens)

Pour certaines MAFOR issues des zones urbaines, s'ajoute la nécessité de démontrer leur innocuité pour éviter les risques sanitaires, avec des risques de potentielles pollutions des MAFOR en éléments ou molécules toxiques (métaux lourds, antibiotiques, etc.).

4.1.3 Leviers liés à la valorisation des productions en aval du Projet

Le cadre du Label Bas-Carbone permet de prendre en compte des réductions d'émissions indirectes aval pour valoriser la contribution du Projet à réduire des émissions de gaz à effet de serre sur un périmètre autre que celui de l'exploitation agricole du Projet.

Récolte de cultures à plus faible teneur en humidité pour réduire les consommations d'énergie fossile au niveau des organismes stockeurs pour sécher les récoltes

Choisir des variétés plus précoces de manière à avancer les stades de développement permet de récolter le grain à une teneur en eau plus faible et donc de réduire l'énergie nécessaire pour le séchage. Dans certaines situations, cela peut s'accompagner également d'une esquivage partielle du stress hydrique de fin de cycle. Cependant, des freins existent à la mise en place de cette stratégie et l'esquivage se traduit par un renoncement à des rendements plus élevés avec des variétés plus tardives en année à bonne pluviométrie ou en année à déficit hydrique de début de cycle suivi d'un retour des pluies en août pour le maïs par exemple. (source : www.arvalis-infos.fr, Adapter les pratiques culturales au changement climatique)

4.2 Démonstration de l'additionnalité pour un premier Projet

La description de l'ensemble des barrières existantes à la mise en œuvre de pratiques bas-carbone sur les exploitations de grandes cultures met en évidence que ces pratiques ne sont pas usuelles et font face à de nombreux freins pour leur déploiement.

De ce fait, il peut être considéré que les Projets Grandes Cultures sont dans la majeure partie des cas additionnels et qu'ils ne se seraient pas mis en œuvre et/ou que les pratiques ne se seraient pas maintenues sans les financements du LBC.

Pour assurer l'additionnalité complète et justifier que les Projets LBC Grandes Cultures ne bénéficient pas déjà de subventions publiques ou d'aides existantes leur permettant de mettre en œuvre et/ou de maintenir les pratiques bas-carbone, le Porteur de Projet devra suivre les deux étapes suivantes :

Etape 1 : Evaluer le niveau de subventions publiques (hors PAC - premier pilier) et/ou financements privés perçus ou à venir pour la mise en œuvre ou le maintien des leviers de la Méthode LBC Grandes Cultures mobilisés dans le Projet

Etape 2 : Si des financements sont perçus sur la durée du Projet, alors 2 possibilités sont laissées pour le Porteur de Projet :

- Démontrer que ces financements ne sont pas suffisants pour le maintien ou la mise en œuvre des leviers. Dans ce cas une démonstration économique est demandée, selon la méthode des budgets partiels (cf. partie 4.2.1) ou à défaut selon une méthode générale (cf. partie 4.2.2) ;
- Ou si le Porteur de Projet n'a pas les moyens de réaliser la démonstration économique, alors un rabais de 20% sur les RE générées par les leviers en question sera appliqué pour prendre en compte l'effet d'aubaine potentiel.

4.2.1 Méthode des budgets partiels

La méthode des budgets partiels est un chiffrage de la variation de résultat net liée à la mise en œuvre de changements de pratique, dans le cas présent la mise en œuvre de leviers bas carbone dans le cadre d'un Projet LBC. Cela consiste à réaliser une comparaison entre la situation avant et après la mise en œuvre des leviers (ou avant et pendant le Projet). Exprimée en euros, elle peut être rapportée à l'exploitation ou à l'hectare selon la métrique des aides / financements complémentaires associés à ce levier. Le résultat exprime une variation de résultat net comptable (produits – charges) et aucunement un bilan économique complet d'exploitation. Le calcul peut se réaliser levier par levier ou sur l'ensemble des leviers considérés pour la transition.

Pour chacun des leviers, le Porteur de Projet doit réaliser une liste des postes de charges et de revenus de l'exploitation agricole susceptibles d'être impactés par la mise en œuvre du levier, à tout moment du Projet ou après, et sur l'ensemble de l'exploitation agricole. Les postes directs mais également indirects sont à prendre en compte (par exemple l'introduction d'une légumineuse donnera lieu à une réduction d'apport d'engrais azoté sur la culture suivante ou associée qui doit être prise en compte comme une économie de charge).

Les éléments suivants sont à prendre en compte :

Variations de charges :

- Liste des postes de charges de l'exploitation accrus
- Liste des postes de charges de l'exploitation réduits

Variations de revenus :

- Liste des postes de revenus d'exploitation accrus
- Liste des postes de revenus d'exploitation réduits

Les principaux postes concernés sont les charges de mécanisation, les intrants (semences, engrais, carburant, produits phytosanitaires...), les revenus issus des ventes et les interventions par tiers.

Pour les Projets impliquant des variations d'assolements, les calculs sont à baser sur les itinéraires techniques des différentes cultures concernées par un changement.

Les variations de temps de travail sont à évaluer et à chiffrer selon le tarif horaire en vigueur.

Pour le calcul :

- L'assiette de déploiement de chacun des leviers est basée sur les données du Projet (surface des SdC sur lesquels chacun des leviers est mis en œuvre, niveau et durée de déploiement).
- Les références de coûts seront fournies :
 - soit sur base de l'historique des données de l'exploitation agricole (coût d'achat des intrants, coûts de mécanisation, valeur de vente ou de valorisation des cultures...);
 - soit sur base de tables de références ou de données publiques publiées par les organismes agricoles;
 - soit sur base de tout document comptable justifiant de la pertinence de la donnée de référence.

Dans le cas d'un changement de production (en nature et/ou en volume) l'auteur du calcul présentera les hypothèses de prix de vente adoptés (par exemple référence faite sur la moyenne des prix des 3 dernières années sur le marché équivalent à celui où le produit était ou sera vendu).

4.2.2 Méthode générale

Il existe de nombreuses publications sur le coût de mise en œuvre de certains leviers dans des conditions techniques et géographiques variées (cf. travaux des chambres d'agriculture, CerFrance, Instituts Techniques, associations de comptables agricoles, INRAE...).

A défaut de pouvoir réaliser un calcul selon la méthode des budgets partiels, parfois complexe, notamment dans le cas d'un manque de références robustes, le Porteur de Projet pourra s'appuyer sur des publications ayant réalisé une estimation du coût du ou des leviers mis en œuvre dans son Projet. La condition est que, le cas échéant, l'estimation du coût proposé dans la publication ait été réalisée dans des conditions techniques et géographiques comparables à celle de l'exploitation.

4.3 Démonstration de l'additionnalité dans le cadre d'un renouvellement de Projet

- **Leviers permettant de stocker du carbone dans les sols**

Pour les leviers déjà mis en œuvre lors du Projet précédent, la démonstration de l'additionnalité reste valable, elle n'est donc pas à refaire (cf. notion de maintien de stock défini en partie 6.3.1).

Pour les leviers supplémentaires mis en œuvre à l'occasion du renouvellement de Projet, l'additionnalité est à démontrer selon les principes et la méthode présentés précédemment.

- **Leviers permettant de réduire les émissions de GES des exploitations agricoles**

Le Porteur de Projet doit démontrer que l'accompagnement global lié au Projet reste nécessaire pour maintenir les leviers, *i.e.* sans le Projet l'agriculteur ne pourrait pas maintenir les leviers.

- **Leviers permettant de réduire les émissions en aval de l'exploitation**

L'additionnalité doit être à nouveau démontrée pour la poursuite des RE aval en cours. Pour intégrer de nouvelles RE aval, l'additionnalité est à démontrer comme pour un premier Projet.

5. Le scénario de référence

Le référentiel du label Bas-Carbone définit le scénario de référence (III.C.1) :

« Le scénario de référence doit correspondre à une situation au moins aussi défavorable que l'application :

- Des obligations découlant des textes législatifs et réglementaires en vigueur ;
- Des différentes incitations à générer des réductions d'émissions qui existent, autres que celles découlant du Label. Il s'agit notamment des incitations économiques, qu'elle qu'en soit l'origine ;
- Des pratiques courantes dans le secteur d'activité correspondant au Projet, à l'échelle nationale ou régionale selon ce qui est pertinent. La Méthode précisera comment ces pratiques ont été déterminées, en se limitant aux données disponibles à la date du dépôt de la demande d'approbation. »

Autrement dit, le scénario de référence correspond à la situation la plus probable en l'absence de projet, en tenant compte de la réglementation en vigueur. Il permet notamment de démontrer que la baisse des émissions de GES et/ou le stockage de carbone dans les sols sont bien le fait du Projet et ne correspondent pas à la tendance actuelle. Seules les réductions d'émissions allant au-delà du scénario de référence sont reconnues dans le cadre du Label Bas-Carbone.

Les Porteurs de Projet devront définir et justifier un scénario de référence auquel les Projets seront comparés. Celui-ci pourra être spécifique s'il est possible de qualifier avec précision l'état initial de l'exploitation en début de Projet, sur la base de données historiques. Le cas échéant, celui-ci pourra être générique et calculé sur la base des données moyennes régionales. Dans le cas d'un scénario de référence générique, un rabais sur les RE générées est appliqué afin de prendre en compte la plus grande incertitude liée à la définition du scénario de référence (cf. partie 6.4.1 et récapitulatif en partie 8.6).

5.1 Choix du type de scénario de référence

Le choix entre les deux types de scénario de référence (générique ou spécifique) doit être réalisé en début de Projet. Le type de scénario choisi s'appliquera à toute l'exploitation et pour toutes les Réductions d'Emissions. Par exemple, une exploitation disposant de trois SdC différents devra choisir un seul type de scénario de référence pour ces trois SdC. Ce scénario sera utilisé pour effectuer les calculs des RE émissions et des RE stockage.

Dans la mesure du possible, le scénario de référence spécifique est à privilégier. Toutefois, dans certains cas il ne sera pas possible d'utiliser un scénario de référence spécifique, notamment lorsque les données des 3 années pré-projet ne sont pas disponibles (installations, reprise...), il faudra alors se reporter au scénario de référence générique.

Dans le cas où une exploitation aurait choisi en début de projet le scénario de référence spécifique et où, de nouvelles parcelles (sans historique sur l'exploitation) sont intégrées en cours de Projet, alors il pourra être possible d'utiliser, de façon exceptionnelle, une référence générique pour ces parcelles.

Dans le cas d'un projet collectif impliquant un groupe d'exploitations, chaque exploitation peut utiliser un scénario de référence spécifique, qui est à privilégier, ou à défaut un scénario de référence générique (cf. ci-dessus).

5.2 Définition des systèmes de culture

Le grain du scénario de référence est défini à l'échelle du système de culture (SdC), qui se définit lui-même comme étant la combinaison entre le contexte pédoclimatique (composante biophysique), la stratégie culturale (composante stratégique) et la conduite culturale (composante technique). Les SdC d'une exploitation doivent être déterminés selon la méthode présentée ci-après.

5.2.1 Description du contexte pédoclimatique

Afin d'identifier les différents contextes pédoclimatiques présents sur l'exploitation agricole d'un Projet, il convient de décrire les différentes combinaisons type de climat * types de sol rencontrés sur l'ensemble des parcelles de l'exploitation.

Description du climat

A priori l'ensemble des parcelles d'une même exploitation agricole devrait appartenir à la même zone climatique (cf. carte ci-dessous). Cependant le Porteur de Projet peut, s'il le souhaite, décrire plus finement le climat rencontré sur l'exploitation du Projet, en lien par exemple avec l'altitude des différentes parcelles, la proximité à la mer, des éléments topographiques (parcelles de vallée / parcelles de plaine)...

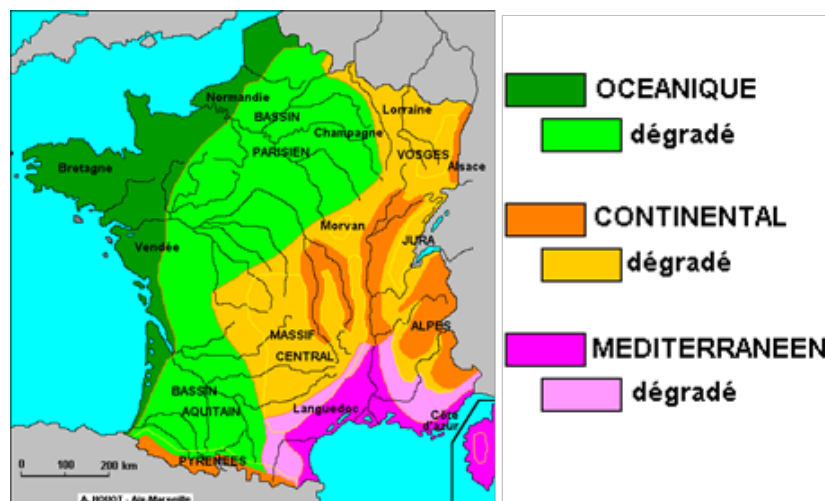


Figure 11 : Cartographie des zones climatiques en France

Description du sol

Afin d'identifier éventuellement différents types de sol sur une exploitation, une classification des grands types de sols présents sur l'exploitation doit être effectuée. Cette classification ne nécessite pas de rentrer dans le détail des données sols à ce stade de la Méthode. Les types de sols pour décrire les SdC sont donc assez faciles à identifier.

Deux modes de classifications au choix peuvent être utilisés :

- Soit le type de sol peut être identifié tel que décrit dans le tableau ci-après grâce à des paramètres analysés en laboratoire. Les données nécessaires pour utiliser ce mode de classification sont le % CaCO₃, la CECmetson, le % argile, le pHeau, la profondeur de sol et le % de cailloux.

Tableau 9 : caractéristiques des principaux types de sol en grande culture en France

| TYPES DE SOL | CaCO ₃ total (%) | CEC Metson en meq/100g ou cmol(c)/kg | Argile (%) | pH _{eau} | Profondeur (couche dure) | Teneur en cailloux |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| Argilo-calcaires profonds | > 10 | > 20 | > 20 | > 7 | > 30-40 cm | Faible à moyenne |
| Argilo-calcaires superficiels caillouteux | > 10 | > 20 | > 20 | > 7 | < 30-40 cm | Moyenne |
| Argilo-calcaires très superficiels et caillouteux | > 10 | > 20 | > 30 | > 7 | < 25 cm | Elevée |
| Craies de Champagne | > 60 | 5 à 15 | 10 à 30 | > 8 | > 30-40 cm | Faible à moyenne |
| Craies d'autres régions | > 50 | 10 à 25 | 15 à 30 | > 8 | > 30-40 cm | Faible à moyenne |
| Limons (argile < 20 %) | < 3 | 5 à 12 | < 20 | Variable (5 à 7.5) | > 40 cm | Nulle à moyenne |
| Limons argileux et argiles limoneuses | < 3 | 10 à 20 | 20 à 40 | Variable (5 à 7.5) | > 40 cm | Nulle à moyenne |
| Limons argileux saturés | 5 – 10 | 15 à 25 | 20 à 40 | > 7 | > 40 cm | Nulle à moyenne |
| Sables (Sables totaux > 60 %) | 0 | 3 à 7 | < 15 | 5 à 7 | > 40 cm | Faible à moyenne |
| Alluvions argileuses | < 5 | >15 | > 35 | > 6.5 | > 50 cm | Nulle à faible |

(source : adaptation du tableau des grands types de sol rencontrés sur les essais PK de longue durée - COMIFER 1993)

➤ Soit le type de sol peut être identifié en utilisant les critères de la classification des types de sol de la Base-Sol Arvalis. Cette classification nécessite de choisir une région administrative (anciennes régions administratives), puis les classes des 5 critères :

- Calcaire :
 - non calcaire (%CaCO₃ < 5%)
 - calcaire (%CaCO₃ > 5%)
- Pierrosité :
 - non caillouteux (<5%)
 - peu caillouteux (5-10%)
 - caillouteux (>15%)
- Texture :
 - argileux (>30% A ou >25% A et >55% S)
 - limono-argileux (<55% S et 18%<A<35%)
 - limoneux (<55% S et <18% A)
 - limono-sableux (15%<S<55% et <18% A)
 - sablo-limoneux (>55% S et <25% A)
 - sable (>55% S et <15% A)
- Profondeur (blocage de la tarière) :
 - superficiel (<40cm)
 - moyen (entre 40 et 80cm)
 - profond (>80cm)
- Hydromorphie :
 - non hydromorphe
 - hydromorphe

Cette classification permet de sélectionner les sols correspondants par régions administratives parmi les 533 sols enregistrés dans la base sol Arvalis en 2020 sans nécessiter de données d'analyses de terre. Suite à la sélection, une liste de quelques sols est alors proposée à l'utilisateur et le choix final se fait en fonction de la dénomination du sol.

5.2.2 Description de la stratégie culturale : historique des 10 dernières années

Les différentes stratégies culturales existantes à l'échelle de l'exploitation doivent être décrites en combinant les critères suivants sur chacune des parcelles de l'exploitation :

- Le type d'agriculture :
 - Agriculture biologique
 - Agriculture conventionnelle
- Le type de succession culturale :
 - Présence ou absence de légumineuses
 - Présence ou absence de cultures industrielles
 - Présence ou absence de prairies temporaires
 - Couverts intermédiaires moins de 1 an /3 ou plus de 2 ans/3
- Le type de travail du sol :
 - Labour fréquent (plus de 1 an sur 4)
 - Labour occasionnel (pas plus de 1 an sur 4)
 - Travail simplifié
 - Semis direct
- La fréquence des apports de MAFOR :
 - Apport régulier depuis plus de 10 ans
 - Pas d'apport régulier historique
- L'historique de changements notables de la stratégie culturale, telle que décrite ci-dessus. Ces changements de stratégie culturale dans l'historique des parcelles peuvent avoir un impact important sur la dynamique de stockage de carbone. L'année du dernier changement de stratégie culturale, avant la mise en place du Projet, sera renseignée et permettra de différencier des SdC identiques au moment du lancement du Projet. Ces changements notables de stratégie culturale sont par exemple le retournement de prairies permanentes dans le passé, un passage à l'agriculture biologique, un passage à l'agriculture dite de conservation des sols, un arrêt des apports réguliers de PRO...

5.2.3 Description de la conduite culturale

La conduite culturale doit être décrite sur chacune des parcelles de l'exploitation à partir :

- De la succession culturale (culture et couverts, avec leurs modes d'insertion et la durée de leur croissance)
- Des interventions culturales associées à chacune des cultures des rotations, en particulier concernant :
 - la fertilisation azotée (engrais minéraux / engrais organiques / engrais minéraux et organiques),
 - la gestion de résidus (exportés ou restitués),
 - l'irrigation (présence ou absence).

5.3 Scénario de référence spécifique

Dans le cas du choix d'un scénario de référence spécifique, le calcul du scénario de référence devra être basé sur la réalisation d'un diagnostic initial de chaque SdC, lui-même établi à partir des pratiques culturelles moyennes des 3 ans précédant le début du Projet.

Le choix de cette période des 3 ans avant le début de Projet est établi pour :

- limiter le risque qui existe, en ne prenant qu'une année de recul, de choisir une année climatiquement particulière pouvant impacter les données du scénario de référence.
- permettre de retrouver toutes les cultures de la rotation sur les différentes parcelles du système de culture. En effet avec 3 ans d'historique, il est possible de récupérer les pratiques culturelles y compris pour les systèmes de culture avec une rotation longue (au plus allant jusqu'à 9 ans).

Lorsque les données des 3 années d'historique ne sont pas disponibles (installations, reprise...), il ne sera pas possible d'utiliser ce scénario de référence spécifique, il faudra se reporter au scénario de référence générique.

Les méthodes de calcul de l'intensité des émissions de GES et du calcul du stockage de carbone dans les sols pour le scénario de référence spécifique sont définies en partie 6.

5.4 Scénario de référence générique

Dans les cas où une exploitation ne dispose pas de l'ensemble des données permettant de calculer son état initial en début de Projet, ou afin de faciliter l'intégration de nouvelles exploitations agricoles dans des Projets collectifs déjà démarrés, l'utilisation d'un scénario de référence générique peut être une option pertinente. En effet, en réduisant le temps et le coût d'acquisition des données de référence, elle peut être une solution pour engager plus largement des exploitations agricoles.

Dans le cas du choix d'un scénario de référence générique, seules les données d'assolement de l'exploitation sur les 3 années précédant le début du projet devront être collectées. Les conduites culturelles de référence (fertilisation minérale et organique, rendements, travail du sol...) devront être définies à partir de données de références proposées dans l'Annexe 1. Ces données sont issues du traitement des résultats des enquêtes pratiques culturelles en grandes cultures faites par le SSP en 2017. Le traitement des données de l'enquête permet de fournir, pour chaque culture enquêtée, des informations sur les pratiques majoritaires sur l'échelle la plus fine n'étant pas soumise au secret statistique. Pour les exploitations conduites en agriculture conventionnelle, l'échelle la plus fine est la référence départementale - voire régionale si effectif insuffisant – et par type d'exploitation (spécialisé en grandes cultures, spécialisé en élevage ou autre). Les données sont également disponibles pour les exploitations conduites en agriculture biologique, uniquement à l'échelle régionale.

Les données d'assolement de l'exploitation couplées aux pratiques moyennes issues des enquêtes pratiques culturelles permettront de calculer un niveau de référence pour les émissions de GES et le stockage de carbone dans les sols.

Toutes les données d'entrées des équations nécessaires à la définition du scénario de référence, précisées dans la partie 6 devront être collectées via les bases de données indiquées en Annexe 1.

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

Dans le cas de l'utilisation d'un scénario de référence générique, un rabais de 10% aux réductions d'émissions calculées devra être appliqué, conformément aux autres méthodes Label Bas-Carbone approuvées.

Exemple

Pour une exploitation de 120 hectares avec un seul système de culture comportant 60 hectares de blé, 30 hectares d'orge et 30 hectares de colza en sols argilo-calcaire, située dans le département de l'Yonne qui retient un scénario de référence générique.

Etape 1 :

Collecte de l'assolement de l'exploitation pour les 3 années précédant le Projet et calcul de la surface moyenne de chaque culture et de la fréquence moyenne de chaque culture

| | <i>Données à collecter</i> | | | A calculer | |
|--------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|--|
| Culture | Surface R2017 | – Surface R2018 | – Surface R2019 | Surface moyenne | Fréquence culture sur 5 ans |
| Blé tendre | 66 | 54 | 60 | 60 | 2,5 |
| Orge d'hiver | 30 | 35 | 25 | 30 | 1,25 |
| Colza | 24 | 31 | 35 | 30 | 1,25 |
| Total | 120 | 120 | 120 | 120 | |

Etape 2 :

Collecte des données pour le calcul des pratiques culturales de référence à l'échelle régionale ou départementale.

| | Echelle de collecte | Mode de calcul | Source donnée | A utiliser pour le calcul de : |
|---|----------------------------|---|--|---|
| Rendements moyens | Culture par département | Réaliser la moyenne des rendements des 3 dernières années | Agreste - Statistique Agricole Annuelle (SAA) | RE Stockage RE Emissions : QN résidus des cultures principales (RDT) |
| Gestion des résidus | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Stockage RE Emissions : QN résidus des cultures principales (RDT) |
| Fréquence des CI dans la rotation | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Stockage RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires |
| Biomasse moyenne produite par les CI | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données synthèse expérimentale MERCI 2 (voir annexes) | RE Stockage RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| | | | | |
|---|---------------------------|--|---|--|
| Fréquence des cultures dérobées dans la rotation | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Stockage RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires |
| Biomasse moyenne produite par les cultures dérobées | Culture par département | | | RE Stockage RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires |
| Type de travail du sol le plus profond et profondeur | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Stockage |
| Irrigation (mm/an) | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Stockage RE Emissions : EGES combustibles irrigation |
| Fertilisation minérale apportée par culture | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Emissions : QN min, Q engrais simple |
| Type et dose de MAFOR apportés | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Stockage RE Emissions : QN org, Q org |
| Pratiques d'épandage, d'enfouissement et délais | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Emissions : Frac GAZM |
| Amendements basiques | Culture par département | Utiliser la donnée fournie | Extraction des données enquête SSP 2017 (voir annexes) | RE Emissions : Dp (dose CaCO ₃) , nt (fréquence application), Q amendement (en VN) |
| Consommation de carburant du système de culture (en litre par hectare) | Culture (niveau national) | Utiliser la donnée fournie | Données Base Carbone – valeurs moyenne de consommation de carburant à l'hectare cultivée en fonction du type de culture (SOLAGRO) | RE Stockage RE Emissions : EGES combustibles engins |
| Type de sol | Région | Utiliser les critères de choix des sols pour sélectionner un type de sol | Bases de donnée sol, par exemple base sols Arvalis | RE stockage |

6. La méthode d'évaluation des réductions d'émissions

L'Équation 1 définit la méthode de calcul des Réductions d'Emissions (RE) permises par les leviers mobilisés dans le Projet, ainsi que les RE labellisables, correspondant aux RE affectées des différents rabais et qui pourront être revendiquées par le Porteur de Projet.

$$RE = RE_{\text{émissions}} + RE_{\text{stockage}} + RE_{\text{aval}}$$

$$RE_{\text{labellisable}} = RE * (1 - f_{\text{rabais}}(RE))$$

Avec :

- $RE_{\text{émissions}}$, les réductions d'émissions effectuées associées aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre classiques et aux réductions d'émissions indirectes amont (en teqCO_2)
- RE_{stockage} , les réductions d'émissions effectuées associées au stockage de carbone dans les sols par le Projet exprimée en tonnes équivalent CO_2 (en teqCO_2)
- RE_{aval} , les réductions d'émissions indirectes à l'aval de l'exploitation (réduction des émissions de GES liées au séchage des productions) (en teqCO_2)
- f_{rabais} , les rabais appliqués aux différentes RE, qui sont résumés en partie 6.4

Équation 1 : Calcul des réductions d'émissions

Les RE_{stockage} et les $RE_{\text{émissions}}$ peuvent être positives ou négatives et doivent dans tous les cas être calculées. Le calcul de $RE_{\text{stockage}} + RE_{\text{émissions}}$ permet d'estimer le bilan net des réductions d'émissions (stockage de carbone + émissions de gaz à effet de serre) permises par le Projet sur l'atelier de grandes cultures. En revanche le calcul de RE_{aval} est optionnel.

6.1 Calcul des $RE_{\text{émissions}}$

Les $RE_{\text{émissions}}$ correspondent aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes permises par la mise en œuvre des leviers « Fertilisation minérale et organique », « Amendements basiques » et « Combustibles fossiles » (associées aux engins, à l'irrigation et aux installations de séchage et de stockage).

$$RE_{\text{émissions}} = RE_{\text{fertilisation}} + RE_{\text{combustibles}} + RE_{\text{séchage stockage}}$$

Avec :

- $RE_{\text{fertilisation}}$: les réductions d'émissions directes et indirectes amont permises par la mise en œuvre des leviers fertilisation sur l'ensemble des systèmes de culture de l'exploitation
- $RE_{\text{combustibles}}$: les réductions d'émissions directes et indirectes amont permises par les réductions de consommation d'énergie fossile pour les engins et l'irrigation sur l'ensemble des systèmes de culture de l'exploitation
- $RE_{\text{séchage/stockage}}$: les réductions d'émissions directes et indirectes amont permises par les réductions de consommation d'énergie fossiles pour le séchage et stockage des productions sur l'exploitation

Équation 2: Calcul des $RE_{\text{émissions}}$

Dans le cas où l'exploitation agricole ne déclare pas mettre en œuvre de leviers associés à la réduction de la consommation de combustibles fossiles au niveau de ses installations de séchage et de stockage, il pourra être possible de réaliser un suivi simplifié et de considérer le terme $RE_{\text{séchage stockage}}$ comme nuls.

En revanche, les termes $RE_{\text{combustibles}}$ et $RE_{\text{fertilisation}}$ devront systématiquement être calculés, y compris dans les cas où seuls des leviers associés au stockage de carbone dans les sols sont mis en œuvre et où aucun levier « Fertilisation » ou « Combustible » ne sont appliqués. En effet, l'interdépendance entre les cycles de l'azote et du carbone est forte dans les sols agricoles et la mise en œuvre de leviers permettant un stockage de carbone additionnel dans

les sols pourra engendrer une modification des émissions azotées provenant des sols induisant potentiellement une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Également, certains leviers « Stockage » comme ceux liés à l'augmentation de la biomasse restituée au sol, peuvent être liés à des modifications de pratiques de fertilisation ou peuvent engendrer une modification des consommations en combustibles fossiles. Il est donc nécessaire de calculer les RE_{fertilisation} et RE_{combustible} dans ce cas.

6.1.1 Calcul des RE_{fertilisation}

Les RE_{fertilisation} correspondent aux réductions d'émissions permises par la mise en œuvre des leviers « Fertilisation minérale et organique ». Ils se calculent de la façon suivante :

$$RE_{fertilisation} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p (Emissions_ha_ferti_ref_i - Emissions_ha_ferti_Projet_{i,k}) * Surf_{i,k}$$

$$Emissions_ha_ferti_ref_i = \left[\sum_{k=-3}^{-1} \frac{EGES_fertilisation_{i,k}}{Surf_{i,k}} \right] * \frac{1}{3}$$

$$Emissions_ha_ferti_Projet_{i,k} = \frac{EGES_fertilisation_{i,k}}{Surf_{i,k}}$$

Avec :

- Emissions_ha_ferti_ref_i : les émissions de GES (directes et indirectes) associées à la fertilisation du scénario de référence par hectare de SAU du système de culture i de l'exploitation (teqCO₂/ha)
- Emissions_ha_ferti_Projet_{i,k} : les émissions de GES (directes et indirectes) associées à la fertilisation en année k du scénario Projet par hectare de SAU du système de culture i de l'exploitation (teqCO₂/ha)
- Surf_{i,k} : la surface agricole utile du système de culture i en année k du Projet
- n : le nombre de systèmes de culture de l'exploitation
- p : la durée du Projet, p=5 au maximum
- EGES_fertilisation_{i,k} : les émissions de GES (directes et indirectes) associées à la fertilisation du système de culture i en année k. Elles incluent les émissions de N₂O directes au champ et indirectes après volatilisation et lixiviation ainsi que les émissions associées à la fabrication et au transport des intrants pour la fertilisation des cultures (engrais minéraux azotés, fumure de fond, engrais organiques) (teqCO₂)
- k : l'année du calcul. Pour l'intensité de référence, les 3 années précédant le début du Projet sont considérées pour calculer le scénario de référence. Si t est l'année du démarrage du projet, alors les années t-3, t-2 et t-1 devront être utilisées pour calculer la référence. Pour l'intensité Projet, les 5 années après le début du Projet sont à considérer, soit t à t+4

Equation 3 : Calcul de RE_{fertilisation}

Le calcul des émissions de gaz à effet de serre en année k associées à la fertilisation du système de culture i, exprimées en teqCO₂, se décompose de la façon suivante :

$$EGES_fertilisation_{i,k} = \left[\left[(N2O_directes_{i,k} + N2O_volatilisation_{i,k} + N2O_lixiviation_{i,k}) * \frac{44}{28} * PRG_{N2O} \right] + CO2_directes_{i,k} + GES_amont_min_{i,k} + GES_amont_org_{i,k} \right] / 1000$$

Avec :

- PRG_{N2O} : le pouvoir réchauffant du N₂O (cf. table en Annexe 2)

Equation 4: Calcul des émissions de GES associées à la fertilisation

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

➤ **N2O_directes** $_{i,k}$: émissions directes de protoxyde d'azote associées à la fertilisation minérale, à la fertilisation organique, aux résidus de cultures et à l'azote minéralisé du sol, associées au système de culture i en année k , exprimée en kg N₂O-N et déterminées selon l'équation suivante :

$$N2O_directes_{i,k} = [(QN_min_{i,k} + (QN_inhib_{i,k} * C_inhibiteur)) * EF1_min] + [(QN_org_{i,k} + (QN_org_inhib_{i,k} * C_inhibiteur) + QN_résidus_{i,k} + QN_minéralisé_{i,k}) * EF1_org] * C_chaulage_{i,k}$$

Equation 5: Calcul des émissions de N₂O directes

(Source : IPCC 2019 adaptée)

Avec

- QN_min $_{i,k}$, la quantité d'azote apportée par les engrais minéraux (sans inhibiteurs de nitrification) sur le système de culture i en année k (en kgN)
- QN_inhib $_{i,k}$, la quantité d'azote apportée par les engrais minéraux combinée à des inhibiteurs de nitrification sur le système de culture i en année k (en kgN)
- QN_org $_{i,k}$, la quantité d'azote totale apportée par les engrais organiques sur le système de culture i en année k (en kgN)
- QN_org_inhib $_{i,k}$, la quantité d'azote totale apportée par les engrais organiques avec ajout d'inhibiteurs de nitrification sur le système de culture i en année k (en kgN)
- QN_résidus $_{i,k}$, la quantité d'azote apportée par les résidus de cultures aériens et souterrains sur le système de culture i en année k (en kgN) se calcule en réalisant la somme des résidus de cultures annuelles et des résidus de cultures intermédiaires, comme suit :

$$QN_résidus_{i,k} = QN_résidus_CA_{i,k} + QN_résidus_CI_{i,k} + QN_résidus_CD_{i,k}$$

Avec :

- **QN_résidus_CA** $_{i,k}$: la quantité d'azote contenue dans les résidus de la culture annuelle du système de culture i en année k , déterminée selon l'équation suivante :

$$QN_résidus_CA_{i,k} = \sum_{j=1}^m [AG_DM_{j,i,k} * (1 - FRAC_export_j) * N_AG_i + (RDT_{j,i,k} + AG_DM_{j,i,k}) * RS_j * N_BG_j] * Surf_{j,i,k}$$

Cas particulier de la betterave et de la pomme de terre : la quantité d'azote des résidus est fixe pour ces cultures et définie à 140 kgN/ha pour la betterave et 40 kgN/ha pour la pomme de terre (source : GES'TIM+, 2020)

Cas particulier des cultures associées : dans le cas de cultures associées, la culture majoritaire récoltée est considérée comme l'unique culture annuelle présente sur la parcelle. Le rendement associé à la culture associée à renseigner doit correspondre au rendement cumulé des deux cultures si elles sont récoltées séparément.

Avec :

- m , le nombre de cultures annuelles du système de culture i en année k

- AG_DM $_{j,i,k}$, la quantité de matière sèche des résidus aériens de la culture j en kg MS/ha. AG_DM $_{j,i,k}$ peut se calculer de deux manières selon les références disponibles sur la culture :

Si l'indice de récolte (IR _{j}) de la culture j est référencé dans la table en Annexe 4, alors AG_DM $_{j,i,k} = RDT_{j,i,k} * (1 - IR_j) / IR_j$ (source : guide GES'TIM+, 2020)

NB : l'indice de récolte (IR) correspond au rapport entre la biomasse sèche des parties récoltées et la biomasse sèche de l'ensemble des parties aériennes (récoltées et non récoltées)

Si l'indice de récolte (IR _{j}) de la culture j n'est pas référencé dans la table en Annexe 4, alors : AG_DM $_j = RDT_{j,i,k} * PENTE_j + INTERCEPT_j$ (source : IPCC 2019) (voir tables en Annexe 4)

- RDT $_{j,i,k}$, le rendement aux normes de la culture i considérée (en kg MS/ha). Dans le cas où le rendement aux normes n'est pas disponible, alors RDT $_{j,i,k} = RDT_réel_{j,i,k} * FRAC_MS_j$ où FRAC_MS $_j$ la fraction de matière sèche de la culture j récoltée. Si FRAC_MS $_j$ n'est pas renseignée, alors on utilise les tables disponibles en Annexe 4 : Références pour le calcul de l'azote contenu dans les résidus de culture

- $FRAC_export_j$, la fraction des résidus aériens exportés de la culture j (table par culture disponible en Annexe 4). Lorsque les résidus aériens sont récoltés, une partie d'entre eux est laissée sur la parcelle. La part des résidus aériens exportés de la parcelle dépend donc du devenir des résidus (enfouis ou exportés). Par exemple, pour le blé, si les résidus restent sur la parcelle, alors $FRAC_export = 0$, s'ils sont exportés, alors $FRAC_export = 50\%$. Si la donnée n'est pas disponible, on considèrera que $FRAC_export = 0$ (GIEC 2019).

- N_AG_j , la teneur en azote des résidus aériens de la culture j en % de la matière sèche (voir tables en Annexe 4)

- RS_j , le ratio entre les résidus de cultures racinaires et la biomasse aérienne de la culture j (voir tables en Annexe 4)

- N_BG_j , la teneur en azote des résidus souterrains de la culture j , en % (voir tables en Annexe 4)

- $Surf_{j,i,k}$, la surface de la culture j cultivée sur le système de culture i en année k

- **QN_résidus_CI_{ik}** : la quantité d'azote contenue dans les résidus de culture des cultures intermédiaires du système de culture i en année k (en kgN)

$$QN_résidus_CI_{i,k} = \sum_{j=1}^m [BIOM_{j,i,k} * N_{AG_{j,i,k}} * Coef_{Racinaire_j} * 1000] * Surf_{j,i,k}$$

- m , le nombre d'espèces de cultures intermédiaires du système de culture i en année k

- $BIOM_{j,i,k}$ la biomasse en matière sèche produite par l'espèce j sur le système de culture i en année k (en tonnes MS /ha)

Dans le cas où la donnée n'est pas directement accessible ou connue en tonnes de matière sèche, il est suggéré d'utiliser la méthode MERCI développée par la Chambre d'Agriculture Régionale de Poitou-Charentes pour définir la production de matière sèche des intercultures. La méthode permet de convertir la matière verte prélevée (MV en g/unité de surface) en matière sèche (MS en tonne/ha) selon la durée de croissance de l'interculture.

- $N_AG_{j,i,k}$ la teneur en azote de l'espèce j sur le système de culture i en année k (en %). La teneur en azote de l'espèce varie selon la quantité de biomasse produite par l'espèce, les valeurs sont précisées en Annexe 4

- $Coef_{racinaire_j}$, le coefficient correcteur azote des racines pour l'espèce j (pas d'unité)

- $Surf_{j,i,k}$, la surface de l'espèce j semée sur le système de culture i en année k (en hectares)

- **QN_résidus_CD_{ik}** : la quantité d'azote contenue dans les résidus de cultures dérobées ou à vocation énergétique du système de culture i en année k (en kgN) déterminée selon l'équation suivante :

$$QN_résidus_CD_{i,k} = \sum_{j=1}^m [AG_DM_{j,i,k} * (1 - FRAC_export_j) * N_AG_i + (RDT_{j,i,k} + AG_DM_{j,i,k}) * RS_j * N_BG_j] * Surf_{j,i,k}$$

Avec :

- m , le nombre de cultures dérobées ou à vocation énergétique du système de culture i en année k

- $AG_DM_{j,i,k}$, la quantité de matière sèche des résidus aériens de la culture dérobée j en kg MS/ha. $AG_DM_{j,i,k}$ peut se calculer de deux manières selon les références disponibles sur la culture :

Si l'indice de récolte (IR_j) de la culture dérobée j est référencé dans la table en Annexe 4, alors $AG_DM_{j,i,k} = RDT_{j,i,k} * (1 - IR_j) / IR_j$ (source : guide GES'TIM+, 2020)

NB : l'indice de récolte (IR) correspond au rapport entre la biomasse sèche des parties récoltées et la biomasse sèche de l'ensemble des parties aériennes (récoltées et non récoltées)

Si l'indice de récolte (IR_j) de la culture dérobée j n'est pas référencé dans la table en Annexe 4, alors : $AG_DM_j = RDT_{j,i,k} * PENTE_j + INTERCEPT_j$ (source : IPCC 2019) (voir tables en Annexe 4)

- $RDT_{j,i,k}$, le rendement en matière sèche de la culture dérobée i considérée (en kg MS/ha). Avec $RDT_{j,i,k} = RDT_réel_{j,i,k} * FRAC_MS_j$ où $FRAC_MS_j$ la fraction de matière sèche de la culture dérobée j récoltée.

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

Si $FRAC_MS_j$ n'est pas connue, alors on utilise les tables disponibles en Annexe 4 : Références pour le calcul de l'azote contenu dans les résidus de culture

- $FRAC_export_j$, la fraction des résidus aériens exportés de la culture dérobée j (table par culture disponible en Annexe 4).
- N_AG_j , la teneur en azote des résidus aériens de la culture dérobée j en % de la matière sèche (voir tables en Annexe 4)
- RS_j , le ratio entre les résidus de cultures racinaires et la biomasse aérienne de la culture dérobée j (voir tables en Annexe 4)
- N_BG_j , la teneur en azote des résidus souterrains de la culture dérobée j , en % (voir tables en Annexe 4)
- $Surf_{j,i,k}$, la surface de la culture dérobée j cultivée sur le système de culture i en année k

Equation 6: Calcul de la quantité d'azote contenue dans les résidus de culture

(Source : IPCC 2019)

- $QN_minéralisé_{i,k}$, la quantité d'azote minéralisée due à une perte de carbone organique dans les sols minéraux (liée à un changement d'affectation des sols ou à une modification des pratiques culturales) sur le système de culture i en année k (en kgN). Ce terme de l'équation devra être calculé uniquement dans les cas où une perte de carbone organique est modélisée sur le système de culture avec la méthode de modélisation utilisée pour le calcul de $RE_{stockage}$. Dans ce cas, $QN_minéralisé_{i,k} = QC_minéralisé_{i,k} * 1/R * 1000$ (IPCC, 2019), avec $QC_minéralisé_{i,k}$ la perte annuelle moyenne de carbone sur le système de culture (en tC/an) et R , le ratio C/N de la matière organique du sol. On pourra considérer $R=10$ dans le cas de pertes de carbone liées à des modifications de pratiques culturales (IPCC 2019).
- $C_inhibiteur$, le coefficient d'abattement des émissions associées aux inhibiteurs de nitrification ; $C_inhibiteur = 0,8$ (d'après Pellerin *et al.*, 2013).
L'abattement de 20% proposé par l'étude Pellerin *et al.*, 2013 sur les émissions de N_2O directes pour considérer l'effet des inhibiteurs de nitrification a été défini pour intégrer l'incertitude associée à l'utilisation de ces produits selon les contextes pédoclimatiques. En effet, une méta-analyse (Akiyama *et al.*, 2010) indique un potentiel de réduction des émissions de N_2O directes plus important, autour de 50% (-55% à -42%), pour des mesures effectuées sur une durée de quelques mois après les apports de fertilisants.
- $EF1_min$, le facteur d'émissions pour les sources d'azote minérales ; $EF1_min = 0,016$ kg N_2O -N/kg N
- $EF1_org$, le facteur d'émission pour les sources d'azote organiques ; $EF1_org = 0,006$ kg N_2O -N/kg N
- $C_chaulage_{i,k}$, le coefficient d'abattement des émissions directes de N_2O sur le système de culture i en année k , dans le cas de la mobilisation du levier « Chaulage des sols acides (pHeau initial < 6,8 pour atteindre un pHeau=6,8) ». Ce coefficient d'abattement devra être calculé selon la formule suivante :

$$C_chaulage_{i,k} = 1 - \left[\frac{\min(pH_{final} - pH_{initial}; 0.4)}{0.4} \times (0.5 \times \exp^{-0.33 * k_chaulage}) \right]$$

Equation 7: Calcul du coefficient d'abattement associé au chaulage des sols acides

(Source : méthode Expert issue des travaux Hénault *et al.* 2019)

Avec :

- $k_chaulage$, le nombre d'années après l'application de l'amendement basique
- $pH_{initial}$, le pHeau initial moyen des parcelles concernées par le chaulage. Dans le cas d'un $pH_{initial} > 6,8$, le levier chaulage ne peut être mobilisé (il n'y a pas d'abattement des émissions de N_2O possible) et $C_chaulage_{i,k} = 1$
- pH_{final} , le pHeau obtenu après redressement sur l'ensemble des parcelles concernées par le chaulage (pHeau final doit être compris entre 6,4 et 6,8). Dans le cas d'un $pH_{final} < 6,4$, il n'y a pas d'abattement des émissions de N_2O et $C_chaulage_{i,k} = 1$

Ce coefficient devra être calculé uniquement dans le cas de la mobilisation du levier «Chaulage des sols acides » par l'exploitation et appliqué seulement pour le calcul des émissions de GES du scénario projet ($Emissions_ha_ferti_Projet_{i,k}$). Pour le calcul des émissions de GES du scénario de référence et dans les cas où le levier n'est pas activé, $C_chaulage_{i,k} = 1$

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

De plus, dans le cas du choix d'un scénario de référence générique par l'exploitation, ce levier ne pourra pas être mobilisé pour moduler les émissions de N₂O directes. Dans ce cas de figure C_chaulage_{i,k} = 1.

Lorsque des pratiques de chaulage sont mises en œuvre sur le système de culture i dans l'objectif de relever le pH, alors les pratiques (dates d'apports et quantités apportées d'amendements basiques) devront être homogènes sur toutes les parcelles du système de culture pour pouvoir appliquer le coefficient C_chaulage_{i,k} à l'échelle du système de culture. Dans le cas contraire, les parcelles devront être séparées au sein de différents systèmes de culture.

➤ **N2O_volatilisation**_{i,k} : émissions indirectes de protoxyde d'azote associées à la volatilisation sous forme de NH₃, sur le système de culture i en année k, exprimées en kg N₂O-N et déterminées selon l'équation suivante :

$$N2O_volatilisation_{i,k} = \sum_{l=1}^o [((QN_min_{l,i,k} + QN_inhib_{l,i,k}) * Frac_GAZF_l) + (Q_org_{l,i,k} * Frac_GAZM_l)] * EF4$$

Equation 8: Calcul des émissions de N₂O indirectes par volatilisation

(Source : IPCC 2019)

Avec :

- o le nombre de type d'engrais (minéraux ou organiques) distincts épandus sur le système de culture en année k
- QN_min_{l,i,k}, la quantité d'azote apportée par les engrais minéraux l (hors inhibiteurs de nitrification) sur le système de culture i en année k (en kgN)
- QN_inhib_{l,i,k}, la quantité d'azote apportée par les engrais minéraux l avec inhibiteurs de nitrification sur le système de culture i en année k (en kgN)
- Frac_GAZF_l, taux de volatilisation et redéposition des engrais minéraux l (en kg NH₃-N + NO_x-N volatilisé/kg N apporté). Ce taux dépend du type d'engrais apporté et des modalités d'enfouissement éventuelles de l'engrais. La table de référence permettant de définir FRAC_GAZF selon le type d'engrais et les modalités d'apports est en Annexe 3.
- Q_org_{l,i,k}, la quantité d'engrais organiques l apportée sur le système de culture i en année k (en tonnes ou en m³)
- Frac_GAZM_l, le taux de volatilisation et redéposition des produits organiques l (en kg NH₃-N + NO_x-N volatilisé/kg N apporté). Ce taux dépend de la teneur en azote ammoniacale de l'apport organique i (TAN), de son facteur de volatilisation et des conditions d'épandage (matériel et délai d'enfouissement).

Frac_GAZM_l = TAN_l x F_volatilisation_l x FA_matériel/délais_l

Avec :

- F_volatilisation_l, le facteur de volatilisation de l'apport organique l (en kg N-NH₃/TAN)
- FA_matériel/délais_l, le facteur d'abattement associé au mode d'épandage et au délai d'enfouissement réalisé

Les tables de références permettant le calcul des différents facteurs sont en Annexe 3

- EF4, le facteur d'émission dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques utilisé est celui proposé par défaut par le GIEC 2019, soit EF4 = 0,01 kg N₂O-N/kg NH₃-N + NO_x-N volatilisé)

➤ **N2O_lixiviation**_{i,k} : émissions indirectes de protoxyde d'azote associées à la lixiviation de l'azote sous forme de NO₃⁻, sur le système de culture i en année k, exprimées en kg N₂O-N et déterminées selon l'équation suivante :

$$N2O_lixiviation_{i,k} = (QN_min_{i,k} + QN_inhib_{i,k} + QN_org_{i,k} + QN_résidus_{i,k} + QN_minéralisé_{i,k}) * Frac_LESS * EF5$$

Equation 9: Calcul des émissions de N₂O indirectes par Lixiviation

(Source : IPCC 2019)

Avec :

- QN_min_{i,k}, la quantité d'azote apportée par les engrais minéraux sur le système de culture i en année k (en kgN)

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

- $QN_{org\ i,k}$, la quantité d'azote apportée par les engrais organiques sur le système de culture i en année k (en kgN)
- $QN_{residus\ i,k}$, la quantité d'azote apportée par les résidus de cultures sur le système de culture i en année k (en kgN)
- $QN_{minéralisé\ i,k}$, la quantité d'azote apportée par la minéralisation basale du sol sur le système de culture i en année k (en kgN)
- $FRAC_LESS$, le taux de lixiviation de l'azote du sol avec $FRAC_LESS = 0,24$ kgN lessivé / kgN apporté (valeur par défaut proposée par le GIEC 2019). Ce taux est majorant et correspond aux situations les plus à risques en France. Si les données sont disponibles à l'échelle de l'exploitation, les porteurs de projets pourront utiliser un taux de lixiviation différencié en se basant sur des données issues d'outils d'aide à la décision déployés sur l'exploitation ou en utilisant la grille COMIFER (2001) qui évalue un risque de lixiviation selon la situation culturale des parcelles du système de culture (combinaison risque culture x risque milieu).
- $EF5$, le facteur d'émission pour la lixiviation de l'azote. $EF5 = 0,011$ kg N_2O-N /kg N lessivé

➤ **CO₂ directes** $_{i,k}$: émissions directes de dioxyde de carbone associées à la l'application de produits à base de $CaCO_3$) sur le système de culture i en année k , exprimées en $kgeqCO_2$ et déterminées selon l'équation suivante :

$$CO2_directes\ _{i,k} = D_p\ _{i,k} * t_C * FC_C-CaCO_3 * FC_CO_2-C$$

Equation 10: Calcul des émissions de CO₂ directes au champ

(Source : GIEC, 2006 inclus dans Méthode Expert Hénault et al. 2019)

Avec :

- $D_p\ _{i,k}$, la dose de carbonate de calcium ($CaCO_3$) appliquée sur le système de culture i en année k (en kg). Dans le cas d'un apport en écumes de sucreries, considérer un apport de $CaCO_3$ équivalent à 36 % de la quantité de matière brute apportée.
- t_C le taux de carbone du produit appliqué restant au sol, $t_C = 0,75$ (synthèse entre IPCC et West et al. suggéré par IPCC 2019 = 2006)
- FC_C-CaCO_3 le facteur de conversion de $CaCO_3$ en C, $FC_C-CaCO_3 = 12/100$
- FC_CO_2-C , le facteur de conversion du C en CO_2 , $FC_CO_2-C = 44/12$

Le calcul des émissions de CO_2 directes associées à l'application de produits à base de $CaCO_3$ est optionnel et devra être calculé en scénario de référence et en scénario projet seulement dans le cas où le levier « Chaulage des sols acides » est activé. En effet, dans le cas où ce levier n'est pas activé, les apports de produits à base de $CaCO_3$ ne seront pas significativement modifiés entre la référence et le projet.

➤ **GES_{amont_min}** $_{i,k}$: émissions associées à la fabrication des engrais minéraux et des amendements calcaires, de leurs matières premières et à leur transport, exprimées en $kgeqCO_2$ et déterminées selon l'équation suivante :

$$GES_amont_min\ _{i,k} = \sum_{l=1}^o [(Q_engrais_simple_{l,i,k} * FE_l) + (QN_engrais_bin_{l,i,k} * FE_{N_l}) + (QP_engrais_bin_{l,i,k} * FE_{P_l}) + (QK_engrais_bin_{l,i,k} * FE_{K_l}) + (Q_VN_{l,i,k} * FE_{VN_l})]$$

Equation 11: Calcul des émissions de CO₂ équivalents associées à la fabrication des engrais minéraux

Avec :

- o le nombre de type d'engrais minéraux ou d'amendements basiques distincts épandus sur le système de culture i en année k
- $Q_engrais_simple\ _{l,i,k}$, la quantité d'élément nutritif apportée par l'engrais minéral simple l sur le système de culture i en année k (en kg d'élément nutritif)
- FE_l , le facteur d'émissions associé à l'engrais minéral simple l par kg d'élément nutritif pour un approvisionnement moyen France (voir table en Annexe 3)
- $QN_engrais_bin\ _{l,i,k}$, la quantité d'élément nutritif N apportée par l'engrais minéral binaire ou ternaire l sur le système de culture i en année k (en kg d'élément nutritif)

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

- FE_N_l, le facteur d'émissions associé à l'engrais minéral binaire ou ternaire l par kg d'élément N (voir table en Annexe 3)
- QP_engrais_bin_{l,i,k}, la quantité d'élément nutritif P₂O₅ apportée par l'engrais minéral binaire ou ternaire l sur le système de culture i en année k (en kg d'élément nutritif)
- FE_P_l, le facteur d'émissions associé à l'engrais minéral binaire ou ternaire l par kg d'élément P₂O₅ (voir table en Annexe 3)
- QK_engrais_bin_{l,i,k}, la quantité d'élément nutritif K₂O apportée par l'engrais minéral binaire ou ternaire l sur le système de culture i en année k (en kg d'élément nutritif)
- FE_K_l, le facteur d'émissions associé à l'engrais minéral binaire ou ternaire l par kg d'élément K₂O (voir table en Annexe 3)
- Q_VN_{l,i,k}, la quantité de valeur neutralisante apporté par l'amendement basique l (chaux vive, carbonate de calcium) ou certains produits organiques (écumes de sucrerie) sur le système de culture i en année k (en kg de Valeur Neutralisante) – voir table en Annexe 3 pour le calcul de la valeur neutralisant associés à ces produits.
De la même manière que pour le calcul des émissions de CO₂ directes associées à l'application de produits à base de CaCO₃, le calcul de Q_VN_{l,i,k} est optionnel et devra être calculé en scénario de référence et en scénario projet seulement dans le cas où le levier « Chaulage des sols acides » est activé. En effet, dans le cas où ce levier n'est pas activé, les amendements basiques apportés ne devront pas significativement être modifiés entre la référence et le projet.
- FE_VN_l, le facteur d'émissions associé à l'amendement basique l par kg de VN (voir table en Annexe 3)

➤ **GES_ament_org_{l,i,k}** : émissions associées à la fabrication des engrais organiques qui incluent la génération des matières premières (pour les coproduits avec une valeur commerciale comme les composts ou digestats, pas de prise en compte de la fabrication pour les déjections animales, considérées comme des déchets), le transport, le traitement et le stockage, sur le système de culture i en année k, exprimées en kgeqCO₂. Les émissions entre le lieu de production et la parcelle agricole d'épandage ne sont pas intégrées.

Attention, l'impact associé à la fabrication et au transport d'effluents organiques calcaire comme les écumes de sucreries, est déjà pris en compte dans l'Equation 11: Calcul des émissions de CO₂ équivalents associées à la fabrication des engrais minéraux, ne doivent pas être intégrés à nouveau dans le calcul de GES_ament_org_{l,i,k}.

$$GES_ament_org_{l,i,k} = \sum_{l=1}^o [Q_org_{l,i,k} * FE_MAFOR_l]$$

Equation 12: Calcul des émissions de CO₂ équivalents associées à la fabrication des engrais organiques

Avec :

- o le nombre de type d'engrais organiques distincts épandus sur le système de culture i en année k
- Q_org_{l,i,k}, la quantité d'engrais organique l apportée sur le système de culture i en année k (en tonnes ou m³)
- FE_MAFOR_l, le facteur d'émissions associé à l'engrais organique l par tonne ou m³ de produit brut (voir table en Annexe 3) issues du projet ACV MAFOR (Avadi *et al.*, 2020)

Dans le cas où l'apport organique apporté par l'agriculteur n'est pas disponible dans le référentiel en Annexe 3 et si l'agriculteur connaît l'empreinte carbone du produit organique apporté et en mesure de la justifier (sur présentation d'une Analyse de Cycle de Vie), alors la possibilité est laissée au porteur de projet de spécifier la valeur du facteur d'émissions associé au produit organique.

6.1.2 Calcul des RE_{combustibles}

Les RE_{combustibles} correspondent aux réductions d'émissions permises par la mise en œuvre des leviers « Combustibles fossiles » pour les engins et l'irrigation. Ils se calculent de la façon suivante :

$$RE_{combustibles} = \sum_{k=1}^p (Intensité_{comb\ ref} - Intensité_{comb\ Projet}(k)) * Surf(k)$$

$$Intensité_{comb\ ref} = \left[\sum_{k=-3}^{-1} \frac{EGES_{combustibles}(k)}{Surf(k)} \right] * \frac{1}{3}$$

$$Intensité_{comb\ Projet}(k) = \frac{EGES_{combustibles}(k)}{Surf(k)}$$

Avec :

- $Intensité_{comb\ ref}$: les émissions de GES (directes et indirectes) associées aux combustibles fossiles (engins et irrigation) du scénario de référence par hectare de SAU de l'exploitation (teqCO₂/ha)
- $Intensité_{comb\ Projet}(k)$: les émissions de GES (directes et indirectes) associées aux combustibles fossiles (engins et irrigation) en année k du scénario Projet par hectare de SAU de l'exploitation (teqCO₂/ha)
- $Surf(k)$: la surface agricole utile de l'exploitation en année k du Projet
- p : la durée du projet, $p=5$ au maximum
- $EGES_{combustibles}(k)$: les émissions de gaz à effet de serre (directes et indirectes) associées aux combustibles fossiles (engins et irrigation) de l'exploitation en année k (en teqCO₂)
- k : l'année du calcul. Pour l'intensité de référence, les 3 années précédant le début du Projet sont considérées pour calculer le scénario de référence. Si t est l'année du démarrage du projet, alors les années $t-3$, $t-2$ et $t-1$ devront être utilisées pour calculer la référence. Pour l'intensité projet, les 5 années après le début du projet sont à considérer, soit t à $t+4$

Equation 13: Calcul de RE_{combustibles}

Le poste EGES_{combustibles} regroupe les émissions associées à l'utilisation et à la fabrication des combustibles fossiles utilisées sur l'atelier grandes cultures de l'exploitation. Il comprend le carburant utilisé dans les engins agricoles et le carburant utilisé pour le fonctionnement de l'irrigation (dans le cas de l'utilisation de moteurs thermiques). Les émissions associées aux combustibles fossiles utilisés pour le fonctionnement des installations de séchage ou de stockage des productions sont évaluées séparément.

L'évaluation des émissions associées à la consommation de combustibles fossiles peut être réalisée selon plusieurs méthodes de calculs. La méthode devra être choisie selon la typologie de l'exploitation et de sa capacité à isoler « facilement » sa consommation réelle de combustibles (carburant, fioul, gaz...) liée à l'atelier grandes cultures.

Les méthodes B et C sont assorties d'un rabais qui sera appliqué sur RE_{combustibles} pour prendre en compte la plus grande incertitude des données d'entrées. En effet, dans le cadre des méthodes B et C, la consommation est issue d'estimations sur la base de la consommation mesurée ou de déclarations d'interventions.

Dans le cas du choix par l'exploitation d'un scénario de référence générique, les 3 méthodes pourront être choisies pour suivre la consommation de carburant de l'exploitation en phase de projet.

Le tableau suivant résume les cas de figures et les méthodes pouvant être utilisées :

Tableau 10 : Choix de la méthode de calcul des EGES_{combustibles}

| Cas de figure | Méthode à choisir | Données d'entrées nécessaires | Rabais associé |
|---|---|---|----------------|
| L'exploitation est spécialisée en grandes cultures et sa consommation réelle correspond à celle de l'atelier grandes cultures | Méthode A : Consommation réelle relevée sur l'exploitation. | Type et quantité de ressources consommées annuellement sur l'atelier grandes cultures Interventions réalisées pour un tiers Interventions réalisées par | 0 % |

| | | | |
|---|--|---|----|
| | | un tiers | |
| L'exploitation comprend plusieurs ateliers en plus de l'atelier grandes cultures et ne dispose pas d'une traçabilité de toutes ses interventions mécaniques | Méthode B : Consommation réelle relevée sur l'exploitation et attribution de la consommation par atelier | La consommation à l'échelle de l'exploitation : Carbutotale La consommation des ateliers hors-sol (s'il y a et si c'est sur le même compteur que l'exploitation) : Carbuvoilage et Carbuporcs. La consommation liée à l'irrigation : Carbuirrigation La consommation de carburants liée aux travaux réalisés par et pour des tiers | 5% |
| L'exploitation comprend plusieurs ateliers en plus de l'atelier grandes cultures et dispose d'une traçabilité de toutes ses interventions mécaniques | Méthode C : Consommation estimée sur la base de déclarations d'interventions | Itinéraire technique de chaque culture de l'exploitation : interventions et types de matériel associés | 5% |

6.1.2.1 Méthode A : Consommation réelle relevée sur l'exploitation (un seul atelier)

La méthode basée sur la consommation réelle de combustibles fossiles (méthode A) est à utiliser dans les situations où l'exploitation ne comprend qu'un atelier grandes cultures et où la consommation réelle relevée sur l'exploitation (selon factures) correspond à la consommation de carburant de l'atelier grandes cultures (engins agricoles et irrigation).

Le calcul des émissions de gaz à effet de serre en année k associées au carburant et à l'irrigation du système de culture i, exprimées en t éq. CO₂, se calcule de la façon suivante :

$$EGES_{\text{combustibles}}(k) = \sum_{i=1}^n [(Consommation(i) - Q_{\text{pour tiers}}(i) + Q_{\text{prestations}}(i)) * FE(i)]$$

Équation 14 : Calcul des émissions de GES associées aux combustibles fossiles (méthode A)

- n le nombre de combustibles fossiles distincts utilisés sur le système de culture pour les engins et l'irrigation (exemple : Gazole Non Routier pour les engins et fioul pour les pompes thermiques d'irrigation)
- Consommation (i), la consommation du combustible fossile i en année k pour les engins et l'irrigation (litres /an)
- Q_{pour tiers} (i), la quantité du combustible fossile i en année k associées aux interventions réalisées pour des tiers (litres GNR/an)
- Q_{prestations} (i), la quantité du combustible fossile i en année k associées aux interventions réalisées sur le système de culture par des tiers (litres /an)
- FE (i), facteur d'émissions directes et indirectes du combustible fossile i (teqCO₂/ litre) Voir Annexe 6.

6.1.2.2 Méthode B : Consommation réelle relevée sur l'exploitation et attribution par atelier (plusieurs ateliers)

Cette méthode s'applique pour les exploitations non spécialisées en grandes cultures. Pour ces exploitations, les consommations réelles de combustibles relevées sur l'exploitation ne correspondent pas aux consommations liées à l'atelier grandes cultures. De plus, pour ces exploitations, la traçabilité des interventions n'est pas disponible pour les années passées, ce qui ne permet pas recalculer les consommations historiques d'après les interventions. Dans ce cas de figure, il est préconisé d'utiliser la méthode détaillée dans le guide GES'TIM+ qui, sur la base de ratios et de la consommation totale de combustibles relevées sur l'exploitation, isole la part liée à l'atelier grandes cultures.

Cette méthodologie issue du guide GESTIM + et de Diaterre (ADEME, 2014), conduit, à partir des données réelles de l'exploitation, à une évaluation de la part de la consommation à affecter à chaque atelier.

Afin de déterminer la consommation de carburant de l'atelier grandes cultures, il est demandé au porteur de projet, de suivre la méthodologie proposée en Annexe 5.

6.1.2.3 Méthode C : Consommation estimée sur la base de déclarations d'interventions

Cette méthode s'applique pour les exploitations non spécialisées en grandes cultures. Pour ces exploitations, les consommations réelles de combustibles relevées sur l'exploitation ne permettent pas d'isoler la consommation liée à l'atelier grandes cultures. Cependant pour ces exploitations, la traçabilité des interventions est disponible pour les années passées et pour les années projet, ce qui permet d'estimer les consommations associées à l'atelier grandes cultures d'après les interventions.

Le calcul des émissions de gaz à effet de serre en année k associées au carburant et à l'irrigation du système de culture i, exprimées en t éq. CO₂, se calcule de la façon suivante :

$$EGES_{combustibles}(k) = EGES_{combustibles_{engins}}(k) + EGES_{combustibles_{irrigation}}(k)$$

Avec :

$EGES_{combustibles_{engins}}(k)$, les émissions liées à la consommation de combustibles fossiles des engins agricoles en année k sur le système de culture (en teqCO₂/an)

$EGES_{combustibles_{irrigation}}(k)$, les émissions liées à la consommation d'énergie pour l'irrigation en année k liées au système de culture (en teqCO₂/an)

Équation 15 : Calcul des émissions de GES associées aux combustibles fossiles (méthode C)

et

$$EGES_{combustibles_{engins}}(k) = \left[\sum_i^n \text{Consommation intervention (i)} * \text{Surface intervention (i)} \right] * FE_{GNR}$$

Avec :

$$\begin{aligned} \text{Consommation intervention (i)} \\ &= \text{Consommation spécifique} * \text{Puissance du tracteur(i)} * \text{Taux de charge (i)} \\ &* \text{Débit de chantier (i)} \end{aligned}$$

- n le nombre d'interventions distinctes réalisées sur le système de culture
- Consommation intervention (i), la consommation estimée de carburant de l'intervention i (en litres/ha). Cette consommation peut être définie en considérant un facteur de consommation par type d'intervention (rapport Agribalyse (Koch & Salou, 2016)) selon les tables en Annexe 6 ou calculée selon la puissance, le taux de charge et le débit de chantier (Rapport Gestim (Gac et al., 2010))
- Surface intervention (i) la surface de l'intervention i (en ha)
- Consommation spécifique moyenne fixée à 0,22 l/ch/h
- Puissance du tracteur (i), la puissance nominale du tracteur de l'intervention culturale i (en ch)

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

- Taux de charge (i), le taux de charge de l'intervention i (en %). Fixé à 0,7 pour le travail du sol profond, la traction, le travail à la prise de force, et les outils automoteurs et à 0,5 pour les interventions de pulvérisation, d'épandage (d'après GES'TIM v1.2 d'ap. bancs d'essais tracteurs et barèmes du BCMA)
- Débit de chantier (i), le débit de chantier de l'intervention i (en heures/ha) –voir Annexe 6
- FE_{GNR}, facteur d'émissions directes et indirectes du gazole non routier (teqCO₂/unité) - Voir Annexe 6

Et :

$$EGES_{\text{combustibles_irrigation}}(k) = \text{Conso irrigation } i \times \text{Volume}_{\text{eau } i}(k) \times FE_i$$

Avec :

Conso irrigation i, la consommation moyenne du système d'irrigation i (système avec moteurs thermiques uniquement) en année k (en kWh/m³ d'eau). Voir table en Annexe 6

Volume eau i (k), le volume d'eau total apporté sur le système de culture avec le système d'irrigation i en année j (en kWh/m³ d'eau)

FE_i, le facteur d'émission directe et indirecte de l'énergie mobilisée par le système d'irrigation i (en teqCO₂/litre)

6.1.3 Calcul des RE séchage/stockage

Les RE_{séchage/stockage} correspondent aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes permises par les réductions de consommation d'énergie pour le séchage et stockage des productions à la ferme. Les réductions d'émissions indirectes permises au niveau de l'organisme stockeur (récolte du maïs avec une faible teneur en eau par exemple) sont comptabilisées dans la partie 6.2.

Le calcul de ce terme est optionnel et devra être réalisé uniquement si l'exploitation met en œuvre des leviers pour réduire la consommation d'énergie fossile des installations de séchage et/ou de stockage des productions de l'atelier grandes cultures (maïs, pomme de terre...), à savoir :

- Récolte des productions, qui nécessitent un séchage, pour atteindre une plus faible teneur en humidité
- Changement du type d'énergie mobilisé pour le séchage ou le stockage des productions à la ferme (ex : passage d'un séchoir à gaz à un séchoir à biomasse).

En absence de statistiques régionales sur les humidités à la récolte et le parc de séchoir à la ferme, **la valorisation des RE_{séchage/stockage} ne sera possible que dans le cas du choix par l'exploitation d'un scénario de référence spécifique.**

L'équation suivante explicite le calcul de RE_{séchage/stockage}.

$$RE_{\text{séchage/stockage}} = RE_{\text{séchage ferme}} + RE_{\text{stockage ferme}}$$

Équation 16: Calcul des RE_{séchage/stockage}

Les RE_{séchage ferme} correspondent aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes amont permises par la mise en œuvre des leviers « Combustibles fossiles » associées aux installations de séchage à la ferme. L'équation suivante détaille le mode de calcul de RE_{séchage ferme}, en teqCO₂.

$$RE_{\text{séchage ferme}} = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k=1}^p \left[(\text{Intensité séchage}_{\text{ref } j} * FE_{\text{énergie}}_{\text{ref}} * \text{tonnage séché}_j(k)) - (\text{Conso séchage}_{\text{Projet } j}(k) * FE_{\text{énergie}}_{\text{Projet}}) \right] \right]$$

Avec :

- j : la culture du calcul ; m : le nombre de cultures séchées à la ferme dans le Projet, toutes les cultures séchées sur l'exploitation doivent faire l'objet du calcul pour éviter des potentiels effets de transfert
- k : l'année du calcul ; p : la durée du Projet, $p=5$ au maximum
- Intensité séchage_{ref j} : la consommation d'énergie pour le séchage des productions de la culture j par quintal de grain humide du scénario de référence (en unité d'énergie / quintal grain humide). Cet indicateur se calcule en réalisant, sur les 3 années avant-projet, la somme des consommations d'énergie sur 3 ans divisée par la somme des tonnages séchés de la culture j sur les 3 années.
- $FE_{\text{énergie}}_{\text{ref}}$: le facteur d'émission (directes et indirectes) de l'énergie utilisée pour le séchage des grains pour les 3 années utilisées pour le scénario de référence (en $\text{teqCO}_2/\text{unité d'énergie}$)
- tonnage séché_j(k) : le volume de production séché pour la culture j en année k du Projet (en quintaux humide)
- Conso séchage_{Projet j}(k) : la consommation d'énergie pour le séchage de production de la culture j en année k du Projet (en unité d'énergie)
- $FE_{\text{énergie}}_{\text{Projet}}$: le facteur d'émission directes et indirectes de l'énergie utilisée pour le séchage des grains sur le Projet (en $\text{teqCO}_2/\text{unité d'énergie}$)

Équation 17: Calcul des $RE_{\text{séchage ferme}}$

Les $RE_{\text{stockage ferme}}$ correspondent aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes permises par la mise en œuvre des leviers « Combustibles fossiles » associées aux installations de stockage à la ferme (pomme de terre, céréales, autres grains). L'équation suivante détaille le mode de calcul de $RE_{\text{stockage ferme}}$, en teqCO_2 .

$$RE_{\text{stockage ferme}} = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k=1}^p \left[(\text{Intensité stockage}_{\text{ref } j} * FE_{\text{énergie}}_{\text{ref}} * \text{tonnage stocké}_j(k)) - (\text{Conso stockage}_{\text{Projet } j}(k) * FE_{\text{énergie}}_{\text{Projet}}) \right] \right]$$

Avec :

- j : la culture du calcul ; m : le nombre de cultures stockées à la ferme dans le Projet, toutes les cultures stockées sur l'exploitation doivent faire l'objet du calcul pour éviter des potentiels effets de transfert
- k : l'année du calcul ; p : la durée du Projet, $p=5$ au maximum
- Intensité stockage_{ref j} : la consommation d'énergie pour le stockage des productions de la culture j par quintal de production du scénario de référence (en unité d'énergie / quintal). Cet indicateur se calcule en réalisant, sur les 3 années avant-projet, la somme des consommations d'énergie sur 3 ans divisée par la somme des tonnages stockés sur les 3 années.
- $FE_{\text{énergie}}_{\text{ref}}$: le facteur d'émissions (directes et indirectes) de l'énergie utilisée pour le stockage des productions pour les 3 années utilisées pour le scénario de référence (en $\text{teqCO}_2/\text{unité d'énergie}$)
- tonnage stocké_j(k) : le volume de production stocké en année k du Projet (en quintaux)
- Conso stockage_{Projet j}(k) : la consommation d'énergie pour le stockage de la production de la culture j en année k du Projet (en unité d'énergie)
- $FE_{\text{énergie}}_{\text{Projet}}$: le facteur d'émissions directes et indirectes de l'énergie utilisée pour le stockage des productions sur le Projet (en $\text{teqCO}_2/\text{unité d'énergie}$)

Équation 18: Calcul des $RE_{\text{stockage ferme}}$

6.2 Calcul des RE_{aval}

Les RE_{aval} correspondent aux **réductions d'émissions de gaz à effet de serre indirectes** liées à l'aval de l'exploitation agricole, entre la situation Projet et le scénario de référence.

Dans la première version de cette Méthode, cela concerne uniquement la mise en œuvre de leviers permettant la réduction des émissions de gaz à effet à l'aval de la ferme (réduction du séchage au niveau des organismes stockeurs notamment).

Une mise à jour de la Méthode sera proposée ultérieurement, afin d'intégrer l'effet des leviers permettant :

- la valorisation de biomasses agricoles dans les biomatériaux
- la production de matières riches en protéines à destination de l'alimentation animale

Le calcul de ce terme est optionnel et devra être réalisé uniquement si l'exploitation met en œuvre au moins l'un des leviers listés ci-dessus.

Dans le cas où RE_{aval} < 0 alors, RE_{aval} est considéré comme nul.

L'équation suivante explicite le calcul de RE_{aval} :

$$RE_{\text{aval}} = RE_{\text{séchage OS}}$$

Équation 19: Calcul des RE_{aval}

6.2.1 Calcul de RE_{séchage OS} : réduction d'émissions GES liées au séchage chez les organismes stockeurs

Les RE_{séchage OS} correspondent aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre indirectes permises par les réductions de consommation d'énergie pour le séchage **au niveau de l'organisme stockeur**. Ce terme permet de valoriser les agriculteurs qui mettent en œuvre des pratiques permettant de récolter leurs productions avec une teneur en humidité la plus proche possible de la référence afin de limiter les consommations d'énergie pour le séchage des productions.

L'équation suivante détaille le calcul de RE_{séchage OS} en teqCO₂ :

$$RE_{\text{séchage OS}} = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k=1}^p \left[\left(\text{Conso_séchage}_{\text{ref } j} - \text{Conso_séchage}_{\text{Projet } j}(k) \right) * \text{tonnage séché}_j(k) * FE_{\text{gaz naturel}} \right] \right]$$

Avec :

- j : la culture du calcul ; m : le nombre de cultures séchées par les OS
- k : l'année du calcul ; p : la durée du Projet, p=5 au maximum
- Conso_séchage_{ref j} : la consommation d'énergie pour le séchage des productions de la culture j par tonne de grain humide du scénario de référence (en unité d'énergie / tonne grain humide)
- Conso_séchage_{Projet j}(k) : la consommation d'énergie pour le séchage de la production de la culture j par tonne de grain humide en année k du Projet (en unité d'énergie / tonne grain humide)
- tonnage séché_j(k) : le volume de production séché de la culture j en année k du Projet (en tonnes humide)
- FE_{gaz naturel} : le facteur d'émissions directes et indirectes du gaz naturel (teqCO₂/kg gaz naturel) – voir table en Annexe 6

Équation 20: Calcul des RE_{séchage OS}

En absence de statistiques régionales sur les humidités à la récolte, **la valorisation des RE séchage OS ne sera possible que dans le cas du choix par le Porteur de Projet d'un scénario de référence spécifique.**

Le calcul des consommations d'énergie liées au séchage par les OS, pour le scénario référence et le scénario Projet, se fait selon les équations suivantes :

$$\text{Conso}_{\text{séchage}_{\text{réf } j}} = \text{si } H_{\text{réf } j} > \text{Seuil}_{\text{séchage } j}, \text{ alors } \left(\frac{H_{\text{réf } j} - H_{\text{objectif } j}}{100 - H_{\text{objectif } j}} \right) * \text{Conso}_{\text{séchoir}}$$

, sinon 0

$$\text{Conso}_{\text{séchage}_{\text{Projet } j}}(k) = \text{si } H_{\text{Projet } j} > \text{Seuil}_{\text{séchage } j}, \text{ alors } \left(\frac{H_{\text{Projet } j} - H_{\text{objectif } j}}{100 - H_{\text{objectif } j}} \right) * \text{Conso}_{\text{séchoir}}$$

, sinon 0

Avec :

- $H_{\text{réf } j}$: humidité du grain à la récolte du scénario de référence pour la culture j (en %) ; cette référence se calcule en réalisant la moyenne des humidités des productions livrées aux OS pour une culture donnée sur les 3 années avant-Projet

- $\text{Seuil}_{\text{séchage } j}$: seuil d'humidité du grain au-delà duquel le séchage est déclenché en OS pour la culture j (en %) – cf. Annexe 7

- $H_{\text{objectif } j}$: humidité du grain visée pour le stockage et la commercialisation pour la culture j (en %) – cf. Annexe 7

- $H_{\text{Projet } j}(k)$: l'humidité moyenne du grain à la récolte pour la culture j en année k de Projet (en %)

- $\text{Conso}_{\text{séchoir}}$, la consommation spécifique du séchoir (en kg gaz naturel /kg d'eau), avec $\text{Conso}_{\text{séchoir } r} = 80$ kg gaz naturel / tonne eau à évaporer

Équation 21 : Calcul des consommations d'énergie pour le séchage par les OS

Les valeurs des objectifs d'humidité pour le stockage correspondent aux normes de commercialisation, elles sont détaillées par espèce en Annexe 7. Des exceptions peuvent exister, et sont liées à des demandes spécifiques de l'utilisateur aval en dessous de ces normes pour un débouché spécifique.

Pour les cultures autres que le maïs, le séchage des productions n'intervient pas de façon systématique, mais uniquement pour des humidités élevées (refroidissement par ventilation le reste du temps). Les seuils de déclenchement du séchage pour ces cultures sont résumés également en Annexe 7.

6.2.2 Calcul de RE_{protéines} : valorisation des biomasses en protéines pour l'alimentation animale

Prévu dans une mise à jour de la Méthode.

6.2.3 Calcul de RE_{biomatériaux} : valorisation des biomasses en biomatériaux

Prévu dans une mise à jour de la Méthode.

6.3 Calcul des RE _{stockage}

Le sol est un puits qui permet de stocker du carbone organique sous certaines conditions. Afin de prendre en compte cet effet puits, les RE _{stockage} sont comptabilisées par la Méthode. Elles sont exprimées en teqCO₂.

L'objectif dans l'estimation des RE _{stockage} est de connaître l'effet du Projet LBC, dans son ensemble, sur le stockage de carbone dans le sol de chacun des systèmes de culture des exploitations sous Projet. Pour évaluer cet effet, des écarts de stocks entre le Projet et une référence sont étudiés.

L'équation de calcul de RE _{stockage} est la suivante :

$$RE_{stockage} = \Delta_{StockC} * a$$

Avec :

- RE_{stockage}, la valeur des réductions d'émissions permise par le stockage de carbone dans les sols ; valeur positive ou négative, exprimée en teqCO₂
- Δ_{StockC} , évaluation de l'évolution du stock de carbone au regard de la référence (en tonnes de C)
- a= facteur de conversion tonnes de C en teqCO₂ ; $a = \frac{44}{12}$ (IPCC, 2019)

Équation 22 : Calcul des RE _{stockage}

La méthode développée ci-dessous décrit comment estimer et comptabiliser ces écarts de stocks (Δ_{StockC}). Elle est inspirée des recommandations fournies par le groupe de travail Stockage du comité des experts et le rapport d'étude *Quelles approches pour estimer et certifier la variation du stock de carbone organique du sol?*, Yogo et al., INRAE, 2020.

Afin de prendre en compte les situations où la mise en œuvre de leviers du Projet impacterait négativement le stockage du carbone dans les sols, le terme RE _{stockage} pourra être positif ou négatif.

6.3.1 Précision de certains choix méthodologiques

Un argumentaire complémentaire est disponible en Annexe 8.

- **Utilisation des modèles de simulations d'évolution de stock de carbone du sol**

Le calcul de la valeur de Δ_{StockC} est à effectuer par la mise en œuvre de modèles de simulations de stockage du carbone dans les sols. Ces modèles permettent d'obtenir des résultats d'évolution de stock de carbone, en tC/ha sur la durée des Projets. De tels modèles ont été construits, paramétrés et validés dans les contextes des grandes cultures français.

La liste des modèles utilisables pour effectuer les calculs des RE _{stockage} est fournie en Annexe 9. Seuls les modèles listés dans cette annexe sont utilisables.

Les données d'entrée nécessaires sont indiquées dans les tableaux de l'Annexe 1. Les critères de choix utilisés pour construire cette liste de modèle ont été :

- de disposer de modèles capables de simuler les effets des changements de pratiques prévus par les leviers proposés par la présente Méthode (choix d'espèces de cultures principales, restitution ou export des résidus, présence ou absence de couverts, biomasse restituée par les couverts, apports de MAFOR) ;
- de pouvoir effectuer des calculs à priori, au moment de la mise en place du Projet,
- de disposer de modèles validés en contexte français à la date d'écriture de la Méthode.

Au regard de l'avancée des connaissances scientifiques, cette liste est évolutive et pourra intégrer les versions améliorées des modèles cités ou de nouveaux modèles.

Pour estimer les RE _{stockage} d'un Projet, individuel ou collectif, un seul et unique modèle choisi parmi la liste devra être utilisé.

- **Delta StockC : un différentiel de stock entre deux scénarios de pratiques**

Afin de limiter les incertitudes d'estimation des stocks de carbone, la Méthode consiste en l'estimation de différentiels de stocks de carbone entre deux scénarios en fin de Projet.

Pour estimer ce différentiel, les deux scénarios simulés sont le scénario de référence et le scénario Projet. Ces deux scénarios de pratiques étant simulés pour le même sol et le même stock de carbone initial.

A noter que le scénario Projet correspond aux pratiques réellement mises en place durant la phase de Projet. Il inclut donc les leviers stockage et les leviers émissions.

- **Influence des données d'entrée des modèles sur les résultats**

Les entrées de carbone dans le système de culture conditionnent en grande partie les écarts de stocks de carbone entre des pratiques différentes. En suivant les recommandations pour l'acquisition des données d'entrées, qui tiennent compte de l'effet des incertitudes des données sur les résultats, différents moyens de récolter les données sont proposés en partie 6.3.3. Des niveaux de rabais, appliqués aux RE _{stockage}, qui dépendent du mode de recueil des données et du besoin de précision de celle-ci sont précisés en partie 6.4.

Pour le suivi des Projets, une attention particulière sera donc donnée au suivi des productions de biomasses des couverts et des cultures principales et aux utilisations des MAFOR. Dans le cas de suivis simplifiés pour certains systèmes de culture, la priorité sera donc donnée aux suivis des entrées de C.

- **Épaisseur de sol considérée**

L'épaisseur de sol sur laquelle est comptabilisé le stockage du carbone est l'épaisseur 0-30 cm.

Dans les cas particuliers de sol dont l'épaisseur est inférieure à 30 cm ou pour des cas où l'on ne dispose que de données sur une épaisseur inférieure à 30 cm ; il convient de sélectionner un modèle qui peut faire des calculs de stocks pour des épaisseurs de sol inférieures à 30 cm. C'est le cas des modèles sélectionnés et proposés en Annexe 10.

Les RE _{stockage} comptabilisées seront alors celle de l'épaisseur considérée et les stocks ne seront pas extrapolés pour 0-30cm.

- **Notion de maintien de stock et de stock complémentaire**

La décomposition d'un stock de carbone par ces deux notions permet de prendre en compte un meilleur service de maintien de stock de C initial par le Projet que ce que ne le permettrait le maintien des pratiques de la référence. Les deux notions ne sont pas nécessaires dans la mise en œuvre des calculs ; elles sont donc définies à titre informatif en Annexe 8.

6.3.2 Références génériques et spécifiques pour le stockage du C, choix des pratiques

La référence du point de vue du stockage de carbone dans les sols correspond à ce qu'il se passerait sans mise en œuvre du Projet LBC.

Comme précisé en partie 5 ci-dessus, les données d'assolement et les rotations des trois années avant-Projet de chacun des systèmes de culture sont à collecter sur l'exploitation quel que soit le type de scénario de références.

Pour une référence générique, les pratiques de la référence correspondent à des pratiques moyennes régionalisées. Les données utilisées pour les définir sont issues des enquêtes statistiques annuelles Agreste, des enquêtes pratiques culturelles en grandes cultures du SSP ou de l'application de la réglementation (cf. tables en Annexe 1).

Grâce à la définition de ces pratiques moyennes et de la rotation, l'évolution du stock de carbone de la référence pourra être simulée avec les modèles. Elle pourra être croissante, décroissante ou constante en fonction de la référence.

En cas de renouvellement de Projet ayant une référence générique, le projet suivant devra mettre à jour le scénario de référence en choisissant un scénario de référence spécifique prenant en compte les pratiques mises en œuvre par l'exploitation sur le premier projet.

La référence spécifique correspond au maintien des pratiques telles qu'elles sont mises en œuvre sur l'exploitation avant le Projet. Les pratiques des 3 ans avant-Projet seront utilisées pour simuler avec les modèles l'évolution du stock de carbone de la référence à partir de l'année d'initialisation du Projet ou de la dernière année pour laquelle on dispose d'analyse de sol mesurant le stock de carbone (dans la limite de 5 ans avant le début du Projet). L'évolution pourra être croissante, décroissante ou constante en fonction de la référence.

En cas de renouvellement de Projet ayant une référence spécifique, le projet conservera le scénario de référence du premier projet.

6.3.3 Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de carbone

Pour évaluer les RE_{stockage} il faut effectuer 2 simulations d'évolution des stocks de carbone avec l'un des modèles listés en Annexe 9 :

- Une simulation avec les pratiques de la référence,
- Une simulation avec les pratiques mises en œuvre en phase de Projet.

Des niveaux de rabais tenant compte du mode de recueil des données choisi et de l'importance de la précision de la donnée sur le résultat du calcul seront appliqués. Ils sont précisés partie 6.4.

6.3.3.1 Données à utiliser pour les simulations d'une référence générique

Tableau 11 : Données à utiliser pour les simulations d'une référence générique

| Paramètres ou variables d'entrées | Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de C d'une référence générique |
|---|--|
| Pluviométrie | Utilisations de données moyennes : données météo des outils, à minima échelle départementale |
| Température | Utilisations de données moyennes : données météo des outils, à minima échelle départementale |
| Stock de carbone initial | Utilisations de données moyennes : bases de données sols |
| Autres données sol : pH, % argiles, CaCO ₃ , ratio C/N | Utilisations de données moyennes : bases de données sols |
| Biomasse des cultures intermédiaires et des cultures principales | Utilisations de données moyennes : moyennes régionales fournies en Annexe 1 |
| Quantité de carbone des MAFOR et sa stabilité (K1_MAFOR) | Utilisations de données moyennes : bases de données des outils |

6.3.3.2 Données à utiliser pour les simulations d'une référence spécifique

En cas de choix de référence spécifique, différentes sources peuvent être utilisées pour recueillir les données nécessaires aux simulations d'évolution de stock de C de la référence.

Tableau 12 : Données à utiliser pour les simulations d'une référence spécifique

| Paramètres ou variables d'entrées | Références Spécifiques | | |
|--|--|---|---|
| | Mesures In Situ | Simulations | Utilisations de données moyennes |
| Pluviométrie | Station météo avec mesures en continue | | Données météo des outils, à minima échelle départementale |
| Température | | | |
| Stock de carbone initial | Analyses de sol en début de projet | Si analyses de sol antérieures au projet (dans la limite de 5 ans), simulation de la référence à partir de la date d'échantillonnage de sol pour obtenir le stock de C à l'initialisation du projet | Bases de données sols |
| Autres données sol : pH, ratio C/N | Analyses de sol en début de projet | | Bases de données sols |
| Autres données sol : % argiles, CaCO ₃ | Analyses de sol en début de projet ou antérieure au projet | | |
| Biomasse des cultures intermédiaires et des cultures principales | Mesures de biomasse (prélèvement, photos 57°, télédétection...) | Simulation production biomasse | Moyennes régionales |
| Quantité de carbone des MAFOR et sa stabilité (K1_MAFOR) | Quantités épandues Composition : analyse des produits épandus | | Quantités épandues Composition : bases de données des outils |

En cas d'utilisation d'analyses de sol, l'échantillonnage de sol devra être fait dans la mesure du possible sur une épaisseur de 0-30 cm de sol. Il est possible d'avoir recours à plusieurs analyses sur différents horizons reconstituant l'épaisseur 0-30 cm. L'analyse devra être conduite dans un laboratoire agréé suivant des protocoles d'analyses normalisés.

Différentes analyses de sol peuvent être utilisées telles que :

- Pour les données de stock de C, l'utilisation d'analyses de sols réalisées en initialisation du Projet ou dans les 3 années avant-Projet sera à privilégier. Dans le cas où des analyses antérieures sont disponibles, il sera possible de les utiliser. Alors, les calculs d'évolution de stock de la référence débiteront l'année d'échantillonnage du sol. Le stock de C de l'année d'initialisation du projet sera obtenu par simulation.
- Pour les données de pHeau et de ratio C/N, l'utilisation d'analyses de sols réalisées en initialisation du Projet ou dans les 3 années avant-Projet sera à privilégier.
- Pour les données de granulométrie (% argiles, CaCO₃ ...), toute analyse de sol pourra être utilisée quelle que soit l'année de sa réalisation.

En cas d'utilisation de bases de données sols, plusieurs sources sont utilisables :

- Les valeurs de stock de C initiaux ainsi que les autres variables sols associées estimées pour l'étude 4p1000, Pellerin *et al.*, 2019. Ces données sont issues du GIS SOL ou Mulder *et al.*, 2016.
- Les valeurs de stock de C initiaux ainsi que les autres variables sols associées aux types de sol de la Base Sol Arvalis.
- Les valeurs de stock de C initiaux ainsi que les autres variables sols associées aux sols Typeterres s'ils sont décrits dans la région.
- Les valeurs de stock de C initiaux ainsi que les autres variables sols associées aux types de sol des produits SoilGrids ou GSM
- Les valeurs médianes par canton de la BDAT (Base D'Analyse de Terres) de la période la plus récente. Une incertitude forte existe sur les données issues de cette base, un rabais complémentaire sera attribué à l'utilisation de cette base, *cf.* Partie 6.4.3.

6.3.3.3 Données à utiliser pour les simulations du Projet

Tableau 13 : Données à utiliser pour les simulations du Projet

| Paramètres ou variables d'entrées | Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de C |
|---|---|
| Pratiques culturales | Calcul de l'évolution du stock de carbone en utilisant les pratiques prévues pendant les 5 ans du projet. Les pratiques prévues sont recueillies que l'on soit en référence spécifique ou générique. |
| Pluviométrie | Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence |
| Température | Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence |
| Stock de carbone initial | Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence |
| Autres données sol : pH, % argiles, CaCO ₃ , ratio C/N | Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence |
| Biomasse des cultures intermédiaires et des cultures principales | Productions estimées au regard des changements de pratiques, estimations obtenues par simulations ou par recours à des bases de données ou via la télédétection. |
| Quantité de carbone des MAFOR et sa stabilité (K1_MAFOR) | Quantités prévues. Composition : Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence |

6.3.4 Description des calculs des évolutions du stock de carbone

- **Systèmes de culture concernés par les calculs d'évolution du stock de carbone :**

En fonction des choix de leviers mis en œuvre par le Porteur de Projet, 4 cas de figure sont possibles pour les différents systèmes de culture de l'exploitation :

- Systèmes de cultures avec des leviers LBC stockage et émissions
- Systèmes de cultures avec des leviers LBC stockage seuls
- Systèmes de cultures avec des leviers LBC émissions seuls
- Systèmes de cultures sans leviers LBC

Les calculs d'évolution du stock de carbone dans les sols seront effectués sur les systèmes de culture où le Porteur de Projet a volontairement choisi de mettre en œuvre des leviers stockage et/ou des leviers émissions. Seuls les systèmes de culture sans aucun levier déployé auront un suivi réduit, qui prendra la forme d'une vérification des entrées de carbone.

Tableau 14 : Règles pour le calcul des RE stockage

| | Mise en place de leviers, stockage et émissions, stockage seuls ou émissions seuls | Sans leviers LBC |
|---------------------------------------|--|---|
| Calculs à effectuer | Simulations des évolutions stock C | Pas de simulations, vérification que les entrées de C ne diminuent pas |
| En cas de RE stockage négatives | Utiliser cette valeur négative pour la comptabilisation des RE du Projet | Non calculé dans un premier temps |
| En cas de diminution des entrées de C | Déjà pris en compte dans les simulations de stock de C | Un calcul des évolutions de stock de carbone sera à effectuer sur ces systèmes de culture pour l'estimation des RE du Projet global |

- **Delta_StockC :**

L'écart de stock entre la référence et le Projet est calculé de la manière suivante sur les valeurs de fin de Projet :

$$Delta_StockC = Sfin_i - Sfin_{ref\ i}$$

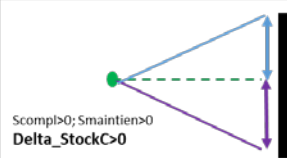
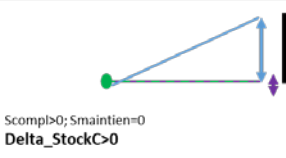
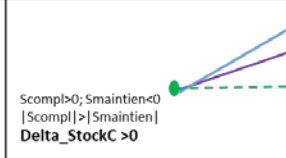
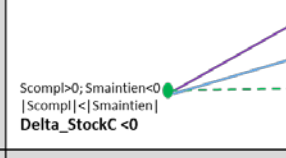
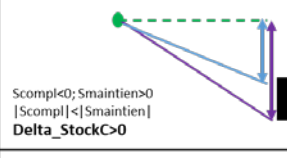
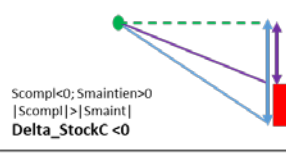
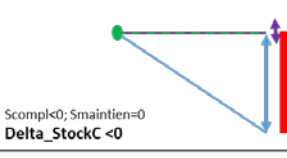
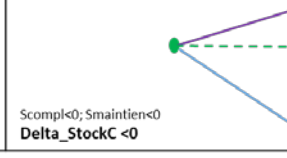
Avec :

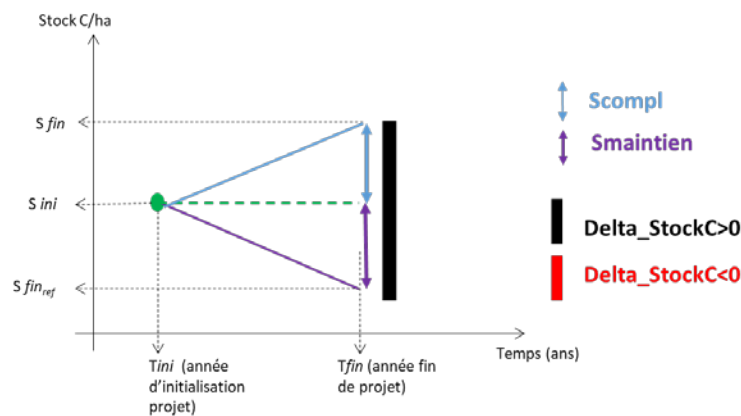
- $Delta_StockC$, évaluation de l'évolution du stock de carbone au regard de la référence (en tonnes de C)
- $Sfin_i$ = stock de carbone en fin de projet pour le système de culture i (étape 2) (tC/ha)
- $Sfin_{ref\ i}$ = stock de carbone à la date de fin de projet pour la référence (étape 1) (tC/ha)

Équation 23 : Calcul de Delta_StockC

Les schémas ci-dessous permettent de visualiser les différents cas de figure de calculs de $Delta_StockC$.

Tableau 15 : schémas représentant les différents cas de figure pouvant se présenter pour le calcul de Δ_{StockC}

| | Référence déstockante | Référence à l'équilibre | Référence stockante |
|--|--|--|--|
| SdC stocke plus que la référence |  Scompl>0; Smaintien>0 Delta_StockC>0 |  Scompl>0; Smaintien=0 Delta_StockC>0 |  Scompl>0; Smaintien<0 Scompl > Smaintien Delta_StockC > 0 |
| SdC stocke mais moins que la référence | | |  Scompl>0; Smaintien<0 Scompl < Smaintien Delta_StockC < 0 |
| SdC déstocke moins que la référence |  Scompl<0; Smaintien>0 Scompl < Smaintien Delta_StockC > 0 | | |
| SdC déstocke plus que la référence |  Scompl<0; Smaintien>0 Scompl > Smaintien Delta_StockC < 0 |  Scompl<0; Smaintien=0 Delta_StockC < 0 |  Scompl<0; Smaintien<0 Delta_StockC < 0 |



Légende :

- Evolution du stock de carbone pour la trajectoire de la référence **en violet**
- Evolution du stock de carbone pour le système de culture dans le projet LBC **en bleu**

Les notions de *Scompl* (stockage complémentaire) et *Smaintien* (service de maintien) sont données à titre informatif et sont précisées en Annexe 8

• Les étapes de calculs :

Pour aboutir à l'estimation de la variable Δ_{stockC} deux modélisations sont à effectuer avec les modèles listés en Annexe 9.

Modélisation de l'évolution du stockage de carbone pour le scénario de référence (Etape 1)

Pour modéliser l'évolution du stock de carbone en situation de référence pour le système de culture i , une projection des pratiques de la référence doit être réalisée sur les 5 années du Projet. Un stock théorique de carbone du sol au bout de 5 ans sans mise en œuvre du Projet est ainsi estimé : $S_{fin_ref\ i}$

Modélisation de l'évolution du stockage de carbone avec la mise en œuvre des leviers choisis pour le Projet (Etape 2)

En phase de Projet, les pratiques culturales mises en œuvre sur le système de culture devront être utilisées pour les modélisations. Les valeurs de stocks simulées au bout de 5 ans (S_{fin_i}) seront utilisées pour calculer Δ_{stockC} .

- **Les 5 années doivent être représentatives des rotations :**

Les variations de stocks de carbone devront être modélisées sur chacun des Systèmes de Culture des exploitations pour les 5 années du Projet.

Les outils devront fournir des stocks de carbone en fin de Projet, soit au bout des 5 années simulées par les modèles.

Afin de comptabiliser l'effet des pratiques sur l'ensemble du Système de culture, la rotation complète devra être prise en compte (celle-ci peut avoir une durée supérieure à 5 ans). Pour cela, soit une fréquence de présence de chacune des cultures de la rotation pourra être utilisée par les outils mettant en œuvre les modèles ; soit la rotation devra être simulée dans son ensemble et les résultats devront ensuite être linéarisés afin d'annuler un biais éventuel lié à une culture ou à une année donnée.

6.4 Evaluation des incertitudes et calculs des rabais

6.4.1 Choix du scénario de référence

La référence représente la situation la plus probable en l'absence de Projet. Un choix de référence générique induit une incertitude quant à la pertinence des valeurs moyennes régionales et des pratiques régionales pour décrire la situation initiale de l'exploitation. Pour cela, un rabais de 10% sera appliqué à l'ensemble des $RE_{stockage}$, $RE_{émissions}$ et RE_{aval} si la référence du Projet est générique.

Si la référence est spécifique, donc s'appuie sur une description des systèmes de culture tels que conduits sur l'exploitation avant-Projet, aucun rabais ne sera appliqué.

6.4.2 Incertitudes des méthodes utilisées

Pour comptabiliser les émissions, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) définit trois « Tiers », autrement dit trois niveaux de complexité méthodologique. Le Tier 1 est la méthode d'estimation la plus simple, basée sur la multiplication d'une donnée d'activité nationale et d'un facteur d'émissions par défaut fournit par l'IPCC. Le Tier 2 est intermédiaire et implique la recherche d'un facteur d'émission spécifique au territoire concerné tandis que le Tier 3, la méthode la plus exigeante, fait souvent appel à des modèles et/ou sources de données complexes (Rogissart L. 2019). Le Tier 3 est considéré comme la méthode la plus précise (IPCC Guidelines, 2019).

6.4.2.1 Evaluation des incertitudes des $RE_{émissions}$

Pour le calcul de $RE_{émissions}$, la Méthode Grandes Cultures s'appuient sur les dernières équations et références établies par la littérature scientifique (IPCC 2019 et Hénault et al., 2019) et sur des facteurs d'émissions nationaux ou européens lorsqu'ils sont disponibles (Ges'tim+ pour la fabrication des engrais, EMEP/EEA pour les facteurs de volatilisation des engrais).

Les méthodes pour estimer les émissions de N_2O associent donc les méthodes Tier 1 et Tier 2 les plus à jour. Ces méthodes permettent donc d'obtenir le meilleur compromis entre un

niveau d'incertitude acceptable et une relative simplicité de calcul par rapport à une approche par modélisation.

Les méthodes pour estimer les émissions de CO₂ équivalent associées à la combustion de carburants et aux émissions indirectes amont s'appuient sur des facteurs d'émissions nationaux (Base Carbone Ademe, Ges'Tim+) ou européens (EcoInvent). Les méthodes de niveau Tier 2 sont, pour évaluer ces postes, les méthodes existantes les plus précises.

Pour ces raisons, aucun rabais n'est appliqué sur le terme RE_{émissions} pour prendre en compte l'incertitude associée aux méthodes d'évaluation.

6.4.2.2 Evaluation des incertitudes des RE_{aval}

La méthode d'évaluation des RE_{aval} telles que définies dans la Méthode LBC Grandes Cultures fait également appel à des références nationales. Il n'existe à ce jour pas de référentiel plus précis qui aurait pu être utilisé.

Pour ces raisons, aucun rabais n'est appliqué sur le terme RE_{aval} pour prendre en compte l'incertitude associée aux méthodes d'évaluation.

6.4.2.3 Evaluation des incertitudes des RE_{stockage}

Pour les estimations des RE_{stockage}, le mode de calcul de la Méthode LBC Grandes Cultures fait appel à des méthodes Tier 3. Ce sont les méthodes les plus précises qui existent en termes d'évaluation du stockage de carbone dans les sols. Comme le précise l'IPCC (IPCC 2019), les méthodes Tier 3 permettent de prendre en compte les variabilités annuelles dans les flux de carbone, ce que ne permettent pas les méthodes Tier 1 et 2. En effet, les méthodes Tier 3 peuvent tenir compte des occupations du sol, des changements dans les pratiques culturales et des conditions environnementales. Selon les recommandations de l'IPCC (IPCC 2019), les modèles utilisés pour les méthodes Tier 3, pour être utilisables, doivent être calibrés pour les conditions environnementales, les propriétés des sols et les pratiques culturales sur lesquels ils sont appliqués. C'est bien le cas des modèles choisis et listés en Annexe 9.

Les modèles choisis ont été construits et/ou évalués sur des mesures terrains qui reflètent la variabilité des climats, types de sols et pratiques culturales sur lesquelles ils seront utilisés.

Etant donné que

- la méthode Tier la plus précise pour estimer les RE_{stockage} (IPCC, 2019) est utilisée,
- les modèles choisis ont des niveaux de performances comparables (voir ci-dessous), les performances des modèles ; pour la plupart des systèmes de cultures et pédoclimats rencontrés en France métropolitaine ; sont les meilleures parmi les modèles internationaux (voir ci-dessous),
- les niveaux d'incertitudes, déjà faibles, sont diminués en estimant des différentiels de stocks entre pratiques et non des stocks absolus (Yogo *et al.* 2020),

Aucun rabais lié à l'incertitude d'estimation des modèles utilisés n'est donc appliqué aux RE_{stockage}.

A partir de la littérature scientifique, l'Annexe 10 fournit des informations complémentaires sur les évaluations des différents modèles d'évaluation de stocks de carbone sélectionnés.

6.4.3 Evaluation des incertitudes des données d'entrée

- **Pour le calcul des RE_{combustibles} :**

Dans le cas où le Porteur de Projet mobilise la méthode B ou la méthode C pour estimer sa consommation de carburant pour ses interventions mécaniques, alors un rabais de 5 % devra être appliqué sur le terme RE_{combustibles}

- **Pour le calcul des RE_{stockage} :**

En fonction du mode de recueil des données choisi et de leur précision différents niveaux de rabais sont associés au terme RE_{stockage} :

Tableau 16 : Rabais associés aux incertitudes du mode de recueil des données pour le calcul des RE_{stockage}

| Paramètres ou variables d'entrées | Effet des incertitudes sur la différence de stock de C à 5 ans (Yogo et al. 2020) | Rabais associés au mode de recueil de la donnée | | |
|--|---|---|---|--|
| | | Mesures In Situ | Simulations | Utilisations de données moyennes |
| Pluviométrie | Faible | Rabais ($r_{\text{météo}}$) = 0% | | Rabais ($r_{\text{météo}}$) = 2.5% |
| Température | Moyen | | | |
| Stock de carbone initial | Faible | Rabais ($r_{\text{C initial}}$) = 0% | RABAIS ($r_{\text{C initial}}$) = 2% | Rabais ($r_{\text{C initial}}$) = 3% (5% si BDAT) |
| Autres données sol : pH, ratio C/N | Moyen | Rabais ($r_{\text{autres données sol}}$) = 0% | | Rabais ($r_{\text{C initial}}$) = 3% (5% si BDAT) |
| Autres données sol : argiles, CaCO ₃ | Moyen | Rabais ($r_{\text{autres données sol}}$) = 0% | | |
| Biomasse des cultures intermédiaires et des cultures principales | Elevé | Rabais (r_{biomasse}) = 0% | RABAIS (r_{biomasse}) = 2.5% | Rabais (r_{biomasse}) = 5% |
| Quantité de carbone des MAFOR et sa stabilité (K1_MAFOR) | Elevé | Rabais (r_{MAFOR}) = 0% | | Rabais (r_{MAFOR}) = 5% |

Le rabais à appliquer aux RE_{stockage} sont alors issus de la formule suivante :

$$\text{Rabais}_{\text{incertitude données stockage}} = \text{moyenne} (\text{Rabais}(r_{\text{stockage}}))$$

Avec :

- $\text{Rabais}_{\text{incertitude données stockage}} = \text{rabais moyen à appliquer au terme RE}_{\text{stockage}}$

- $\text{Rabais}(r_{\text{stockage}}) = \text{rabais liés aux choix de recueil des données, avec}$

$r_{\text{météo}} = \text{rabais lié au choix des données météo; 0 ou 2.5 \%}$

$r_{\text{C initial}} = \text{rabais lié au choix des données de stock de C initial; 0 à 5 \%}$

$r_{\text{autres données sol}} = \text{rabais lié au choix des autres données sol (pH, CaCo3, argile, C/N); 0 à 5 \%}$

$r_{\text{biomasses}} = \text{rabais lié au choix des données de biomasses des cultures principales ou intermédiaires ; 0 à 5 \%}$

$r_{\text{MAFOR}} = \text{rabais lié au choix des données de quantités et composition des MAFOR ; 0 ou 5 \%}$

Équation 24 : Calcul du rabais stockage lié au choix du mode de recueil de données d'entrée

6.4.4 Risque de non-permanence

Les effets des pratiques vertueuses mises en œuvre peuvent être partiellement ou totalement annulés par de nouvelles pratiques à l'issue du Projet. Cette question ne se pose pas pour le volet "réduction des émissions" mis en application dans la durée du Projet. En revanche ce risque doit être pris en compte dans le volet "stockage de carbone" acquis en cours de Projet. L'arrêt de pratiques favorables au stockage peut amener un déstockage rapide dans les années qui suivraient la fin du Projet. La pérennité du stockage sera rendue possible par le maintien des pratiques favorables au stockage, par exemple par le renouvellement du Projet LBC Grandes Cultures à l'issue des 5 ans (voir parties sur le renouvellement de Projet).

Ainsi, pour tenir compte du caractère réversible du stockage de carbone dans les sols, un rabais de 20% sera appliqué sur les RE_{stockage}, ramené à 10% dans le cas :

- d'un renouvellement de Projet visant à maintenir les leviers permettant du stockage de carbone dans les sols,
- ou si le Porteur de Projet peut démontrer le maintien des leviers mis en place, par exemple par une évolution réglementaire qui les rendraient obligatoires.

Que le Projet soit renouvelé ou pas, il n'y aura par contre pas de rabais lié au risque de non permanence appliqué sur la partie RE_{émissions} et RE_{aval}.

6.4.5 Risque lié à la non-démonstration de l'additionalité

Si l'exploitation agricole du Projet i) touche, antérieurement au lancement du Projet ou pendant la période du Projet, des subventions publiques (hors PAC - premier pilier) et/ou des financements privés pour la mise en œuvre ou le maintien des leviers de la Méthode LBC Grandes Cultures mobilisés dans le Projet, et ii) qu'il n'est pas capable de démontrer que ces financements ne sont pas suffisants pour le maintien ou la mise en œuvre des leviers (cf. partie 4.2), alors la démonstration de l'additionalité n'est pas complète. Dans ce cas un rabais de 20% sur les RE générées par les leviers en question sera appliqué pour prendre en compte l'effet d'aubaine potentiel.

Quelques exemples de financements sont présentés ci-dessous pour illustrer ce mécanisme.

- **Cas des Certificats d'Economie d'Energie (CEE) :**

Les CEE sont attribués, par les services du ministère chargé de l'énergie, aux acteurs éligibles réalisant des opérations d'économies d'énergie chez les consommateurs d'énergie. Le consommateur qui réalise des investissements en faveur d'économie d'énergie touche une contrepartie financière de la part de l'obligé (ou autre acteur éligible) qui a fait valider cette action auprès de l'autorité compétente (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/operations-standardisees#e2>). Ces fiches couvrent différents domaines : équipements des véhicules agricoles, des silos...

S'ils bénéficient de CEE antérieurement à la mise en œuvre du Projet et si l'additionalité économique a pu être démontrée, alors il n'y a pas d'effet d'aubaine constaté et donc pas de rabais appliqué. En revanche si dans ce cas l'additionalité économique n'a pas pu être démontrée, alors un rabais de 20% sera appliqué, uniquement sur les émissions relatives aux consommations d'énergie couvertes par le CEE considéré.

S'ils contractent un CEE postérieurement à la mise en œuvre du Projet, et compte tenu du possible effet d'aubaine, un rabais de 20% sera appliqué, uniquement sur les émissions relatives aux consommations d'énergie couvertes par le CEE considéré.

- **Cas d'une conversion de l'Agriculture Biologique (AB) :**

Autre cas de figure, les exploitations en cours de conversion en Agriculture Biologique perçoivent des aides à la conversion, définies au niveau des régions. Ces exploitations, qui, à

la différence des exploitations déjà converties en AB au démarrage du Projet, devront se référer à des conduites et des exploitations conventionnelles, se verront appliquer un rabais de 20% sur l'ensemble des RE calculées pour tenir compte de ces aides. Cependant, ce rabais ne sera pas appliqué si l'exploitant est en mesure de démontrer qu'il respecte le principe d'additionalité de son Projet, c'est à dire qu'il peut montrer que les aides à la conversion ne comblent pas la perte de marge engendrée par la conversion en Agriculture Biologique.

- **Autres cas :**

Le même principe sera appliqué plus généralement pour toute subvention ou contribution financière, qu'elle soit de nature publique ou privée, contractualisée au début ou en cours de Projet, distincte des financements obtenus par le Projet LBC, mais qui viendrait contribuer financièrement à la mise en place d'un ou plusieurs leviers du Projet LBC. Le principe retenu est un rabais de 20%, qui ne sera pas applicable si l'exploitant peut démontrer le respect de l'additionalité tel qu'indiqué en partie 4.2. Par exemple si un contrat MAEC est mis en place en parallèle du Projet LBC, avec augmentation de la part des légumineuses dans la SAU de l'exploitation, le rabais sera appliqué sur les RE qui intègrent ce facteur légumineuses, en l'occurrence les RE_{fertilisation}.

6.4.6 Récapitulatif des rabais

L'ensemble des rabais présentés sont indépendants et additifs. Ils sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Récapitulatif des rabais applicables à la Méthode LBC Grandes Cultures

| Type de rabais | Taux de rabais | Périmètre d'application |
|---|--|---|
| Rabais Référence : Choix d'une référence générique (cf. partie 6.4.1) | 10% dans le cas d'une référence générique, 0% dans le cas d'une référence spécifique | RE _{émissions} + RE _{stockage} + RE _{aval} |
| Rabais nonPerm : Prise en compte d'un risque de non permanence (cf. partie 6.4.4) | 20% en cas de non-renouvellement du Projet au bout de la période de 5 ans, ramené à 10% si le Porteur de Projet est en mesure de démontrer le maintien des leviers au-delà des 5 ans du Projet, que ce maintien soit de nature volontaire (renouvellement de Projet) ou subi (par exemple une évolution de la réglementation en cours de Projet ou à sa fin) | RE _{stockage} |
| | 0% en cas de renouvellement du projet à l'identique, avec maintien des leviers mis en œuvre dans le premier projet | |
| Rabais _{incertitude_données} combustibles : Prise en compte de l'incertitude des données utilisées en entrée des modèles de calcul des RE _{combustibles} (cf. partie 6.4.3) | 5% si méthode B ou C choisie pour le calcul de la consommation de carburant 0% si méthode A choisie | RE _{combustible} |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| | | |
|---|--|---|
| <p>Rabais_{incertitude_données stockage} : Prise en compte de l'incertitude des données utilisées en entrée des modèles chiffrant les RE stockage <i>(cf. partie 6.4.3)</i></p> | <p>moyenne (Rabais(r_{stockage})).</p> <p>Avec Rabais(r_{stockage}) = rabais liés aux choix de recueil des données</p> <p>$r_{\text{météo}}$ = rabais lié au choix des données météo; 0 ou 2.5 %</p> <p>$r_{\text{C initial}}$ = rabais lié au choix des données de stock de C initial; 0 à 5 %</p> <p>$r_{\text{autres données sol}}$ = rabais lié au choix des autres données sol (pH, CaCo3, argile, C/N); 0 à 5 %</p> <p>$r_{\text{biomasses}}$ = rabais lié au choix des données de biomasses des cultures principales ou intermédiaires ; 0 à 5 %</p> <p>r_{MAFOR} = rabais lié au choix des données de quantités et composition des MAFOR ; 0 ou 5 %</p> <p>Pour plus de détails, se référer au Tableau 16 : Rabais associés aux incertitudes du mode de recueil des données.</p> | <p>RE_{stockage}</p> |
| <p>Rabais_{nda_CEE} : Prise en compte de la non-démonstration de l'additionalité (nda) liées à la signature d'un CEE <i>(cf. partie 6.4.5)</i></p> | <p>20% si l'additionalité économique n'est pas démontrée, 0% sinon</p> | <p>Le rabais s'applique en isolant, dans les RE_{combustible}, les réductions qui sont obtenues avec les mêmes leviers que ceux explicités dans le contrat CEE <i>(cf. parties 6.1.2)</i></p> <p>S'il n'est pas possible d'isoler ces leviers dans le calcul de RE, le taux de rabais sera appliqué à la totalité des RE_{combustibles}</p> |
| <p>Rabais_{nda_ConvAB} : Prise en compte de la non-démonstration de l'additionalité (nda) liées à une conversion en AB en cours de projet <i>(cf. partie 6.4.5)</i></p> | <p>20% si l'additionalité économique n'est pas démontrée, 0% sinon</p> | <p>Le rabais s'applique sur l'ensemble des RE_{émissions} et RE_{stockage}</p> |
| <p>Rabais_{nda_autre} : Prise en compte de la non-démonstration de l'additionalité (nda) liées à d'autres subventions publiques sur leviers mis en œuvre dans le projet, MAEC... <i>(cf. partie 6.4.5)</i></p> | <p>20% si l'additionalité économique n'est pas démontrée, 0% sinon</p> | <p>Le rabais s'applique dès que le levier financé fait partie des leviers mis en œuvre dans le Projet et il s'applique aux RE calculées pour ce levier</p> |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

Les différents rabais indiqués ci-dessus sont exprimés en % de Réductions d'Emissions et doivent s'appliquer spécifiquement aux termes des calculs de RE concernés.

Le calcul du % de réfaction par application de l'ensemble des rabais suit l'équation suivante :

$$f_{\text{rabais}}(RE) = \text{Rabais}_{\text{référence}} + 1 / (RE_{\text{émissions}} + RE_{\text{stockage}} + RE_{\text{aval}}) * [\text{Rabais}_{\text{nonperm}} * RE_{\text{stockage}} + \text{Rabais}_{\text{incertitude_données combustibles}} * RE_{\text{combustibles}} + \text{Rabais}_{\text{incertitude_données stockage}} * RE_{\text{stockage}} + \text{Rabais}_{\text{nda_CEE}} * RE_{\text{combustibles_CEE}} + \text{Rabais}_{\text{nda_ConvBio}} * (RE_{\text{émissions}} + RE_{\text{stockage}}) + \text{Rabais}_{\text{nda_autre}} * RE_{\text{levier concerné}}]$$

Équation 25 : Equation générale pour le calcul des rabais

7. Impacts et co-bénéfices associés aux Projets

Comme mentionné dans l'arrêté du 28 novembre 2018, le Porteur de Projet Label Bas-Carbone mis en place pour obtenir des RE doit « prévenir d'éventuels impacts négatifs significatifs des points de vue environnementaux ou socio-économiques » et pouvoir démontrer qu'ils sont maîtrisés. Par ailleurs il ou elle peut également « apporter des précisions sur les éventuels impacts positifs sur d'autres enjeux que la réduction des RE, qui peuvent être environnementaux (biodiversité, eau ...), sociaux ou économiques (création d'emploi, dynamisme territorial ...) ».

La Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures propose des recommandations pour que le Projet d'atténuation du changement climatique puisse contribuer lors de la mise en œuvre des leviers mobilisés, aux différentes dimensions de l'agriculture durable, au-delà de l'atténuation du changement climatique. Cette partie vise à partager les connaissances et suggérer des indicateurs de suivis afin que le Projet soit conçu de façon adéquate pour éviter au maximum les impacts négatifs sur les plans économique et social, les éventuels transferts de pollutions sur d'autres compartiments de l'environnement, et pour favoriser l'expression des services écosystémiques supplémentaires, notamment la biodiversité et d'autres services répondant aux attentes sociétales. Les services apportés par le projet en plus de l'atténuation du changement climatique, non-comptabilisés en RE, sont cependant des arguments possibles pour négocier un prix plus intéressant pour le projet concerné.

La liste minimale des critères à suivre est obligatoire pour tout projet de ce secteur et chaque projet peut mobiliser une liste plus longue sur la base du volontariat, pour suivre une panoplie plus large de dimensions et le faire valoir dans la communication sur son projet.

Pour chacun des critères économiques, environnementaux et socio-économiques, il s'agit de comparer le delta entre la situation initiale et la situation finale du projet qui mobilise les leviers de RE, afin de suivre les effets sur les ressources physiques, la biodiversité, les demandes sociétales, la qualité de vie et les dynamiques territoriales.

Tableau 18 : Inventaire des enjeux ou critères proposés pour les co-bénéfices

| Enjeu ou critère à suivre | Obligatoire ou optionnel projet LBC-GC |
|---|---|
| Erosion des sols | Obligatoire en cas d'aléa d'érosion moyen ou fort |
| Consommation d'énergie non renouvelable | Obligatoire |
| Emission d'ammoniac | Obligatoire |
| Lixiviation de nitrate | Obligatoire |
| Consommation du phosphore | <i>Optionnel</i> |
| Consommation en eau | Obligatoire en cas d'irrigation |
| Pressions par l'usage des produits phytopharmaceutiques | Obligatoire |
| Biodiversité | <i>Optionnel</i> |
| Demandes sociétales | <i>Optionnel</i> |
| Dynamique territoriale | <i>Optionnel</i> |
| Revenu et qualité des conditions de travail | <i>Optionnel</i> |

Les enjeux à envisager sont analysés ci-dessous en proposant des indicateurs de suivi à mobiliser pour outiller le projet. Dans tous les cas c'est le delta de l'indicateur en début et en fin de projet qui est à considérer.

7.1 Pressions sur les ressources physiques

Les leviers mobilisés pour les RE peuvent engendrer ou être associés à :

- Une réduction ou une augmentation des transferts de pollution azotée qui dégrade la qualité des eaux ou de l'air (acidification, formation de particules fines, teneur élevée des eaux potables en nitrate, eutrophisation des milieux, etc.)
- Une plus grande ou une moindre consommation des ressources peu renouvelables (énergies fossiles, phosphore, eau, etc.)
- Une plus ou moins grande érosion des sols.

La mise en oeuvre des leviers est cruciale pour éviter des effets de transferts de pollution ou pour favoriser des co-bénéfices sur d'autres enjeux que l'atténuation du changement climatique. Ce sera facilité par un accompagnement technique des projets, afin de contextualiser et préciser les recommandations du tableau ci-dessous.

Tableau 19 : Effets des leviers sur la pression sur les ressources physiques et recommandations de mise en oeuvre

| Leviers préconisés pour la RE | Effets positifs ou négatifs selon la mise en oeuvre ou la composition exacte du levier | Recommandations pour favoriser les effets positifs et/ ou limiter les effets négatifs |
|---|---|--|
| Leviers modifiant la dose ou le type des engrais azotés | Plus ou moins d'émissions azotées : en dehors du N ₂ O, elles sont essentiellement sous forme d'ammoniac ou nitrate, avec des effets sur la qualité des eaux et de l'air | Favoriser l'enfouissement lors de l'application des apports minéraux ou de l'épandage des apports organiques pour limiter la quantité d'azote minéral en surface. Identifier les périodes clés de risque de lixiviation pour concevoir les systèmes et les apports favorisant une faible quantité d'azote minéral dans le sol aux périodes à fort risque (avec couverture du sol et choix des cultures dans la succession selon leur profil en termes de dynamiques azotées). Etudier la possibilité de planter des haies pour limiter les transferts vers l'air et l'eau. |
| Leviers modifiant significativement la gestion de l'irrigation | Plus grande pression sur la consommation en eau si la ressource est en tension (faible disponibilité ou forte demande) | Respecter les quotas d'irrigation (critère d'éligibilité) c'est à dire prouver que l'agriculteur met en oeuvre le plan d'aménagement et de gestion durable du SDAGE. Maximiser l'efficacité de l'eau d'irrigation, en considérant à la fois l'efficacité par les cultures pour la valoriser en gain de rendement et par les pratiques culturales permettant de limiter les pertes |
| Leviers modifiant significativement la composition de l'assolement (et pratiques associées) | Plus ou moins grande pression sur la consommation en produits phytosanitaires ou en phosphore Plus ou moins grande consommation en énergie fossile non renouvelable (passages engins | Suivre un indicateur de pression voire d'impact sans ou avec le projet pour ajuster les pratiques associées aux leviers mobilisés. Vérifier si la production d'une culture à plus fort IFT serait à justifier dans le cas de |

| | agricoles ou usages des intrants) | substitution possible de matières importées fortement consommatrices en produits phytosanitaires. |
|--|---|---|
| Leviers mobilisant l'insertion de légumineuses | <ul style="list-style-type: none"> - Variation de l'azote minéral du sol en jeu au cours des successions culturales - Réduction des émissions azotées potentielles si la part de la biomasse riche en azote est majoritairement récoltée - Absence d'émissions d'ammoniac liées aux engrais azotés pendant la ou les années de culture de la légumineuse et moindre niveau d'émission sur la ou les cultures qui suivent la légumineuse - Risques de lixiviation accrus après la culture de légumineuses ou lors du retournement de la luzernière si la conception du système n'assure pas un piégeage suffisant dans le cas de risque milieu important (sols et importance de la lame drainante) | <p>Favoriser les exportations ou enfouissements de résidus de culture.</p> <p>Différencier les légumineuses selon le devenir de la majorité de la part de la biomasse riche en azote : soit récoltée et exportée de la parcelle (légumineuses à graines), soit laissée au sol (fourragères pâturées, fourragères pluriannuelles comme la luzerne avec des collets riches en azote laissés au champ, légumineuses utilisées en engrais verts, etc.).</p> <p>Favoriser la couverture du sol dans l'interculture qui suit la légumineuse et l'implantation de couvert et/ou culture suivante avec une forte capacité d'absorption de l'azote minéral du sol avant la période à risque pour la lixiviation du nitrate dans le sol (lame drainante importante).</p> <p>Travailler les solutions pour éviter les pertes azotées après les cultures de légumineuses fourragères pluriannuelles.</p> <p>Respecter les délais de retour des cultures dans la succession culturale pour limiter les pressions des stress biotiques.</p> |

7.1.1 Prévenir l'érosion des sols (et améliorer leur stabilité structurale)

Les leviers visant le stockage de carbone dans les sols ne seront effectifs que si la perte de terre par érosion des sols est minimale. L'amélioration de la stabilité structurale des sols permet de limiter l'érosion des sols. De plus les services d'approvisionnement, de régulation et de support rendus par les sols sont favorisés par un bon état de la structure des sols. Aussi, pour prévenir l'érosion des sols, il est nécessaire de favoriser la mise en œuvre de mesures limitant le risque de battance et le tassement des sols (pour favoriser l'infiltration de l'eau) et limitant la perte de terre.

Les apports de « matières organiques » (végétaux ou produits résiduels organiques), qui sont favorables au stockage de carbone organique dans les sols sur le long terme, influencent de manière positive la stabilité structurale des sols. Globalement les leviers liés au stockage du carbone devraient avoir un effet positif pour la protection des sols : directement en apportant par le « couvert » une protection contre l'impact des gouttes de pluie et donc contre la battance, et également en favorisant l'infiltration et en limitant l'érosivité du ruissellement, et indirectement, via un effet sur l'amélioration de la stabilité structurale des sols.

Le suivi de l'érosion est une dimension à prendre en compte si l'aléas d'érosion est important dans la zone concernée par le projet.

Pour suivre les risques d'érosion et valoriser un potentiel co-bénéfice du projet qui réduirait ce risque, il est proposé d'utiliser le modèle d'érosion selon le JRC 2020, après avoir identifié les zones à forts aléas d'érosion pour tenir compte du contexte (de la topographie et de la sensibilité à la battance des différents types de sols ainsi que de l'érosivité des précipitations).

a. Identification des zones éligibles

Une valeur d'aléas d'érosion sera définie pour l'exploitation considérée, à partir des données du GIS-SOL disponibles et mobilisables en ligne¹ pour les petites régions agricoles (Voir Annexe 11).

Si la valeur d'aléas est ≥ 3 soit en hiver soit au printemps pour la petite région agricole à laquelle appartient l'exploitation, alors il s'agit de zones potentiellement affectées par une érosion significative, où une réduction de l'érodibilité pourrait être prise en compte comme co-bénéfice.

b. Calcul de l'évolution de l'effet du système de culture sur l'érosion

Le modèle RUSLE, modifié Panagos *et al.*, 2015, caractérise l'érodibilité d'un sol par un facteur C de « moins érosives à plus érosives » (selon les caractéristiques de la couverture du sol et selon des facteurs d'abattement liés aux pratiques) : Facteur C.

Il y a co-bénéfice si on obtient une valeur plus faible pour le facteur C du système de culture du projet (mettant en œuvre les leviers éligibles pour la réduction des émissions) que la valeur du facteur C du système de culture de référence (scénario de référence) :

L'évolution de l'érodibilité est donc le différentiel :

$$C_i - C_{i \text{ ref}}$$

Avec :

- C_i : facteur d'érodibilité C du système de culture i du scénario projet et
- $C_{i \text{ ref}}$: facteur d'érodibilité C du système de culture i du scénario de référence, et
- $C = C_{\text{culture}} \times C_{\text{pratique}}$

Équation 26 : Calcul de l'évolution de l'érodibilité

Le calcul du facteur C se fait en utilisant le C_{culture} selon le tableau ci-après et en calculant le C_{pratique} par l'équation suivante :

$$C_{\text{pratique}} = C_{\text{travail du sol}} \times C_{\text{résidus}} \times C_{\text{couvert}}$$

Avec :

- $C_{\text{travail du sol}} = F_{\text{labour}} \times 1 + F_{\text{travail réduit}} \times 0.35 + F_{\text{non travail}} \times 0.25$, où F_{labour} est la proportion des surfaces des cultures (ou couverts) implantées après labour avec retournement, $F_{\text{travail réduit}}$ est la proportion de surfaces des cultures (ou couverts) implantées en travail réduit du sol et $F_{\text{non travail}}$ la proportion des surfaces des cultures (ou couverts) implantées en non-travail du sol ($F_{\text{labour}} + F_{\text{travail réduit}} + F_{\text{non travail}} = 1$).
- $C_{\text{résidus}} = (0.88 \times F_{\text{résidus}}) + (1 - F_{\text{résidus}})$, où $F_{\text{résidus}}$ est la proportion de surfaces du(des) système(s) de culture sur laquelle les résidus de cultures sont maintenus à la surface des sols (sans intégration au sol par travail du sol). $F_{\text{résidus}}$ est compris entre 0 et 1.
- $C_{\text{couvert}} = (0.80 \times F_{\text{culture couvert}}) + (1 - F_{\text{culture couvert}})$, où $F_{\text{culture couvert}}$ est la proportion des surfaces du(des) systèmes de culture sur laquelle des cultures ou couverts sont présents durant la période hiver/printemps. $F_{\text{culture couvert}}$ est compris entre 0 et 1.

Équation 27 : Calcul du facteur C_{pratique}

¹ http://geoidd.developpement-durable.gouv.fr/geoclip_stats_o3/mobile.php#d3Map

Tableau 20 : Facteur C_culture

| Culture | Facteur C |
|--|-----------|
| Riz | 0.15 |
| Blé tendre, Blé dur, Epeautre, Seigle, Blé dur | 0.20 |
| Orge | 0.21 |
| Lin | 0.25 |
| Soja | 0.28 |
| Colza | 0.30 |
| Tournesol | 0.32 |
| Féverole, Pois, Lentille, Lupins, Pois chiche | 0.32 |
| Pomme de terre, Betterave sucrière | 0.34 |
| Mais | 0.38 |
| Tabac | 0.49 |
| Coton, Jachère | 0.50 |

NB : La valeur proche de 0 limitant le potentiel d'érosion, celle de 1 ne le modifiant pas

(source : Panagos et al., 2015)

7.1.2 Pressions sur d'autres ressources et sur la qualité de l'air ou des eaux

Si la mise en œuvre des leviers pour les RE peut s'associer à des réductions d'autres impacts environnementaux, alors le projet label bas carbone pourra les faire valoir en co-bénéfices. Sinon vérifier l'absence de possibles transferts de pollution est nécessaire.

L'azote et l'énergie étant deux composantes clés pour le changement climatique, les leviers de RE de la Méthode sont susceptibles d'interagir avec les **pressions sur les ressources non renouvelables et sur des émissions polluantes** autres que les GES. Les émissions azotées représentent une part non négligeable dans les flux biogéochimiques azotés qui dépassent les limites de durabilité pour la planète (Campbell et al. 2017).

En plus de la part qui peut participer à la production d'émissions indirectes de N₂O (comptabilisées dans la présente méthode), les **émissions d'ammoniac** sont source d'acidification des milieux naturels et d'eutrophisation terrestre, et ont également des effets sur la santé, l'ammoniac étant un précurseur dans la formation de particules (par recombinaison dans l'atmosphère avec des oxydes d'azote et de soufre pour former des particules fines PM_{2,5}) (ADEME 2011 et 2019). En France, le secteur des productions végétales serait responsable des 30 % des émissions d'ammoniac (NH₃) au niveau national (cultures avec engrais et amendements minéraux, épandage des boues, compost et déjections importées, et le brûlage des résidus de culture) et l'élevage de 64% (CITEPA, 2019).

En plus des émissions indirectes de GES au champ (inclus dans la comptabilisation de la présente méthode), la **lixiviation du nitrate** pose des problèmes de qualité d'eau avec des effets sur la santé qui sont discutés, et peut engendrer des phénomènes d'eutrophisation marine et d'eau douce à degré moindre. Le respect de la Directive Nitrates est un critère d'éligibilité des projets label bas carbone. Cependant une vigilance s'impose sur ce type d'émissions lors des évolutions de systèmes de culture, et une valorisation des réductions de ce risque pourrait être à mettre en avant.

Le **phosphore** qui est un des macro-éléments essentiels à la nutrition des plantes, devient limitant pour une part grandissante des surfaces cultivées dans le monde. Ainsi la réduction des ressources peu renouvelables est un enjeu car les ressources en phosphore sur terre ont des réserves limitées (mise à part celles du Maroc, la plupart sont très proches de l'épuisement). Les formes majoritaires sur terre sont inorganiques (minéraux d'apatites issus de la roche mère) et les ions phosphatés sont très peu présents dans la solution du sol car immobilisés par des interactions très fortes avec d'autres composants du sol. Des sous-produits d'autres activités agricoles, industrielles ou domestiques, représentent des sources

de phosphore plus facilement renouvelables même si leur usage est à ce jour limité par différents facteurs dont leur indisponibilité locale ou des contraintes règlementaires ou de préférences professionnelles collectives (comme pour les boues de station d'épuration).

Suite à l'intensification de l'usage des **produits phytosanitaires** qui a permis une forte augmentation de la production agricole, de nombreux travaux ont montré des problèmes de contamination des eaux (Lopez *et al.*, 2015), des sols (Silva *et al.*, 2019), de l'air (Génermont *et al.*, 2019) et d'impacts sur la santé humaine (Nougadère *et al.*, 2020). Et la question de l'effet de mélanges de substances actives soulève aussi des inquiétudes et pointe des trous de connaissances. Aujourd'hui la réduction globale de l'usage des produits phytosanitaires rencontre un consensus sociétal et a été traduit par les différents plans Ecophyto. Suite à la demande du MTE, la pression par l'usage des produits phytosanitaires est un indicateur à suivre de façon obligatoire. Il s'agit de suivre l'évolution entre T0 (moyenne des trois dernières années) et T5 (moyenne des cinq années du projet) pour vérifier qu'il n'y a pas de dérive majeure voire un co-bénéfice.

L'équilibre en offre et demande pour l'eau est un enjeu à gérer avant tout à l'échelle territoriale, car il y a une plus grande pression sur la consommation en eau si la ressource est en tension (faible disponibilité ou forte demande). C'est bien à l'échelle territoriale que se gèrent les quotas d'eau d'irrigation, via la mise en place d'un plan d'aménagement de gestion durable de l'eau (PAGD) répondant au SDAGE et à sa déclinaison locale dans le SAGE. Le respect de ce cadre est assuré par les critères d'éligibilité du projet. A l'échelle de l'exploitation agricole, il s'agit surtout d'utiliser le quota attribué en maximisant l'efficacité de l'eau d'irrigation, en considérant à la fois l'efficacité par les cultures pour la valoriser en gain de rendement et par les pratiques culturales permettant de limiter les pertes. Le suivi de l'impact potentiel des changements liés aux leviers mobilisés pour l'enjeu climatique se fera uniquement en cas d'irrigation. L'indicateur suivi est l'évolution comparée entre l'empreinte eau réelle - estimée via l'évolution de la quantité d'eau d'irrigation utilisée - et l'empreinte eau théorique - calculée sur la base de l'évolution des productions - sur le périmètre des SdC en grandes cultures (cf. équation ci-dessous). Cet indicateur permet de s'assurer que l'eau d'irrigation utilisée pendant la durée du projet l'a été de façon efficiente, en minimisant son impact sur l'empreinte eau de la production agricole en comparaison aux références disponibles dans Agribalyse (si l'indicateur est inférieur à 1).

$$\frac{\Delta E_{eau_réelle}}{\Delta E_{eau_théo}} = \frac{Q_{eau_irrig_{Projet}} - Q_{eau_irrig_{réf}}}{E_{eau_théo_{Projet}} - E_{eau_théo_{réf}}}$$

Avec :

- $\Delta E_{eau_réelle}$: l'évolution de l'empreinte eau réelle sur le périmètre des SdC en grandes cultures (en m^3)
- $\Delta E_{eau_théo}$: l'évolution de l'empreinte eau théorique sur le périmètre des SdC en grandes cultures (en m^3)
- $Q_{eau_irrig_{Projet}}$: la quantité d'eau d'irrigation utilisée dans le Projet (moyenne sur les 5 ans du Projet) (en m^3)
- $Q_{eau_irrig_{réf}}$: la quantité d'eau d'irrigation utilisée de la référence (moyenne sur les 3 ans avant le Projet) (en m^3)
- $E_{eau_théo_{Projet}}$: l'empreinte eau théorique du Projet (moyenne sur les 5 ans du Projet), qui se calcul selon l'équation ci-dessous (en m^3)
- $E_{eau_théo_{réf}}$: l'empreinte eau théorique de la référence (moyenne sur les 3 ans avant le Projet), qui se calcul selon l'équation ci-dessous (en m^3)

$$E_{eau_théo} = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m (Rdt_{i,j} \times Surf_{i,j} \times E_{eau_théo_j}) \right]$$

- n : le nombre de SdC de l'exploitation
- m : le nombre de cultures du SdC i
- $Rdt_{i,j}$: le rendement de la culture j du SdC i (en t/ha)

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

- $Surf_{ij}$: la surface de la culture j dans le SdC_i (en ha)
 - $Eeau_théo_j$: l'empreinte eau unitaire théorique de la culture j (en m^3/t), selon le référentiel Agribalyse (cf. Annexe 4)

Équation 28 : Calcul de l'évolution comparée de l'empreinte eau théorique vs. réelle

Tableau 21 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant la pression sur les autres ressources et la qualité de l'eau et de l'air

| Enjeux | Indicateur à suivre (évolution au cours du projet, de T0 à T5) | Sources |
|---|--|--|
| Consommation d'énergie non renouvelable | Epuisement des ressources fossiles en MJ / an | Fossil CED (Cumulative Energy Demand) : version 1.10 utilisée dans GESTIM+ (non-renewable fossil + non-renewable nuclear + non-renewable biomass) |
| Qualité de l'air | Emission d'ammoniac dans l'air | Voir terme intermédiaire de l'équation 8 en 6.1.1 <i>en kg N – NH3</i> $= \sum_{l=1}^o [((QN_min_{l,i,k} + QN_inhib_{l,i,k}) * Frac_GAZF_l) + (Q_org_{l,i,k} * Frac_GAZM_l)]$ |
| Qualité des eaux | Lixiviation de nitrate | Voir terme intermédiaire de l'équation 9 en 6.1.1 <i>en kg N – NO3</i> $= (QN_min_{i,k} + QN_inhib_{i,k} + QN_org_{i,k} + QN_résidus_{i,k} + QN_minéralisé_{i,k}) * Frac_LESS$ |
| Quantité d'eau d'irrigation utilisée | Quantité d'eau d'irrigation utilisée ≤ quota autorisée Evolution comparée de l'empreinte eau théorique vs. réelle | Voir critères d'éligibilité Voir équation 28 (utilisation de références Agribalyse) |
| Pressions sur des ressources peu renouvelables et phosphore | Utilisation moyenne du phosphore minéral et organo-minéral (guano) en $kg P_2O_5$ /ha/an | Evolution de la valeur avec l'application des leviers : le passage sous un des seuils des classes du niveau d'impact sur la ressource apporte un co-bénéfice significatif. Classes proposées : très élevée (>60) ; moyenne à élevée (entre 60 et 40); faible à moyenne (entre 40 et 20); très faible ≤ 20 (les valeurs-seuils peuvent être adaptées, en tenant compte de la diversité des pressions exercées par les systèmes de culture) |
| Pressions Phytos | IFT = (surface traitée/surface parcelle) * (dose produit/dose de référence) Avec dose de référence : minimum des doses homologuées pour les différents bio-agresseurs | Atelier de calcul de l'Indicateur de Fréquence de Traitements phytopharmaceutiques (IFT) https://alim.agriculture.gouv.fr/ift/ <i>Remarques : l'IFT reste un indicateur de pression qui ne présume pas de l'impact effectif : si possible la mobilisation d'un indicateur d'impact (selon évolution et accès aux indicateurs) peut le remplacer.</i> |

7.2 Enjeu biodiversité

Moduler la mise en œuvre des leviers définis pour un projet label bas carbone peut permettre de préserver voire favoriser la biodiversité, un enjeu planétaire et/ou local d'autant plus d'actualité face à l'accélération de l'érosion de la biodiversité.

En plus de l'aide à la compréhension des éléments clés agissant sur la biodiversité, cette sous-partie vise (i) à vérifier que le projet n'entraîne pas d'impacts négatifs sur la biodiversité (exemple : destruction de zones semi-naturelles pour cultiver des plantes afin de stocker du carbone) et (ii) à évaluer des impacts positifs sur la biodiversité qui pourraient conduire à une meilleure valorisation du projet sur le marché volontaire, voire à une incitation à mettre en œuvre un schéma spécifique dans le cadre des paiements pour service environnemental. Cependant, il n'existe pas de méthode d'évaluation universelle qui soit adaptée à toutes les finalités.

7.2.1 Processus à l'origine des effets sur la biodiversité

L'analyse levier par levier a été alimentée par expertise sur la base des acquis à ce jour : éléments généraux et théoriques exposés dans l'expertise collective sur la biodiversité (Leroux *et al.*, 2008) ainsi que par Fahrig *et al.* (2011) pour les concepts d'écologie du paysage appliqués à l'agriculture ; validations de terrain, notamment Sirami *et al.* (2019), Martin *et al.* (2020).

Les organismes végétaux et animaux ne connaissent pas les frontières de la parcelle agricole. L'effet d'une pratique appliquée à cette échelle ou à celle de l'exploitation dépendra du contexte paysager. C'est pourquoi la biodiversité doit être abordée à l'échelle du paysage. Ce dernier peut être vu comme une mosaïque d'éléments cultivés et semi-naturels (haies, bordures, bosquets...). La surface de ces éléments et leur agencement dans l'espace affectent la biodiversité de plusieurs façons :

- la quantité et la diversité des ressources alimentaires, des sites de reproduction et des abris conditionnent fortement l'abondance et la diversité des espèces animales ;
- les « continuités écologiques » facilitent la dispersion des individus ou des graines des plantes et donc la possibilité ou non de maintien et brassage des populations.

Ce cadre étant posé, les leviers proposés les plus impactants sont ceux modifiant l'occupation du sol (cultures, intercultures, prairies). Les leviers concernant la conduite des cultures (amendement, irrigation, nombre de passages) peuvent jouer, mais dans une moindre mesure (voir notamment Martin *et al.*, 2020). La restitution des résidus de culture et la valorisation de la biomasse ont néanmoins un impact sur la mise à disposition de ressources primaires pour les organismes qui ne dépendent pas de la photosynthèse. Les pratiques de protection des cultures peuvent avoir un effet direct (toxicité) ou indirect (rupture des chaînes trophiques). Si elles ne constituent pas des leviers LBC-GC elles peuvent être modifiées indirectement par la mise en œuvre d'autres leviers comme la réduction du travail du sol ou l'introduction de nouvelles cultures et couverts.

7.2.2 Préconisations

Un paysage agricole (c'est-à-dire dont la superficie est occupée à plus de 50% par des parcelles agricoles) qui est favorable à la biodiversité est un paysage complexe, offrant des ressources abondantes, diversifiées, au bon moment, en particulier pour les insectes qui sont eux même ressources pour les vertébrés. Il importe donc de diversifier les couverts cultivés, selon des critères écologiquement pertinents, c'est-à-dire selon les besoins auxquels ils répondent :

- fourniture de ressources alimentaires : nectar, pollen, parties vertes, graines...
- abris et sites de reproduction, d'hivernage... : couvert dense ou lâche, haut ou ras,...

- disponibilité des ressources susmentionnées selon les besoins des espèces cibles et le cycle de développement de la culture : couverture permanente ou implantation à l'automne ou au printemps.

Etablir un paysage complexe revient formellement à trouver le juste milieu entre homogénéité complète et absence totale de structure du paysage. Cette exigence théorique peut se concrétiser à deux niveaux :

- la composition du paysage (le pourcentage de chaque couvert cultivé et non cultivé). Il vaut mieux un grand nombre de couverts équitablement répartis qu'un seul couvert dominant. La théorie de l'information donne des outils pour en juger comme par exemple les indices de Shannon et de Simpson.
- la prise en compte de la configuration spatiale de la mosaïque paysagère. Il s'agit de la façon dont les éléments paysagers sont imbriqués, de la diversité de leurs formes et de leurs surfaces. De manière générale, il convient de favoriser par divers moyens les lisères entre couverts contrastés (« effet lisière ») et d'éviter la constitution de blocs de cultures trop importants. Divers indices sont calculables à partir d'une carte, mais leur interprétation reste difficile. Une difficulté supplémentaire est que l'hétérogénéité doit en principe être organisée en niveaux emboîtés : répéter un même motif paysager sur un territoire sera moins favorable que de juxtaposer différents motifs. Il n'existe pour le moment ni méthode ni indicateur pour décrire ce niveau de complexité.

7.2.3 Indicateurs de suivi

Vu les contraintes en termes d'opérationnalité, proposer des indicateurs directs (diversité d'espèces et abondance, mesurés quantitativement ou qualitativement) n'est pas possible. Le recours à des méthodes comme DEXi ne permettent pas d'appréhender les aspects paysagers de manière adéquate. La proposition porte sur une liste d'indicateurs de causes issues des travaux récents et venant d'échanges notamment avec des chercheurs (C. Sirami, D. Sheeren) de l'UMR Dynafor de Toulouse dans le cadre du projet européen NIVA. La biodiversité observable reste faible et dépendante du contexte agropédoclimatique, c'est pourquoi il est nécessaire de prendre de façon simultanée des indicateurs disponibles sur une série de dimensions afin d'avoir une indication que l'on va dans la bonne direction ou pas pour ce qui concerne la biodiversité sans prétendre refléter la réalité en un contexte donné.

Au-delà de la vérification de l'absence d'effets négatifs, l'évaluation de **l'impact du projet vis-à-vis de la biodiversité sera évaluée par la progression des indicateurs**. Les objectifs et les seuils resteront à l'appréciation des promoteurs des projets. Les propositions suivantes sont indicatives et trois principes clés sont à retenir :

- 1** : viser des actions complémentaires concernant différents processus écologiques et choisir les indicateurs en conséquence ;
- 2** : privilégier des références internes à des normes externes établies sur d'autres territoires ;
- 3** : ne pas oublier que le projet doit être piloté par les objectifs de biodiversité et pas par les indicateurs.

Les 8 indicateurs proposés peuvent être regroupés selon les processus écologiques qu'ils renseignent.

- Indicateurs concernant la composition du paysage, c'est-à-dire la diversité des ressources et des habitats : diversité des cultures ; pourcentage prairie temporaire plurispécifique ; pourcentage de couverts favorables aux insectes

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

- Indicateurs concernant l'absence de perturbation : pourcentage de surface semi-naturelle ; pourcentage de surfaces non traitées ; travail du sol
- Indicateur concernant la configuration du paysage, c'est-à-dire l'accessibilité des ressources et la dispersion des organismes : taille des parcelles

Selon le principe 1, une amélioration sur au moins un indicateur par groupe est préférable à une amélioration sur plusieurs indicateurs d'un seul groupe. Ainsi, si l'enjeu biodiversité est considéré dans un projet LBC-GC alors il est nécessaire de suivre l'ensemble des indicateurs listés ci-après. Tous les éléments nécessaires au calcul sont fournis par les annexes associées. Les indicateurs proposés peuvent connaître des fluctuations interannuelles, en particulier si les surfaces de références sont réduites (petites exploitations). En conséquence, il est proposé d'établir les calculs sur des périodes de référence de minimum 3 ans.

L'effet du projet sur la biodiversité sera considéré comme un bénéfique si au moins un indicateur de chaque groupe est amélioré avec la mise en œuvre du projet et si aucun n'est dégradé, en comparant la moyenne des 3 années précédant le projet et la moyenne des 3 dernières années du projet.

Tableau 22 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant la pression sur la biodiversité

| Enjeux/type | Indicateur | Calcul | Références |
|--|--|---|--|
| Biodiversité / 1_composition paysage | Diversité des cultures (yc prairies temporaires) | Indice de Simpson réciproque $IS = 1/\sum p_i^2$ avec p_i : proportion de la culture i La classification des cultures proposée dans le tableau 1 de l'Annexe 12 (ou avant-dernier onglet de l'Annexe 4) répondra à une logique écologique prenant en compte 3 critères fonctionnels : - la famille botanique - le cycle (hiver, printemps, couverture permanente) - la structure du peuplement : cultures sarclées à large écartement ou non. | Adaptation de Bockstaller et al. 2019 |
| Biodiversité / 1_composition paysage | Pourcentage prairies temporaire plurispécifique (graminées légumineuses) | $\%PP = \sum pp_i / S$ avec pp_i : surface en prairie temporaire plurispécifique (légumineuses/graminées) (prairie de moins de 5 ans) sur la parcelle i S : surface totale du territoire considéré | Plantureux et al. 2012 |
| Biodiversité / 1_composition paysage | Pourcentage de culture avec cultures intermédiaires | $\%CI = \sum CI_i / S$ avec CI_i : surface de la parcelle i si la culture est suivie (ou précédée) d'une culture intermédiaire S : surface totale du territoire considéré | Bellouin et al. 2019 |
| Biodiversité / 1_composition paysage | Pourcentage de couverts favorables aux insectes (cultures, yc | $\%POL = \sum POL_i / S$ avec POL_i : surface de l'espèce i x P_i avec $P_i = P_p + P_{nf} + P_{nef}$ (voir Tableau 2 des potentiels en ressources pour les insectes pollinisateurs en | Combinaison de Rollin et al. 2013 et expertise Cerruti (comm |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| | | | |
|--|--|---|--|
| | prairies temporaires + couverts semés) | Annexe 12) S : surface totale du territoire considéré | pers. 2020) |
| Biodiversité /2_ absence perturbation | Pourcentage surface semi naturelle (ou IAE « infrastructures agro-écologiques ») | %SN = $\sum sn_i / S$ avec sn_i : surface de l'élément semi-naturel i (voir Tableau 3 de transformation en Annexe 12) S : surface totale du territoire considéré | Tableau 23 de Manneville 2014 |
| Biodiversité /2_ absence perturbation | Pourcentage de surfaces non traitées | %NT = $\sum NT_i / S$ avec NT_i : surface de la parcelle i si la culture est sans traitement chimique ou en AB S : surface totale du territoire considéré | |
| Biodiversité /2_ absence perturbation | Energie dépensée pour le travail du sol | Calculer l'énergie dépensée pour le travail du sol : Plus l'énergie dépensée est importante, plus le système est perturbé. | M Hedde (comm pers. 2019) |
| Biodiversité/3_ configuration du paysage | Part des grandes parcelles | Une parcelle = surface contiguë occupée par la même culture sans séparation par une structure semi-naturelle $PGP = \sum S_i * c_i / \sum S_i$ Le coefficient c_i suit une fonction logistique en « S » variant de 0 à 1 : $c_i = 1 / (1 + e^{(-0.1 * (S_i - \sum S_i / n)})}$ avec le terme $(\sum S_i / n)$ relatif à la situation initiale prise comme référence $PGP_{final} - PGP_{initial}$ augmente d'autant plus que la diminution de la taille des parcelles concerne les grandes parcelles | Adaptation Sausse 2020 de Sirami et al., 2019 et Martin et al., 2020 |

7.3 Enjeux socio-économiques et demandes sociétales

Les changements opérés avec la mise en œuvre du projet peuvent contribuer à améliorer ou dégrader des dynamiques socio-économiques à l'échelle de la société, du territoire ou même de l'exploitation agricole. Ils peuvent engendrer des risques ou de co-bénéfices socio-économiques en maintenant, réduisant ou augmentant :

- la capacité du secteur grandes cultures à fournir les services d'approvisionnement pour la société ;
- la production de matières premières d'intérêt pour des enjeux environnementaux mondiaux ou alimentant des stratégies nationales : production d'énergie alternative à la combustion d'énergie fossile (biogaz) ou de produits biosourcés pour le non-alimentaire pouvant remplacer des produits pétro-sourcés pour une même fonction, production de protéines végétales pour la souveraineté alimentaire ou pour la réduction de la déforestation importée ;
- les dynamiques territoriales, en terme économiques et en termes de cohésion sociale et concertations locales ;
- la qualité de vie des agriculteurs (revenus et conditions de travail).

7.3.1 A l'échelle de la société : mieux répondre aux demandes sociétales liées à des enjeux planétaires ou nationaux

Le projet peut considérer important de ne pas réduire le **potentiel nourricier** de l'exploitation agricole, à savoir le nombre de personnes potentiellement nourries par les denrées agricoles produites par une ferme, car certains leviers pourraient engendrer une baisse de la productivité ou de la production de l'exploitation, de la qualité nutritionnelle des produits (i.e. diminution de la protéine du blé suite à des apports en azote réduits) ou une substitution des débouchés alimentaires par du non alimentaire (production de biomasse énergie par exemple)².

Pourra être valorisée en co-bénéfice l'augmentation de la **contribution au Plan Protéines français** pour renforcer la production de protéines végétales pour des matières riches en protéines qui vise à augmenter l'indépendance pour l'alimentation animale et l'usage de protéines végétales pour l'alimentation humaine. L'enjeu de souveraineté alimentaire est un sujet préoccupant pour la France, de plus en plus dépendante des importations pour nourrir sa population. Cette érosion de l'autonomie alimentaire de la France est d'ailleurs ravivée dans un contexte de pandémie comme celui de la covid-19 en 2020. Il faudra être vigilant aux leviers impliquant une réduction des entrées d'azote dans le système, en évitant qu'elle se traduise par une réduction de la protéine produite.

Pour des systèmes d'élevage, dans le cas d'une augmentation des surfaces en légumineuses (valorisées en alimentation animale) ou d'un allongement des prairies, le potentiel nourricier de l'exploitation sera amélioré si l'éleveur substitue des aliments du bétail achetés et potentiellement valorisables en alimentation humaine par du fourrage produit sur l'exploitation. Beaucoup d'aliments concentrés en protéines utilisent des tourteaux qui sont des coproduits non valorisables en alimentation humaine. Donc si l'augmentation des prairies permet de substituer une partie des aliments en tourteaux de soja déforestants par exemple, les critères sur la part de produit tracé d'origine France et la Réduction de la déforestation (à condition de pouvoir démontrer que l'on substitue un aliment déforestant avec l'aliment autoproduit) est amélioré, mais pas le potentiel nourricier de l'exploitation agricole.

Dans le cas où le projet bas carbone favorise **la réduction de la déforestation importée**, ce co-bénéfice est à souligner. A ce jour la majorité du tourteau de soja importé pour être utilisé en France a une part de responsabilité dans la déforestation puisque les statistiques montrent que les utilisations en France de soja sont majoritairement du tourteau de soja du Brésil. Cela reste une réalité pour quelques années encore même si des volontés surgissent pour réduire ces importations ou choisir des tourteaux durables. Or cette origine Brésil est à 52% issu de zone déforestée, et 48% zone non déforestée selon les proportions considérées dans le projet Ademe-ECOALIM. La déforestation illégale au Brésil représente 20% des importations européennes d'après la revue américaine Cyclope 2020. Une augmentation de la production française de Matières Riches en Protéines (MRPs), caractérisées par une teneur en protéines supérieure à 15% de matière sèche, peut donc être un co-bénéfice des projets bas carbone. En plus des enjeux de biodiversité, on sait que les émissions du tourteau de soja importé utilisé en France sont de 1.6kgeqCO₂/t contre des valeurs inférieures à 0.7kgeqCO₂/t pour toutes les MRPs produites en France (source : valeurs

² À l'échelle globale, rappelons qu'il faudra nourrir entre 9 et 10 milliards d'êtres humains en 2050 (projections FAO), avec une élévation des niveaux de vie et une urbanisation accrue des populations se traduisant par des régimes alimentaires plus riches et plus denses en protéines animales. Ce n'est pas le cas à l'échelle nationale où l'on s'engage plutôt pour une diminution des protéines animales au profit des protéines végétales.

d'impact Changement Climatique ILCD fournies par la base de données publique ECOALIM, Wilfart *et al.*, 2016, adossée à la base de données nationale AgriBalyse).

Par ailleurs un autre co-bénéfice possible d'un projet bas carbone est **la contribution à des filières permettant de substituer en aval des produits pétro-sourcés majoritairement utilisés (pour l'énergie ou les biomatériaux)**. Pour augmenter le volume d'énergie renouvelable, alimenter les filières de biogaz via la méthanisation sera un atout si le pouvoir nourricier n'est pas dégradé. De même à ce jour, les matériaux pour la construction ou la rénovation du bâti sont largement basés sur la pétrochimie, que ce soient les structures de gros œuvre, les isolants ou les revêtements. Par exemple les produits isolants biosourcés ne représentent que 8% (dont la moitié est issu du bois). Or les produits biosourcés permettent de réduire les GES en amont mais également une séquestration de carbone dans des produits à durée de vie longue (50 à 100 ans pour respectivement les produits d'isolation ou de gros-œuvre). Ainsi un co-bénéfice peut être mis en avant pour des projets bas-carbone qui permettraient aussi d'augmenter la production de biogaz ou alors la production de chanvre et lin-fibre pour alimenter les matériaux du bâti (béton et isolation), des voitures (bioplastiques) et des papiers spéciaux. De plus certains biomatériaux à longue durée de vie participent aussi à stocker du carbone sur le moyen et long terme (de 20 à 50 ans avec recyclage quasi total en fin de vie). Certains soulignent que les plantes à croissance rapide se reproduisent en seulement un an (contrairement à la forêt) donc dans un temps beaucoup plus court que la durée de vie de la construction par exemple, qui correspond au retrait de CO₂ de l'atmosphère, et donc in fine les biomatériaux issus de plantes à croissance rapide contribueraient plus fortement à la neutralité carbone que ceux à base de bois.

Les différents indicateurs proposés sont liés au delta de capacité productive de l'exploitation agricole ou de son impact sur l'enjeu considéré entre la situation de référence (moyenne des 3 années avant le projet) et la situation avec levier de RE (moyenne des 5 années du projet).

Tableau 23 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques à l'échelle de la société

| Enjeux | Indicateur | Calcul | Références |
|-------------------|---|---|---|
| Socio-éco/société | Potentiel nourricier Energie et Protéines valorisables en alimentation humaine. | Evolution de la somme des valeurs énergétiques et de la somme des valeurs protéiques des produits récoltés sur le système de culture engagé dans le projet. | Tables de référence en Annexe 13, issues de la méthode PerfAlim développée par le Céréopa |
| Socio-éco/société | Production de protéines végétales | Delta du volume estimé de protéines végétales pour l'alimentation humaine et animale qui est fournie par l'exploitation agricole en situation de référence et en situation avec levier de RE. | Utilisation de la méthode PerfAlim pour l'alimentation humaine, et des tables de composition INRA pour la part de protéines valorisables en alimentation animale (Feedtables) |
| Socio-éco/société | Contribution à réduire la déforestation importée | Augmentation de la production de matières premières riches en protéines (teneur supérieure à 15%) (MRP) sur l'exploitation agricole car celles-ci peuvent se substituer au soja importé induisant de la déforestation | Voir équation ci-dessous (et annexe 14). |

| | | | |
|-------------------|--|---|---|
| | | (le cas de 52% des tourteaux importés en France) | |
| Socio-éco/société | Contribuer à alimenter des filières de bioénergie ou de biomatériaux | Augmentation de la production de matières premières sur l'exploitation agricole qui alimentent des filières source de bioproduits qui ont une empreinte carbone plus faible que celle des produits pétro-sourcés (utilisés majoritairement actuellement) qu'ils peuvent substituer pour une même fonction : biogaz produit par méthanisation de matières végétales, biomatériaux à base de chanvre et de lin-fibre. | Voir équation ci-dessous pour le cas des biomatériaux (et annexe 14). |

Indicateurs pour les contributions positives à des enjeux sociétaux :

L'équation suivante permet de calculer le delta permis par le projet pour contribuer à réduire la déforestation importée (en produisant des matières premières capables de substituer le tourteau de soja importé issu de la zone déforestée) :

$$Contribution_{mrp} = \sum_{k=1}^p Contribution_{mrp\ k}$$

Avec :

- k = année considérée, de 1 à p années du projet

et :

$$Contribution_{mrp\ k} = \sum_{i=1}^n (Delta (R_i * Surf_i) * RatioMRP_i * Ft_i * CEpi)$$

Avec :

- $Delta (R_i * Surf_i)$: sur la base du rendement (en t) et surface (en ha), augmentation de la production annuelle de la culture i source de MRP_i sur l'année k , par rapport au scénario de référence (quantité de la culture i produite par an dans le scénario de référence).
- $Ratio\ MRP_i$: pourcentage du débouché de la culture récoltée i , qui est source de MRP pour l'alimentation animale
- MRP_i : matière première dont la teneur est supérieure à 15% de matière sèche issue de la culture i (récolte ou produit transformé) qui sera utilisée en alimentation animale.
- Ft : facteur de transformation (par trituration ou autre procédé) pour obtenir la part de MRP_i produite à partir de la culture récoltée i
- $CEpi$ = coefficient d'équivalence en protéine de la MRP_i issue de la culture i de l'exploitation agricole par rapport au tourteau de soja moyen utilisé en alimentation animale.

L'Annexe 14 fournit les références des paramètres nécessaires aux calculs.

L'équation qui permet de calculer la contribution de l'exploitation agricole à des filières de bioénergie ou de biomatériaux est la suivante :

$$Contribution_{biomatériaux} = \sum_{k=1}^p Contribution_{substitution_k}$$

Avec :

- k = année considérée, de 1 à p années du projet

et :

$$Contribution_{substitution_k} = \sum_{i=1}^n (Delta (R_i * Surf_i) * Ratio_{débouché_i} * Ft_i * Ratio_i)$$

Avec :

- Delta (Ri et Surf) : sur la base du rendement (en t) et surface (en ha), augmentation de la production annuelle de la culture i utilisée dans le matériau biosourcé sur l'année k, par rapport au scénario de référence (quantité de la culture i produite par an dans le scénario de référence).

- Ratio_débouché_i : Valeur de 0 à 1 pour la part de la culture récoltée i qui est écoulé dans le débouché du biomatériau substituable à un matériau pétro-sourcé (contrat tracé sur l'EA ou par défaut moyenne nationale)

- Fti : le facteur de transformation pour obtenir le produit j (exemple fibre) à incorporer dans le biomatériau à partir de la culture récoltée i (exemple chanvre)

- Ratio_i : quantité utilisée du produit transformé i dans le matériau biosourcé i équivalent au matériau pétro-sourcé qu'il peut remplacer

L'Annexe 14 fournit les références des paramètres nécessaires aux calculs.

7.3.2 A l'échelle du territoire : impact sur la dynamique territoriale

Les risques seraient liés à une stigmatisation des agriculteurs impliqués dans le projet s'ils sont minoritaires dans ce type d'engagement, ou que les leviers mis en place ne sont pas compris ou acceptés par les autres acteurs du territoire.

Les co-bénéfices sont réels dans les cas où le déploiement du projet crée une synergie dans le territoire au sein de la communauté agricole et renforce une acceptation sociétale (synergie au sein des acteurs du territoire). Le co-bénéfice est spécialement fort si le projet apporte une réelle complémentarité avec des démarches locales ou territoriales en place ou à venir (stratégie collective ou territoriale visant du bas carbone ou une autre dimension environnementale ou sociétale, appui au développement d'activités souhaitables pour les attentes du territoire, etc.).

Tableau 24 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques à l'échelle du territoire

| Enjeux/type | Indicateur | Calcul | Références |
|--------------------------|--|--|---|
| Socio-éco/ territoire | Implication sociale | Plusieurs indicateurs disponibles : - Implication dans structures associatives professionnelles - Nombre d'interaction avec des institutions professionnelles locales - Nombre de stratégies locales qui sont renforcées ou facilitées par la synergie avec le projet LBC | Adaptation du modèle IDEA démarche qualité (fiche B5) et d'Idaqua, 2010 |
| Socio-éco/ territoire | Autonomie et valorisation des ressources locales | - Autonomie vis à vis des fournisseurs - Valorisation de ressources produites dans le territoire (échanges paille/fertilisation organique par exemple) - Relation avec acheteurs locaux (revenu issu du plus gros acheteur/revenu total ou nb d'acheteurs locaux ou % acheteurs locaux par rapport aux nb d'acheteurs) | Adaptation du modèle IDEA démarche qualité (fiche B9), |
| Socio-éco/ territoire | Contribution à l'emploi | Création d'emploi sur l'exploitation ou sur le territoire | |

7.3.3 A l'échelle de l'agriculteur : revenu viable et conditions de travail

Les changements opérés avec la mise en œuvre du projet peuvent engendrer des risques ou de co-bénéfices socio-économiques pour l'agriculteur et son exploitation :

- Effet sur la rentabilité de l'exploitation et donc le revenu de l'exploitant : il est utile que le suivi du projet puisse vérifier le maintien d'un revenu viable pour l'exploitant ;
- Effet sur la qualité de vie pour l'exploitant et les personnes travaillant sur l'exploitation (phase d'apprentissage technique, maîtrise de leviers ou d'un système de culture plus

complexe, organisation du travail à repenser) : il est utile que le suivi du projet puisse vérifier le maintien d'une qualité de vie acceptable pour l'exploitant dans son cadre professionnel.

Le porteur et les participants du projet sont invités à estimer *ex-ante* les impacts technico-économiques du changement de pratiques qu'ils projettent en s'engageant dans le Label Bas Carbone, sachant que la vente du projet vise à compenser une partie des pertes éventuelles, en compléments d'autres financements valorisant ces pratiques. Les impacts sur la qualité de vie sont subjectifs, mais doivent être néanmoins appréciés.

La robustesse économique est un indicateur d'intérêt pour estimer la capacité à maintenir à un niveau acceptable des performances économiques de l'exploitation, dans un contexte climatique ou économique perturbé avec impact sur la productivité et ou les charges de production. Cependant pour l'appréhender un recul d'au moins 3 ans est nécessaire sur les nouvelles pratiques mobilisées, et comme il n'existe pas de modèle reconnu pour estimer la robustesse d'un système de culture une annexe de calcul de la robustesse pourra être ajoutée dans une version ultérieure de la méthode. Par ailleurs le temps passé hors traction ne fait pas l'objet à ce jour d'une méthode standardisée et simple de calcul.

Ainsi est proposée dans le tableau ci-après une liste d'indicateurs mobilisables par le porteur de projet pour, *a minima*, une gestion interne au projet (concertations entre participants d'un projet collectif), voire une valorisation de certains aspects en co-bénéfices.

Tableau 25 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques vis-à-vis des agricultures

| Enjeux | Indicateur | Calcul | Références |
|-------------------------|--|---|---|
| Socio-éco/ Agricult. | Revenu disponible (en Euros par UTANS) | Evolution de la valeur en ex-ante et en ex-post : $RD = [EBE - annuités]/UTANS$ EBE : excédent Brut d'Exploitation, calculé pour chaque exercice comptable de l'exploitation Annuités = Paiement annuel d'une partie du capital emprunté et des intérêts UTANS : Unité de Travail Annuel Non Salarié, équivaut à la quantité de travail agricole fournie par une personne non salariée occupée à plein temps pendant une année. | IGER, Centres de Gestion. Le mot Juste. 1989. Dictionnaire des indicateurs 2007 Etude compétitivité en région Centre-Val de Loire |
| Socio-éco/ Agricult | Temps de traction (<i>une des composantes de la pénibilité du travail</i>) | Evolution du temps de traction hebdomadaire, mensuel ou annuel (h/UTA) c'est-à-dire temps passé dans les parcelles, par les tracteurs et engins automoteurs, dont la moissonneuse-batteuse (intégrant le temps d'approche des parcelles, les temps de manœuvre, de démarrage dans les parcelles, sans considérer le temps de gestion administrative, d'observation des cultures, etc). Des seuils peuvent être utilisés par rapport à des types d'opérations : semis limité à 10h de traction 6 jours/7 ; récolte plafonnée à 12 h/j, 7 j/7 ; autres opérations plafonnées à 7 h/j, 5 j/7. Le temps total de traction ne peut excéder 50 % du temps de travail des 2 UTH en moyenne, soit 1 500 h/an. (La notion d'étalement des travaux peut aussi être rajoutée) | Méthode calcul des indicateurs SYSTERRE®, version de juin 2018 Description de la méthode d'interprétation : Toqué <i>et al</i> , 2014 |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| | | | |
|------------------------|--|---|---|
| Socio-éco/ Agricult | Equilibre de la charge de travail | <p>Temps de travail mensuel : temps de traction (quantitatif) + temps de travail supplémentaire en amont ou/et en aval de l'intervention au champ (préparation/réparation du matériel, gestion administrative, observation des parcelles, veille technico-économique...) (qualitatif ou estimation large)</p> <p>Comparaison du temps de travail mensuel avec le seuil de période de pointe : 222.3 h de travail ou 115.15 h de traction (abaissé à $115.15 \times 0.75 = 83,36$ h pour les mois avec problèmes de jours disponibles) (<i>Seuil établi dans DEXiPM-Syppre</i>)</p> | d'après DEXiPM-Syppre |
| Socio-éco/ Agricult | Conditions de travail de l'agriculteur | <p>Indicateurs proposés (voir les bases de calcul en Annexe 15) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Complexité des interventions culturelles/du système (moyenne des coefficients de complexité de chaque culture) - Temps de veille technico-économique (selon le nombre de cultures différentes dans la rotation) - Surcharge de travail (par expertise locale ; proposition d'utiliser les indicateurs « équilibre de la charge de travail » ou « temps de traction » ci-dessus) | d'après MASC version 2.0 (critère « satisfaction des attentes de l'agriculteur ») |

8 Vie d'un Projet et modalités de vérification des réductions d'émissions

8.1 Vie d'un Projet

La vie d'un Projet est jalonnée de procédures que le Porteur de Projet doit suivre et qui permettent de garantir la qualité environnementale du Projet et l'efficacité du financement. Ces procédures sont résumées ci-après, et font référence à l'arrêté définissant le référentiel du label « Bas-Carbone ».

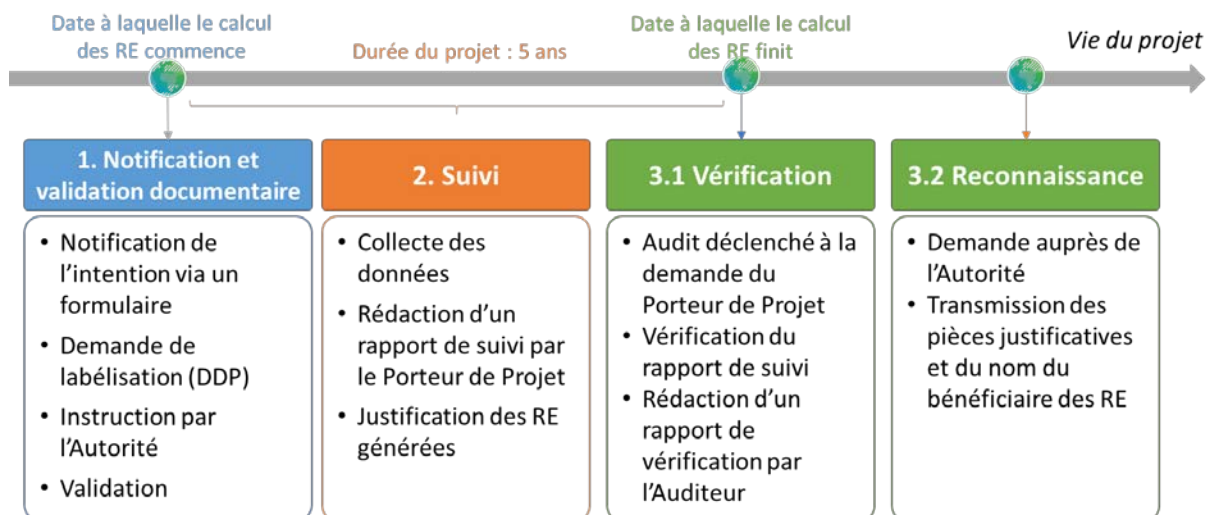


Figure 12 : Etapes clef de la vie d'un Projet

Les Projets labellisés seront conduits sur une durée de 5 ans, ils pourront être renouvelés par un nouveau Projet à l'issue des 5 ans.

Au dépôt du Projet, le Porteur devra choisir, pour les exploitations impliquées, un scénario de référence générique ou spécifique, lesquels peuvent être différents selon les exploitations.

Quel que soit le type de scénario de référence, spécifique ou générique, les exploitations enregistrent annuellement toutes les données relatives aux pratiques, spécifiées dans le Projet pour alimenter les modèles ou quantifier des consommations d'intrants lors de l'évaluation finale au terme des 5 ans. Le Porteur de Projet aura défini les moyens d'enregistrements et s'assurera de leur mise en œuvre par les exploitations en cours de Projet. Si le Projet est individuel, l'exploitation établit un rapport de suivi. Si Le Projet est collectif, le Porteur de Projet établit un rapport de suivi de l'ensemble des exploitations.

Si pendant la durée des 5 ans du Projet, la méthode évolue (nouvelles versions des modèles utilisés pour l'établissement des réductions d'émissions ou de stockage de carbone par exemple), les modifications seront appliquées pour ajuster les réductions d'émissions et le stockage calculés. Cependant, elles ne pourront pas remettre en cause les RE initialement calculées et ne pourront s'appliquer qu'en faveur de l'exploitation.

En cas de difficultés ponctuelles dans la mise en œuvre des pratiques décrites dans le Projet (accident climatique, problèmes pratiques de mise en œuvre), celles-ci seront identifiées et décrites dans le rapport de suivi. En cas de non-respect des pratiques initialement prévues, les réductions d'émissions générés seront établies par rapport aux pratiques réellement mises en œuvre lors de l'évaluation à posteriori des réductions d'émissions en fin de Projet.

A l'issue des 5 ans, le Projet fait l'objet d'un audit par un organisme Auditeur agréé. Le rapport d'audit est transmis au Porteur de Projet et à l'Autorité.

Le déroulement du Projet et les procédures à respecter sont décrites dans le tableau ci-dessous

Tableau 26 : Procédure et vie d'un Projet

| | Pourquoi ? | Comment ? | Qui ? |
|---|--|--|--|
| 1.1 Notification du Projet | Prendre date pour la comptabilisation des réductions d'émissions, même si le Projet n'est pas encore validé | <ul style="list-style-type: none"> • Notification de l'intention via un formulaire en ligne (*) • Précision de la méthode utilisée • Réductions comptabilisées à partir de la date de notification | Porteur de Projet |
| 1.2 Demande de labellisation du Projet | Démontrer la conformité du Projet au LBC et à la Méthode Engagement du Porteur de Projet à accepter les contrôles | <ul style="list-style-type: none"> • Demande de labellisation, via le formulaire Document Descriptif du Projet (DDP) en ligne(*) et des pièces justificatives complémentaires associées • Démonstration que le projet respecte le cahier des charges défini par la Méthode (additionnalité, pratique éligible...) • Calcul des RE générables par le Projet (dont application des rabais) et estimation des co-bénéfices induits | Porteur de Projet |
| 1.3 Instruction de la demande de labellisation | Valider la conformité documentaire du projet au LBC et à la Méthode (délai max de 2 mois) | <ul style="list-style-type: none"> • Réception du DDP par l'Autorité en charge du Projet • Vérification des calculs effectués selon une feuille de calcul standardisée et de l'ensemble des pièces justificatives exigées par la Méthode : co-bénéfices, rabais effectués, RE | Autorité à la demande du Porteur de Projet |
| 1.4 Validation de la demande de labellisation | Valider la conformité documentaire du projet au LBC et à la Méthode | <ul style="list-style-type: none"> • Notification de la décision au Porteur de Projet par mail (une absence de réponse dans le délai vaut acceptation) • Si le Projet est labellisé, il est ajouté sur la page Internet du LBC : RE générables par le Projet, Projet financé ou non, et si financé, identification des Financeurs • Si le Projet est refusé, des explications sont fournies | Autorité |

| | | | |
|--|---|--|--|
| 2. Suivi du Projet | Evaluer l'impact climatique et environnemental du Projet | <ul style="list-style-type: none"> • Collecte de l'ensemble des données nécessaires au calcul des RE et co-bénéfices • Réalisation des calculs • Rédaction d'un rapport de suivi individuel (même dans le cas d'un Projet collectif), qui doit être envoyé à l'Auditeur | Porteur de Projet |
| 3.1 Vérification du suivi du Projet | Apporter les garanties sur le suivi du projet (à minima en fin de projet) | <ul style="list-style-type: none"> • Vérification du rapport de suivi par un Auditeur indépendant, impartial et compétent • Rédaction d'un rapport de vérification • Dans le cas d'un projet collectif, mutualisation de la vérification entre plusieurs Projets individuels | Auditeur à la demande du Porteur de Projet |
| 3.2 Reconnaissance des RE | Pouvoir communiquer sur l'impact réel des Projets | <ul style="list-style-type: none"> • Demande formelle de reconnaissance des RE à partir du rapport de suivi, du rapport de vérification • Désignation du Financier, qui bénéficiera des RE • Reconnaissance des RE matérialisée par l'inscription dans le fichier de suivi en ligne (*) | Autorité à la demande du Porteur de Projet |

(*) : www.ecologie-solidaire.gouv.fr/label-bas-carbone

Remarque: C'est la dernière étape qui permet de déclencher la reconnaissance des RE par l'Autorité. Cependant, il est possible de prévoir un préfinancement des RE par le Financier, dont les détails seront à préciser dans la contractualisation de gré à gré.

8.2 Suivi d'un Projet

Au démarrage, pour des exploitations ayant opté pour un scénario de référence spécifique, chaque exploitant réalise un diagnostic complet de son exploitation en rassemblant l'ensemble des données nécessaires aux calculs de émissions de GES et de sa trajectoire de stockage de carbone d'avant-Projet. Le Porteur de Projet organise la récolte des données descriptives des pratiques des 3 années antérieures au début du Projet pour établir ces lignes de base spécifiques à chacune par la mise en œuvre des modèles ou des calculs d'émissions.

Dans le cas du choix d'un scénario de référence générique, le porteur établit pour chaque système de culture de chaque exploitation le niveau d'émissions de gaz à effet de serre et le stockage de carbone de référence d'après les données moyennes départementales.

En cours de projet, quel que soit le scénario de référence choisi, le Porteur de Projet propose un mode d'enregistrement annuel des pratiques mises en œuvre (cf. Annexe 16) et s'assure que les données sont correctement collectées au niveau des exploitations : données d'entrée des modèles pour l'établissement des émissions de GES, données d'entrée des modèles de simulation d'évolution du stock organique des parcelles. Dans le cas où l'ensemble des systèmes de culture de l'exploitation ne sont pas inclus dans le Projet, les indicateurs complémentaires nécessaires pour s'assurer de l'absence de transferts entre systèmes seront également collectés.

8.3 Modalités de vérification

La vérification des réductions d'émissions est obligatoire et nécessaire pour que l'autorité reconnaisse les réductions effectuées. La demande de reconnaissance est faite par le porteur de projet. Pour ce faire, le porteur de projet envoie à l'autorité, conformément à l'arrêté du 28 novembre 2018, un rapport de suivi et un rapport de vérification, élaboré par un auditeur externe, au frais du Porteur du Projet, sur la base de documents justificatifs. Le porteur de projet peut prendre l'initiative en cours de projet d'une vérification de collecte des données, voire une première évaluation des réductions d'émissions, à sa charge et sans recourir à l'organisme d'audit.

Les tableaux 1 à 8 en Annexe 1 reprennent l'ensemble des données nécessaires aux calculs pour les volets émissions de GES et stockage de C dans les sols. Ils indiquent en colonne de droite les moyens de vérification en cours ou à l'issue des 5 ans du Projet.

Les tableaux en Annexe 17 indiquent les données nécessaires à la vérification en cas de coexistence sur l'exploitation de systèmes de culture avec et sans mise en œuvre de leviers.

Les réductions d'émissions ne pourront être comptabilisées qu'après la réalisation des suivis techniques ou des investissements prévus dans le plan d'actions, vérifiées sur base documentaire par un Auditeur externe.

Cas des Projets collectifs

Pour les Projets collectifs, la vérification peut se faire de manière individuelle pour chaque projet d'agriculteur indépendamment, ou en mutualisant plusieurs demandes individuelles.

Afin de limiter les coûts, en cas de mutualisation de plusieurs demandes individuelles l'audit externe sera réalisé sur un échantillon d'exploitations choisi par l'Auditeur selon la règle $0.5 \cdot \sqrt{n}$ (cf. quelques exemples d'application dans le tableau ci-dessous) avec un minimum de cinq exploitations. Après vérification, l'Auditeur externe adressera au Porteur de Projet un rapport complet relatif à l'ensemble des projets individuels composant l'échantillon d'exploitations. Les éventuels écarts de réduction constatés sur l'échantillon de vérification seront appliqués proportionnellement à l'ensemble des réductions d'émissions demandées dans le rapport de suivi.

Dans tous les cas, l'ensemble des documents justificatifs de chaque projet individuel seront transmis à l'Auditeur.

Tableau 27 : Règles d'échantillonnage pour la vérification des Projets collectifs

| n = nombre d'exploitations du projet | échantillon pour la vérification (= $0.5 \sqrt{n}$) | Taux échantillonnage correspondant |
|---|---|---|
| 10 | 2 | 20% |
| 100 | 5 | 5% |
| 1 000 | 16 | 2% |
| 10 000 | 50 | 1% |

8.4 Conformité des outils de calcul des RE

Les Porteurs de Projet doivent utiliser un outil certifié conforme à la Méthode LBC Grandes Cultures pour réaliser les calculs des RE lors de la notification en début de Projet puis lors de la vérification en fin de Projet. Ainsi, les éditeurs d'outils doivent faire appel à un organisme de certification indépendant, qui contrôlera que les formalismes utilisés sont conformes à ceux décrits dans la Partie 6 du présent document et que les tables de paramétrage utilisées

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

sont conformes aux Annexes. La conformité des outils est certifiée sur chacun des postes suivants :

Tableau 28 : Modalités de certification pour la conformité des outils de calcul des RE

| Parties de la méthode faisant office de cahier des charges pour le développement des outils | | Formalismes | Tables de paramétrage |
|--|--------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| RE émissions | RE_{fertilisation} | Partie 6.1.1 | Annexes 1, 2, 3, 4 et 6 |
| | RE_{combustibles} | Partie 6.1.2 | |
| | RE_{séchage/stockage} | Partie 6.1.3 | |
| RE aval | RE_{séchage OS} | Partie 6.2.1 | Annexe 7 |
| RE stockage C dans le sol | RE_{stockage} | Partie 6.3 | Annexe 1, 3 et 4 |
| Rabais global | f_{rabais (RE)} | Partie 6.4 | - |

A noter que les outils seront certifiés conformes à une version donnée de la méthode et qu'ils devront donc renouveler leur certification à chaque mise à jour du présent document.

Plusieurs outils peuvent être utilisés pour calculer les différents postes de RE, mais ils devront tous être certifiés conformes sur le périmètre sur lequel ils sont utilisés.

9 Formulaire nécessaires aux Porteurs de Projet

Trois formulaires sont nécessaires aux Porteurs de Projet :

- Le formulaire de notification de Projet, disponible sur la page internet du Label Bas-Carbone : <https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone> ;
- Le document descriptif de Projet (DDP), disponible sur la page internet du Label Bas-Carbone : <https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone> ;
- Le formulaire de rapport de suivi, disponible sur la page internet du Label Bas-Carbone : <https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone> ;

10 Bibliographie

- ADEME. (2010). Guide des valeurs Dia ' terre ®.
- ADEME (2011). Synthèse bibliographique sur la contribution de l'agriculture à l'émission de particules vers l'atmosphère : identification de facteurs d'émission, Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par J. Faburé, S. Rogier, B. Loubet, S. Générumont, S. Saint-Jean, C. Bedos, P. Cellier, Eds Ademe.
- ADEME (2019). Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air - collection "Clé pour agir". Eds Ademe.
- ADEME. (2020). Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone ® - Version 11.0.0.
- Adoir, E. (IFV). (2020). 4. 3.1. Données d'activité - Calcul des émissions directes et indirectes liées à la consommation de ressources énergétiques. In Gestim + (pp. 1–14).
- Arvalis - Institut du végétal, Terres Inovia, ITB, et ACTA. « Méthode de calcul des indicateurs SYSTERRE », 2018
- Bamière, L., Camuel, A., De Cara, S., Delame, N., Dequiedt, B., Lapierre, A., Lévêque, B. (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 – Synthèse. 7 pages
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Makowski, D., 2019. Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. Environ. Res. Lett. 14, 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4449>
- Bockstaller, C., Lassere-Joulin, F., Meiss, H., Sausse, C., van der Werf, H., Denoirjean, T., Ranjard, L., Angevin, F., Manneville, V., Michel, N., Tosser, V., Plantureux, S. (2019). Les indicateurs de biodiversité pour accompagner les agriculteurs : embarras du choix ou pénurie ? Innov. Agron. 75, 73–8
- Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A., Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. Ecol. Soc. 22, art8. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>
- 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>
- Clivot, H., Ferchaud, F., Levavasseur, F., Houot, S., Graux, A.-I., Cadero, A., Vertes, F., Mollier, A., Duparque, A., Mouny, J.-C., Therond, O., Mary, B., 2020. Simulating soil organic carbon dynamics in long-term bare fallow and arable experiments with STICS model, in: ICROP2020 Symposium - Crop Modelling for The Future, Book of Abstracts - XIIth Stics Users Seminar. Montpellier, France, p. 73 p.
- Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T (2011). MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Jeu complet de fiches critères de MASC 2.0. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 133 p.
- Dubois S., Tailleur A., Cavan N. (2019) « Rapport méthodologique : utilisation du modèle d'évaluation multicritère DEXiPM-Syppre Calcul des indicateurs et seuillage ». Arvalis - Institut du végétal, Inrae. Non publié
- Fahrig, L., et al. (2011). Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. Ecology letters, 14(2), 101-112
- Gac, A., Deltour, L., Cariolle, M., Dollé, J., Espagnol, S., Flénet, F., Guingand, N., Lagadec, S., Le Gall, A., Lellahi, A., Malaval, C., Ponchant, P., & Tailleur, A. (2010). GES'TIM Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre.
- Générumont, S. et al. (2019). Diagnostiquer : inventorier, surveiller et évaluer, in: Bedos, C., Générumont, S., Castell, J.-F., Cellier, P. (Eds.), Agriculture et Qualité de l'air : Comprendre, Évaluer, Agir. Quae, Versailles, France, pp. 205–231
- Gomez, D. R., & Watterson, J. D. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Granier, J., & Deumier, J.-M. (2013). Efficience hydraulique et énergétique : les nouveaux critères de performances pour les systèmes d'irrigation du futur. Sciences Eaux & Territoires, Numéro 11(2), 30. <https://doi.org/10.3917/set.011.0030>
- Idele. (2019). CARBON AGRI Méthode de suivi des réductions d'émissions en élevages bovins et de grandes cultures conforme au Label Bas Carbone.
- Koch, P., & Salou, T. (2016). AGRIBALYSE ® : Rapport méthodologique Version 1.3. In Ademe.

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J.-P., M., T., (2008). Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies.
- Levavasseur F., Mary B., Christensen BT., Duparque A., Ferchaud F., Kätterer T., Lagrange H., Montenach D., Resseguier C., Houot S. (2020). The simple AMG model accurately simulates organic carbon storage in soils after repeated application of exogenous organic matter. *Nutr Cycl Agroecosyst*.
<https://doi.org/10.1007/s10705-020-10065-x>
- Lopez, B., Ollivier, P., Togola, A., Baran, N., Ghestem, J.-P. (2015). Screening of French groundwater for regulated and emerging contaminants. *Sci. Total Environ.* 518, 562–573.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.110>
- Magrini M.-B., Thomas T., Schneider A. (2015). Analyses multi-enjeux et dynamiques socio-économiques des systèmes de production avec légumineuses, In : Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, A. Schneider, C. Huyghe (coord.), Editions Quæ, pp339-413.
- Martin M. *et al.* (2019). Méthodes de comptabilisation du stockage de carbone organique des sols sous l'effet des pratiques culturales (cSOPRA), Rapport de synthèse, Projet ADEME
- Martin, A.E. *et al.* (2020). Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—or even larger than—the effects of farming practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 288, 106698.
<https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2019.106698>
- V.L. Mulder, M. Lacoste, A.C. Richer de Forges, M.P. Martin, D. Arrouays. (2016). National versus global modelling the 3D distribution of soil organic carbon in mainland France. *Geoderma*, 263, pp. 13-34
- Nemecek, T., & Kagi, T. (2007). Life cycle inventories of Agricultural Production Systems,ecoinvent report No. 15. 15, 1–360.
- Nougadère, A., *et al.* (2020). Dietary exposure to pesticide residues and associated health risks in infants and young children – Results of the French infant total diet study. *Environ. Int.* 137, 105529.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105529>
- Panagos *et al.* (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European Scale. *Land Use Policy* 48, 38-50.
<https://doi.org/10.1038/472159>
- Panagos *et al.* (2020). Soil-related indicators to support agri-environmental policies - Soil erosion Soil carbon Soil nutrients and fertility – Rapport du JRC Science for policy report de la Commission Européenne.
<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/soil-related-indicators-support-agro-environmental-policies>
- Pellerin *et al.* "Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des GES ?", p.77, 2013.
- Pellerin *et al.* (2019). Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif de 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude. Paris : INRA, 117 p.
- Perrin *et al.* (2019). Systèmes de culture innovants : évaluer l'évolution du statut organique des sols Perspectives Agricoles N°466 - Mai 2019
- Plantureux, S., Carrère, P., Pottier, E. (2012). La prairie permanente : nouveaux enjeux, nouvelles définitions ? *Fourrages* n°211, 11–193.
- Pointereau P., Luisa Paracchini, M., Terres, J.-M., Jiguet, F., Bas, Y., Biala, K. (2006). Identification of High Nature Value farmland in France through statistical information and farm practice surveys. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg
- Projet SOLéBIOM - Evaluation de prototypes de systèmes de grande culture orientés vers la production de biomasse pour la bioraffinerie, vis à vis de la préservation du bilan de carbone organique des sols à long terme- Appel à Projet Pivert - porté par Agrotransfert en partenariat avec l'INRAe, Terres Inovia et Arvalis (2015-2018).
- RéseauPRO. (2015). Guide méthodologique Réseau PRO, Mise en place d'un essai au champ pour l'évaluation agronomique, environnementale et sanitaire d'un Produit Résiduaire Organique, 2014. Le guide complet est téléchargeable gratuitement sur le site du RMT « Fertilisation & Environnement » :
<http://www.rmt-fertilisationenvironnement.org/>.
- Rollin, O., Bretagnolle, V., Decourtye, A., Aptel, J., Michel, N., Vaissière, B., Henry, M., (2013). Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 179, 78–86.
- Rogissart L., Foucherot C., Bellassen V. (2019). Estimer les émissions de gaz à effet de serre de la consommation alimentaire : méthodes et résultats.
- Silva, V. *et al.* (2019). Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. *Sci. Total Environ.* 653, 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.10.441>

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

- Sirami, C. *et al.* (2019). Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 201906419. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116>
- Smith P, Soussana JF, Angers D, *et al.* (2019). How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Glob Change Biol.* 2020 ;26:219–241. <https://doi.org/10.1111/gcb.14815>
- Schrumpf, M., Schulze, E. D., Kaiser, K. & Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences* 8, 1193–1212.
- Toqué C., Retaureau P., Dubois B (2014). Evaluation des stratégies de travail du sol pour des exploitations agricoles en grandes cultures « Faut-il travailler le sol ? ». ARVALIS - Institut du végétal – QUAE
- Wilfart A, Espagnol S, Dauguet S, Tailleur A, Gac A, Garcia-Launay F (2016). ECOALIM: A Dataset of Environmental Impacts of Feed Ingredients Used in French Animal Production. *PLoS ONE* 11(12): e0167343. doi:10.1371/journal.pone.0167343
- <https://www.feedtables.com>
- Yogo *et al.*, INRAE (2020). Quelles approches pour estimer et certifier la variation du stock de carbone organique du sol ?. ADEME Contrat n° 1803C0034

Annexes techniques

Annexe 1 : Données nécessaires pour établir les RE à l'initialisation des Projets et en fin de Projet et éléments de vérification

Données référence générique :

Les données nécessaires à l'établissement de la référence générique sont disponibles en pièce jointe (cf. *LBC_Méthode GC_Annexe01_enquete SSP 2017 pour ref generiques.xlsx*) : les pratiques majoritaires pour des exploitations en agriculture biologique ou conventionnelle. Il est conseillé de consulter les onglets « pré-requis sources des données » et « mode d'emploi » pour utiliser ce fichier.

Données climatiques :

Les modèles de bilan humique utilisent des données climatiques.

Elles doivent être disponibles pour les 5 ans avant la mise en place du projet et sur toute la durée du projet. Généralement les modèles fonctionnent en étant associés à des bases de données météo, les données seront à minima établies au niveau du département.

Tableau 1: données climatiques

| Données | Cas où la donnée est nécessaire | | | | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|--------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|--|---|--|
| | AMG | STICS | AqYield_NC (MAELIA) | Calculs des émissions GES | | | |
| Rayonnement global | | Journalier : moyen | | | Données météorologiques, stations, Météo France | Données météorologiques, stations, Météo France | Aucune |
| Température | Annuelle : moyenne | Journalière : min, max | Journalière : min, max | | Données météorologiques, stations, Météo France | Données météorologiques, stations, Météo France | |
| Somme des pluies | Annuelles | Journalière | Journalière | | Données météorologiques, stations, Météo France | Données météorologiques, stations, Météo France | |
| ETP moy an | Moyen annuel | Journalière | Journalière | | Données météorologiques, stations, Météo France | Données météorologiques, stations, Météo France | |

Tableau 2: données descriptives des cultures:

| Données | Cas où la donnée est nécessaire | | | | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|--|---------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|---|---|--|
| | AMG | STICS | AqYield_NC (MAELIA) | Calculs des émissions GES | | | |
| Rendements | X | | | X | Statistique Agricole Annuelle par département et par culture | Cahier de fertilisation, Plan d'épandage | Cahier de fertilisation |
| Restitution/Exportation des résidus de culture | X | X | X | X | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter tableur Excel en pièce jointe | | |
| Succession culturale | Espèces | Espèces, Variétés | Espèces, Variétés | Espèces | | | |
| Couverts | Espèces, rendement | Espèces | Espèces | Espèces, rendement | Les pratiques sur les couverts sont issus Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe Les rendements moyens sont issus de la base de données MERCI2 : on utilisera pour des couverts d'une durée <60 jours 1.5 t de matière sèche/ha et pour les couverts d'une durée >60 jours 2.5 t de matière sèche/ha | | Couverts : factures d'achat de semences. Il n'existe pas de moyen de vérification sur les niveaux de production des couverts mais peut être estimé en fonction des dates de semis. |

X : Assurer un suivi

Tableau 3: données descriptives des pratiques de fertilisation :

| | Donnée | Cas où la donnée est nécessaire | | | | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------|---------------------|---------------|--|---|--|
| | | AMG | STICS | AqYield_NC (MAELIA) | émissions GES | | | |
| Fertilisation organique | Type de produit | X | X | X | X | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | Info agri, cahier de fertilisation, plan d'épandage. | Factures d'achats de produits organiques importés. Données Analytiques de chaque produit importé sur l'exploitation Cahier de fertilisation Parc matériel de l'exploitation |
| | Quantité apportée (t/ha ou m3/ha) | X | X | X | X | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | Info agri, cahier de fertilisation, plan d'épandage | Confrontation des données d'achat ou des données du plan d'épandage aux surfaces concernées |
| | Date d'apport | | X | X | | | Info agri, cahier de fertilisation, plan d'épandage | Cahier d'enregistrement des interventions (en spécifique), vérification de la source de données en référence générique |
| | Date et mode d'enfouissement | | X | X | X | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | | Cahier d'enregistrement des interventions Parc matériel sur l'exploitation (ou factures d'intervention d'un prestataire) |

| | Compositio n du produit | | %MS, %humidité, teneur en C, C/Norg, teneur en N minéral | %MS, %humidité, teneur en C, C/Norg, teneur en N minéral | | Fiches RMT Elevage et Environnement, étude MAFOR 2014, base de données des modèles | | Vérification des sources de référence ou des analyses effectuées sur l'exploitation le cas échéant |
|-----------------------------------|---|--|---|---|---|---|--|---|
| Fertilisation minérale | Dates des apports | | X | X | X | | | Factures d'achats des engrais minéraux |
| | Types de produits par apport (Urée/NH3 /NO3), Spécificatio n inhibiteurs | | X | X | X | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | | Descriptif des engrais (commandes, étiquettes produits) |
| | Quantités apportées | | X | X | X | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | | Factures d'achats des engrais minéraux |

X : Assurer un suivi

Tableau 4: données descriptives des pratiques d'irrigation

| Données | Cas où la donnée est nécessaire | | | | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|-----------------------|---|--------------------------|--------------------------|---|--|---|--|
| | AMG | STICS | AqYield_NC (MAELIA) | Calculs des émissions GES | | | |
| Quantité | Somme (mm) des irrigations de la campagne culturale | Quantité (mm) par apport | Quantité (mm) par apport | Somme (mm) des irrigations de la campagne culturale | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | Infos agri, cahier de relevés d'irrigation | Factures consommation d'eau des matériels d'irrigation |
| Dates d'apports d'eau | | X | X | | | | |

X : Assurer un suivi

Tableau 5: données relatives au travail du sol

| Données relatives à | Cas où la donnée est nécessaire | | | | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|--|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|--|--|--|
| | AMG | STICS | AqYield_NC (MAELIA) | Calculs des émissions GES | | | |
| Type de travail sol | Type du travail le plus profond | Pour toutes interventions | Pour toutes interventions | Pour toutes interventions (*) | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | Informations exploitants, Parc matériel de l'exploitation (outils et traction) | Parc matériel de l'exploitation (outils et traction) Consommation de carburants relevé sur l'exploitation |
| profondeur de travail du sol | Profondeur du travail le plus profond | Pour toutes interventions | Pour toutes interventions | Pour toutes interventions (*) | Enquêtes du SSP sur les Pratiques Culturelles de la récolte 2017 en grandes cultures, consulter le tableur Excel en pièce jointe | Informations exploitants, Parc matériel de l'exploitation (outils et traction) | Parc matériel de l'exploitation Consommation de carburants relevé sur l'exploitation |
| dates des interventions de travail sol | | X | X | | | Informations exploitants | Cahier d'enregistrement des interventions de l'exploitation |

(*) selon mode de calcul des émissions par consommations d'énergie fossile, voir 6.1.2

Tableau 6: données descriptives des sols

| Donnée sol | Cas où la donnée est nécessaire | | | | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|---|--|
| | AMG | STICS | AqYield_NC (MAELIA) | Calculs des émissions GES | | | |
| C initial (g/kg terre fine) | 0-30cm | 0-30cm | 0-30cm | | Source base utilisée | Source base utilisée | Vérification de la référence initiale |
| Type de sol: | X | X | X | | Bases sol (par exemple Base sol Arvalis, base sol SIMEOS) BDAT | Données agriculteurs, ou données analyses texture parcellaire des parcelles du projet | Analyse de sol parcellaires (référence spécifique), ou vérification de la référence issue de la BDAT ou de la base de référence utilisée |
| densités apparentes | 0-30cm | Sur prof. enracinem ^t | Sur prof. enracinem ^t | 0-30 cm | Bases sol (par exemple Base sol Arvalis, base sol SIMEOS, .. BDAT | Bases sol ou BDAT, valeurs du type de sol de la (des) parcelle(s) du projet | |
| % cailloux | 0-30cm | Sur prof. enracinem ^t | Sur prof. enracinem ^t | 0-30 cm | Bases sol (par exemple Base sol Arvalis, base sol SIMEOS, BDAT | Données analyses texture parcellaire des parcelles du projet | |
| % argile | 0-30cm | Sur prof. enracinem ^t | Sur prof. enracinem ^t | 0-30 cm | | | |
| % CaCO ₃ | 0-30cm | 0-30cm | 0-30cm | 0-30 cm | | | |
| pHeau | 0-30cm | 0-30cm | 0-30cm | 0-30 cm | | | |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|--|---|--|
| C/N | 0-30cm | 0-30cm | 0-30cm | 0-30 cm | | | |
| %MO | 0-30cm | | | 0-30 cm | | | |
| %Norg init ou prof travail | | 0-30cm | 0-30cm | N%org 0-30 cm | | | |
| Hpf et Hcc | | Sur prof. enracinem ^t | Sur prof. enracinem ^t | | Bases sol (par exemple Base sol Arvalis, base sol SIMEOS, BDAT | Bases sol (par exemple Base sol Arvalis, base sol SIMEOS, BDAT, abaques de correspondances Humidités caractéristiques et types de sol | |
| stock NH4 et NO3 initial | | Sur prof. enracinem ^t | Sur prof. enracinem ^t | | Tableaux des moyennes de reliquats d'azote minéral édités par les chambres d'agriculture départementales | Mesures de reliquats d'azote minéral sur les parcelles. | Selon le type de référence, vérification de la mesure (bulletin d'analyse) en référence spécifique, ou vérification de la source en référence générique. |

X : Assurer un suivi

Tableau 7: données descriptives des consommations de carburants fossiles

| Données | Cas où la donnée est nécessaire | | | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|--|---|--|
| | Choix A (voir 6.1.2.1) | Choix B (voir 6.1.2.2) | Choix C (voir 6.1.2.3) | | | |
| Consommation fuel annuelle | X | X | | Données Agreste | Données exploitant | Factures fuel exploitation |
| Consommation essence annuelle | X | X | | Données Agreste | Données exploitant | Factures essence exploitation |
| Consommation gazole annuelle | X | X | | Données Agreste | Données exploitant | Factures gazole exploitation |
| Type d'intervention culturale | | | X | | Données exploitant | Parc matériel de l'exploitation Consommation de carburants relevé sur l'exploitation |
| Nombre d'interventions par type | | | X | | Données exploitant | Parc matériel de l'exploitation Consommation de carburants relevée sur l'exploitation |

X : Assurer un suivi

Tableau 8: données descriptives des consommations de carburants pour séchage des récoltes:

| Données | RE Séchage ferme et RE stockage ferme | RE Séchage OS | Base de données à utiliser pour la référence générique | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données |
|---|--|----------------------|---|--|---|
| Type de produit récolté séché | | X | | Données exploitations | Livraisons OS |
| Quantité de produit séché | X | X | | Données exploitations | Livraisons OS |
| Humidité initiale (H_{ref} ou H_{projet}) | | X | Référence OS (Humidité moyenne livraison) | Données mesurées à la livraison OS | Données mesurées à la livraison OS |
| Humidité finale ($H_{objectif}$) | | X | Référence OS | Données OS | Données OS |
| Conso combustible par tonne d'eau | | X | Données références issues d'abaques | Consommation de l'équipement exploitation | Consommation relevée pour l'installation de séchage stockage |
| Conso par unité de produit | X (Conso ref ou projet) | | Données références issues d'abaques | Consommation exploitation | Consommation relevée pour l'installation de séchage stockage |

Tableau 9 : Données nécessaires aux calculs des indicateurs obligatoires de co-bénéfices, et éléments de vérification :

| Enjeux | Indicateur à suivre (évolution au cours du projet, de T0 à T5) | Source des données à utiliser pour le calcul en phase de projet | Documents justificatifs pour la vérification des données (en regard des équations de calcul) |
|---|---|--|---|
| Consommation d'énergie non renouvelable | Epuisement des ressources fossiles en MJ / an | Données exploitant | <ul style="list-style-type: none"> - Relevé des consommations sur l'exploitation, ou cahier d'enregistrement des interventions culturales. - Parc matériel disponible sur l'exploitation et factures détaillées des interventions sous traitées en prestation. |
| Qualité de l'air | Emission d'ammoniac dans l'air | Données exploitant, cahier de fertilisation et plan d'épandage. | <ul style="list-style-type: none"> - Factures d'achat des engrais minéraux et organiques, caractéristiques produits identifiées sur factures ou étiquettes produits, - Parc matériels d'épandage présents sur l'exploitation ou factures détaillée en cas de prestation d'épandage. |
| Qualité des eaux | Lixiviation de nitrate | Données exploitant, cahier de fertilisation et plan d'épandage. | Idem vérification pour la qualité de l'air + analyse sol (texture, teneurs N et C organique) |
| Pressions sur des ressources peu renouvelables et phosphore | Utilisation moyenne du phosphore minéral et organo-minéral (guano) en kg P ₂ O ₅ /ha/an | Données exploitant, cahier de fertilisation. | Factures d'achat des engrais minéraux et organo-minéraux phosphatés. |
| Pressions Phytos | Calcul d'IFT | Données exploitant, cahier d'enregistrement des traitements phytosanitaires. | Interventions relevées dans le cahier d'enregistrement phytosanitaire : pour chaque intervention, le produit PPP, dose/ha, culture traitée, cible du traitement. |

| | | | |
|---|--------------------|--|---|
| Sensibilité à l'érosion | Facteur C | - | <ul style="list-style-type: none"> - Cartographie GIS-SOL - Déclarations PAC (proportions des différentes cultures dans l'assolement) - Factures d'achats de semences (proportion de couverts hivernaux) - Cahier d'enregistrement des interventions culturales (proportions des types de travail du sol pour implantation des cultures et couverts) - Parc matériel de travail du sol de l'exploitation |
| Consommation en eau en cas d'irrigation | Consommation d'eau | Données exploitant, cahier d'enregistrement mensuel des irrigations. | Factures des consommations d'eau des matériels d'irrigation. Cahier d'enregistrement. |

Annexe 2 : Pouvoir de Réchauffement Global des gaz à effet de serre

cf. pièce joint : *LBC_Méthode GC_Annexe02_referentiel PRG.xlsx*

Annexe 3 : Références nécessaires liées aux engrais minéraux et organiques

cf. pièces-jointes : *LBC_Methode GC_Annexe03_referentiel engrais.xlsx*

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

Annexe 4 : Références nécessaires liées aux cultures

cf. pièces-jointes : *LBC_Methode GC_Annexe04_referentiel cultures.xlsx*

Annexe 5 : Méthode de calcul de la consommation de carburant attribuée à chaque atelier

1.2. Carburants

Afin de calculer la consommation de carburants attribuée à chaque atelier, il est nécessaire d'avoir les données d'entrée (=indicateurs de pratiques) suivantes :

- La consommation à l'échelle de l'exploitation : $Carbu_{totale}$
- La consommation des ateliers hors-sol (s'il y a et si c'est sur le même compteur que l'exploitation) : $Carbu_{volaille}$ et $Carbu_{porcs}$. Des valeurs par défaut sont également proposées, à modifier si des données plus précises sont disponibles (Tableau 3).
- La consommation liée à l'irrigation : $Carbu_{irrigation}$

Guide GES'TIM+
Projet réalisé par Arvalis, en partenariat avec l'Idéale, le Ctifl, l'Ifv, l'Itavi, l'Ifip et Terres Inovia. Avec la participation financière de l'ADEME - Agence de la transition écologique.

Juin 2020.

- La consommation de carburants liée aux travaux réalisés par et pour des tiers :
 - Le carburant lié aux travaux réalisés par des tiers ($Carbu_{travaux_par_tiers}$) est ajouté à la consommation de carburants totale,
 - Le carburant lié aux travaux réalisés pour des tiers ($Carbu_{travaux_pour_tiers}$) est soustrait à la consommation de carburants totale.

Les consommations de carburants liées aux ateliers hors-sol sont déduites de la consommation totale à l'échelle de l'exploitation afin de connaître la consommation de carburants de l'exploitation hors ateliers spécifiques ($Carbu_{exploitation}$) :

$$Carbu_{exploitation} \text{ (litres/an)} = Carbu_{totale} \text{ (litres/an)} - Carbu_{volaille} \text{ (litres/an)} - Carbu_{porcs} \text{ (litres/an)} + Carbu_{travaux_par_tiers} \text{ (litres/an)} - Carbu_{travaux_pour_tiers} \text{ (litres/an)}$$

Équation 7: Calcul de la consommation de carburants, hors ateliers hors-sol

A partir de la consommation de carburants de l'exploitation, hors ateliers hors-sol ($Carbu_{exploitation}$), des clés de répartition (% d'allocation) sont utilisées pour connaître les consommations de carburants affectées à chaque atelier : **bovin lait, bovin viande, cultures/fourrages de vente**.

La répartition de la consommation de carburants entre les ateliers d'une exploitation s'opère de la façon suivante (Institut de l'Elevage, 2010) :

3. Détermination de la **consommation théorique** en carburants pour chaque atelier (bovin lait, bovin viande et cultures/fourrages de vente) selon des valeurs repères (Tableau 5) :

| Valeur repères pour la consommation de carburants (VR) | | | |
|--|---------------------|-----|----------------|
| Animaux | Bovin lait | 70 | EQF/UGB |
| | Bovin viande | 50 | EQF/UGB |
| Surfaces | 100% foin | 21 | EQF/ha SFP |
| | <5% maïs | 24 | EQF/ha SFP |
| | entre 5 et 25% maïs | 38 | EQF/ha SFP |
| | >25% maïs | 84 | EQF/ha SFP |
| | Cultures | 120 | EQF/ha culture |

Tableau 5: Valeurs repères pour déterminer les consommations théoriques en carburants (Source : Dires d'expert selon résultats obtenus sur la BDD Inosys et adapté de (Institut de l'Elevage, 2010))

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

Les valeurs concernant les surfaces ont été adaptées de (Institut de l'Elevage, 2010) pour prendre en compte les travaux réalisés par des tiers. Cette adaptation a été faite selon les observations faites sur les résultats de la base de données Inosys.

Un atelier animal est défini comme étant le troupeau et les surfaces utilisées par celui-ci (surfaces fourragères et surfaces en cultures autoconsommées). Ainsi, les consommations de carburants liées aux surfaces utilisées par les animaux sont prises en compte dans l'atelier animal :

Carbu_{atelier BL théo} (EQF/an) = UGB_{BL} (UGB) * VR_{BL} (EQF/UGB) + Surf_{fourrages BL} (ha) * VR_{fourrages} (EQF/ha) + Surf_{cultures BL} (ha) * VR_{cultures} (EQF/ha)

Carbu_{atelier BV théo} (EQF/an) = UGB_{BV} (UGB) * VR_{BV} (EQF/UGB) + Surf_{fourrages BV} (ha) * VR_{fourrages} (EQF/ha) + Surf_{cultures BV} (ha) * VR_{cultures} (EQF/ha)

Carbu_{atelier cultures de vente théo} (EQF/an) = Surf_{fourrages vendus} (ha) * VR_{fourrages} (EQF/ha) + Surf_{cultures vendues} (ha) * VR_{cultures} (EQF/ha)

Où

VR_i sont les valeurs repères du Tableau 5.

Surf_{fourrages i} est la surface en fourrage utilisée par l'atelier i

Surf_{cultures i} est la surface en cultures utilisée par l'atelier i

Équation 8: Calcul de la consommation théorique de carburants de chaque atelier

4. Calcul du % de répartition (allocation) pour chaque atelier :

%Allocation_{atelier BL} = Carbu_{atelier BL théo} / (Carbu_{atelier BL théo} + Carbu_{atelier BV théo} + Carbu_{atelier cultures de vente théo})

%Allocation_{atelier BV} = Carbu_{atelier BV théo} / (Carbu_{atelier BL théo} + Carbu_{atelier BV théo} + Carbu_{atelier cultures de vente théo})

%Allocation_{atelier cultures de vente} = Carbu_{atelier cultures de vente théo} / (Carbu_{atelier BL théo} + Carbu_{atelier BV théo} + Carbu_{atelier cultures de vente théo})

Équation 9: Calcul de la répartition de la consommation de carburants entre les ateliers

5. Le pourcentage théorique obtenu est alors appliqué à la consommation réelle de l'exploitation (Carbu_{exploitation}) pour obtenir la consommation réelle pour chaque atelier :

Carbu_{atelier BL} (litres/an) = Carbu_{exploitation} (litres/an) * %Allocation_{atelier BL}

Carbu_{atelier BV} (litres/an) = Carbu_{exploitation} (litres/an) * %Allocation_{atelier BV}

Carbu_{atelier cultures de vente} (litres/an) = Carbu_{exploitation} (litres/an) * %Allocation_{atelier cultures de vente}

Équation 10: Calcul de la consommation réelle de carburants de chaque atelier

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

Annexe 6 : Références nécessaires liées aux combustibles fossiles

cf. pièces-jointes : *LBC_Methode GC_Annexe06_referentiel combustibles.xlsx*

Annexe 7 : Références pour le calcul des RE_{aval}

Références pour le calcul des RE_{séchage OS}

Valeurs des références nécessaires pour le calcul de la consommation du séchage par les OS

| Culture | Hi_objectif (en %) Source : Syndicat de Paris INCOGRAIN | Seuil_séchage (en %) source CETIOM : « Graines oléagineuses : du stockage à l'alimentation animale » |
|----------------|--|--|
| Maïs | 15 | 15 |
| Soja | 14 | 18 |
| Colza | 9 | 15 |
| Tournesol | 9 | 14 |

Annexe 8 : Calculs des RE *stockage*, précisions sur certains choix méthodologiques

• **Utilisation des modèles de simulations d'évolution de stock de carbone du sol**

Il existe un consensus sur le fait qu'il n'est en pratique pas possible de déterminer de manière directe (par des mesures au champ) la variation de stock de carbone organique du sol d'une parcelle à court terme (3 à 5 ans) après l'introduction de pratiques stockantes. Des études ont montré qu'avec un effort d'échantillonnage conséquent de 10 échantillons par parcelle, il faut attendre environ 24 ans après la mise en place de la pratique pour détecter une évolution de stock de carbone (Schrumpf *et al.*, 2001 ; IPCC, 2019 ; Yogo *et al.*, 2020). Les difficultés d'estimation des évolutions de stocks de carbone par des mesures au champ sont dues en particulier à la variabilité spatiale (Smith P. *et al.*, 2019). Autrement dit, du fait des incertitudes liées aux échantillonnages et aux analyses de sol, et de la durée courte (5 ans) des Projets LBC, il est impossible, avec un effort d'échantillonnage acceptable, de mesurer l'effet du Projet par des comparaisons de valeurs de stock de C mesurées *in situ* en début et fin de Projet.

Le calcul de la valeur de Delta_StockC est donc à effectuer par la mise en œuvre de modèles de simulations de stockage du carbone dans les sols. Ces modèles permettent d'obtenir des résultats d'évolution de stock de carbone, en tC/ha sur la durée des Projets. De tels modèles ont été construits, paramétrés et validés dans les contextes des grandes cultures français. Une liste des modèles utilisables, et de leur domaine de validité, est fournie en Annexe 9. Les données d'entrée nécessaires sont indiquées dans le tableau de l'Annexe 1. Les critères de choix utilisés pour construire cette liste de modèle ont été :

- de disposer de modèles capables de simuler les effets des changements de pratiques prévus par les leviers proposés par la présente Méthode (choix d'espèces de cultures principales, restitution ou export des résidus, présence ou absence de couverts, biomasse restituée par les couverts, apports de MAFOR) ;
- de pouvoir effectuer des calculs à priori, au moment de la mise en place du Projet,
- de disposer de modèles validés en contexte français à la date d'écriture de la Méthode.

Au regard de l'avancée des connaissances scientifiques, cette liste est évolutive et pourra intégrer les versions améliorées des modèles cités ou de nouveaux modèles.

Pour estimer les RE *stockage* d'un Projet ou Projet collectif, un seul et unique modèle choisi parmi la liste devra être utilisé.

Les variations de stocks de carbone devront être modélisées sur chacun des Systèmes de Culture des exploitations pour les 5 années du Projet. Les outils devront fournir des stocks de carbone en fin de Projet, soit au bout des 5 années simulées par les modèles. Afin de comptabiliser l'effet des pratiques sur l'ensemble du Système de culture, la rotation complète devra être prise en compte (celle-ci peut avoir une durée supérieure à 5 ans). Pour cela, soit une fréquence de présence de chacune des cultures de la rotation pourra être utilisée par les outils mettant en œuvre les modèles, soit la rotation devra être simulée dans son ensemble et les résultats devront ensuite être linéarisés afin d'annuler un biais éventuel lié à une culture ou à une année donnée.

• **Delta StockC : un différentiel de stock entre deux scénarios de pratiques**

Afin de limiter les incertitudes d'estimation des stocks de carbone, la Méthode consiste en l'estimation de différentiels de stocks de carbone entre deux scénarios en fin de Projet. En

effet, pour le modèle AMG, le rapport d'étude de Yogo *et al.* 2020 précise que l'erreur du modèle (RMSE) est réduite de 30% pour une estimation d'un différentiel de stocks entre deux pratiques plutôt que l'utilisation des stocks de C en valeur absolue.

Pour estimer ce différentiel, les deux scénarios simulés sont le scénario de référence et le scénario Projet. Ces deux scénarios de pratiques étant simulés pour le même sol et le même stock de carbone initial.

A noter que le scénario Projet correspond aux pratiques réellement mises en place durant la phase de Projet. Il inclut donc les leviers stockage et les leviers émissions.

- **Influence des données d'entrée des modèles sur les résultats**

Dans le cas de la Méthode LBC Grandes Cultures, les RE_{stockage} se calculent par un différentiel entre deux stocks de carbone. L'étude conduite dans le cadre du projet SOLÉBIOM (2015-2018) et l'étude INRAe (Yogo *et al.*, 2020) ont mis en évidence que dans ce cas, ce sont les entrées de carbone dans le système de culture qui conditionnent les classements et en grande partie les écarts de stocks de carbone entre des pratiques différentes. Dans la Méthode LBC Grandes Cultures, l'attention sur la précision des données servant à l'estimation des flux de C par les modèles (entrées de C humifié et sorties de C minéralisé) doit être plus forte. Il est à noter que les deux études citées ci-dessus ont été conduites avec le modèle AMG-V2 (2018), modèle pour lequel le rendement des cultures est renseigné par l'utilisateur. Les résultats seraient donc à vérifier pour des modèles dont les entrées de carbone sont estimées par le modèle lui-même (cas de STICS) ou via la télédétection. Au vu de l'architecture des modèles proposés en Annexe 9, l'idée que le classement des SdC simulés dépende en grande partie des entrées de carbone dans les sols reste valable.

Tableau : Recommandations pour l'acquisition des données d'entrée du modèle AMGV2 pour minimiser l'incertitude sur le stockage de carbone résultant de pratiques stockantes (différence de stock entre scénarios de pratiques)

| Paramètres ou variables d'entrées | Effet des incertitudes sur la différence de stock de C à 5 ans |
|--|--|
| Stock de carbone initial | Faible |
| Fraction de C stable | |
| Pluviométrie | |
| Température | Moyen |
| pH, argiles, CaCO ₃ , ratio C/N | |
| Biomasse des cultures intermédiaires* | Elevé |
| Quantité de carbone des MAFOR et sa stabilité (K1_MAFOR) | |

(source : Yogo *et al.*, 2020)

*L'étude Yogo *et al.* ne donne pas d'information sur l'effet des incertitudes des biomasses des cultures principales sur les résultats de différences de stock de C. Dans le modèle AMG-V2, les modes de calculs des restitutions de carbone par la biomasse des couverts et des résidus de cultures étant le même (utilisation de coefficients allométriques à partir du rendement des cultures ou couverts), il sera considéré que l'effet est élevé.

En suivant les recommandations pour l'acquisition des données d'entrées, qui tiennent compte de l'effet des incertitudes des données sur les résultats, différents moyens de récolter les données sont proposés en partie 6.3.3. Des niveaux de rabais, appliqués aux RE stockage, qui dépendent du mode de recueil des données et du besoin de précision de celle-ci sont précisés en partie 6.4.

Pour le suivi des Projets, une attention particulière sera donc donnée au suivi des productions de biomasses des couverts et des cultures principales et aux utilisations des MAFOR. Dans le cas de suivis simplifiés pour certains systèmes de culture, la priorité sera donc donnée aux suivis des entrées de C. (voir partie 6.3.4)

- **Épaisseur de sol considérée**

L'épaisseur de sol sur laquelle est comptabilisé le stockage du carbone est l'épaisseur 0-30 cm. Ce choix est déterminé par plusieurs arguments :

- Le GIEC utilise l'épaisseur 0-30 cm pour les études conduites sur le stockage de carbone et les calculs des inventaires nationaux d'émissions.
- Il a été montré que près de 75% du carbone récent (<20 ans) présent dans le sol est concentré dans l'épaisseur 0-30 cm (méta-analyse conduite sur 41 essais de longue durée cultivés, Balesdent *et al.*, 2016). Au vu de la durée des Projets, c'est à l'évaluation de ce carbone récent que la Label Bas-Carbone s'intéresse.
- Enfin, les modèles de simulation de stockage du carbone sont paramétrés, validés et utilisables sur les épaisseurs 0-30 cm.

Dans le cas de sol dont l'épaisseur est inférieure à 30 cm, il convient de sélectionner un modèle qui peut faire des calculs pour des épaisseurs de sol inférieures à 30 cm. C'est le cas des modèles sélectionnés et proposés en Annexe 9.

- **Notion de maintien de stock et de stock complémentaire**

Ces deux notions sont définies ici à titre informatif. Dans cette Méthode, elles ne peuvent être utilisées indépendamment l'une de l'autre. Des schémas dans le tableau 15 de la méthode permettent d'illustrer ces notions.

Le stockage complémentaire (*Scompl*) est un supplément de carbone dans le sol atteint au bout d'un temps donné grâce à une pratique mise en œuvre en comparaison à un stock initial. Ici, on définit le stockage complémentaire comme l'écart de stock entre le stock de C à l'initialisation du Projet et le stock de C atteint en fin de Projet grâce à la mise en œuvre des leviers.

Pour un système de culture, la valeur de stock de carbone de l'état initial du Projet ne correspond pas à un stock de carbone dans le sol immuable et stable dans le temps ; et cela même si les pratiques ne changent pas. Cette valeur de stock initial est liée aux pratiques avant-Projet. Le scénario de référence est utilisé afin de prolonger ces pratiques passées dans le futur et d'observer la tendance d'évolution de stock pour ce scénario de référence. Cette évolution est indépendante du Projet. Le stock de carbone peut rester à l'équilibre, évoluer à la hausse ou au contraire à la baisse. La poursuite des pratiques de références peut donc conduire à une baisse du stock de carbone du sol. Des exploitants, mettant en œuvre des pratiques permettant de maintenir ce stock initial mieux que ne le font les pratiques de la référence, assurent **un service de maintien de stock (*Smaintien*)** qui sera évalué et pris en compte par la Méthode.

Le calcul de Delta_StockC peut être illustré par la décomposition de cet écart de stock en un stockage complémentaire et un stockage de maintien :

$$\Delta_{stockC} = \sum_{i=1}^n (S_{compl_i} + S_{maintien_i}) \cdot Surf_{sdc^i}$$

Avec :

- Δ_{stockC} = évaluation de l'évolution du stock de carbone au regard de la référence (service de maintien) et de l'état initial (stockage additionnel) sur l'exploitation (en tC)
- S_{compl_i} = stockage complémentaire pour le système de culture i (tC/ha)
- $S_{maintien_i}$ = service de maintien de stock pour le système de culture i (tC/ha)
- $Surf_{sdc^i}$ = Surface du système de culture i (ha)
- n = nombre de systèmes de culture sur l'exploitation pour lesquels des calculs d'évolution de stock sont à effectuer

Equation : Calcul du stockage de carbone permis par le Projet sur l'exploitation

Calcul du stockage complémentaire par rapport à l'état initial :

$$S_{compl_i} = S_{fin_i} - S_{ini_i}$$

Avec :

- S_{compl_i} = stockage complémentaire pour le système de culture i (tC/ha)
- S_{fin_i} = stock de carbone en fin de Projet pour le système de culture i (étape 2) (tC/ha)
- S_{ini_i} = stock de carbone en début de Projet pour le système de culture i (tC/ha)

Equation : Calcul du stockage complémentaire

S_{compl_i} peut être positif ou négatif

Si $S_{compl_i} > 0$ cela indique que le projet permet de stocker du C dans le sol en comparaison avec l'état initial.

Si $S_{compl_i} < 0$ cela indique que le projet ne stocke pas de carbone par rapport à l'état initial. Il faut donc comparer le résultat avec l'évolution de la référence pour prendre en compte le service de maintien de stock.

Calcul du service de maintien par rapport à la référence :

$$S_{maintien_i} = S_{ini_i} - S_{fin_{ref\ i}}$$

Avec :

- $S_{maintien_i}$ = maintien de stock pour le système i en comparaison à la référence
- S_{ini_i} = stock de carbone en début de projet pour le système de culture i (tC/ha)
- $S_{fin_{ref\ i}}$ = stock de carbone à la date de fin de projet pour la référence (étape 1) (tC/ha)

Calcul du service de maintien de stock

$S_{maintien_i}$ peut être positif ou négatif.

Si $S_{maintien_i} > 0$ cela indique que la référence est déstockante. Le projet peut déstocker moins que la référence. L'effort de maintien du stock antérieur sera alors pris en compte.

Si $S_{maintien_i} < 0$ cela indique que la référence est stockante, la facilité du maintien sera prise en compte en ne comptabilisant que le stockage additionnel supérieur à la ligne de base.

Annexe 9 : Liste des modèles de bilan humique utilisables et domaines de validité

| | AMG | STICS | AqYield_NC (MAELIA) |
|--|--|---|---|
| Contacts | Consortium AMG (Agrotransfert, Arvalis, LDAR, INRAE) et partenaires associés (Terres Inovia) | INRAE | INRAE |
| Version à utiliser | Modèle AMG V2 (2018) ou les outils X-AMG intégrant le modèle et validés par le consortium tels que SIMEOS-AMG ou CHN-AMG | V9.1 | En attente publication et de la validation de l'outil |
| cultures sur lesquelles il est valide | 146 cultures, contacter le consortium AMG pour le détail (Cultures Principales : 60, Couverts Intermédiaires : 45, Couverts dérochés : 25) | 8 cultures: BTH, Colza, Tournesol, Maïs Grain et fourrage, Betterave, Pois de Printemps, Pois d'Hiver, Féverole, Soja, Pomme de Terre | Mêmes cultures que STICS (sauf Betteraves et Pommes de Terre) |
| Levier couvert | Utilisable | Utilisable | Utilisable |
| Levier prairies temporaires | Utilisable seulement pour les prairies temporaires et la luzerne <3ans | Non utilisable avec la version standard (v9.1). | Non utilisable |
| Levier résidus de culture | Utilisable | Utilisable | Utilisable |
| Levier augmentation biomasse | Utilisable via rendement | Utilisable | Utilisable |
| PRO, MAFOR | Utilisable | Quelques produits paramétrés en standard (v9.1). | Utilisable |
| Equations consultables sur : | Clivot et al. (2019) Page web du modèle sur le site INRAE avec les équations décrivant la V2 d'AMG : https://www6.hautsdefrance.inrae.fr/agroimpact/Nos-dispositifs-outils/Modeles-et-outils-d-aide-a-la-decision/AMG-et-SIMEOS-AMG/AMG-model-description Projet Solébiom (2015-2018) Levavasseur et al. (2020) | https://www6.paca.inrae.fr/stics/ | A venir |

Annexe 10 : Evaluations des modèles AMG et STICS

- **Evaluation du modèle AMG (Clivot *et al.*, 2019) :**

| Model | Reference | Duration (years) | Soil Depth (cm) | Nb of sites (country) | Mean RMSE |
|------------|----------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|
| AMG | Saffih-Hdadi and Mary 2008 | 18-35 | 20-50 | 9 (France, Europe, Thailand) | 1.6 t SOC ha ⁻¹ |
| | Clivot <i>et al.</i> 2019 | 8-41 | 20-30 | 20 (France) | 2.6 t SOC ha ⁻¹ |

(Source : Clivot *et al.* 2019)

Ces évaluations donnent l'information des erreurs de simulations de stocks de carbone, en valeur absolue, pour différents essais long terme pour lesquels les stocks de carbone ont été mesurés précisément. La RRMSE est de 5.3%.

- **Evaluation de STICS et AMG sur un même jeu de données :**

En 2020, une étude a été conduite afin d'estimer la RRMSE des modèles STICS et AMG sur un même jeu de données, 6 essais long terme européens en sols nus et 3 essais long terme français en sols cultivés.

Les résultats obtenus (Clivot, Ferchaud *et al.*, 2020) sont comparables pour AMG et STICS avec des RRMSE respectivement de 4.3% (1.5 t C/ha) et 6.3% (2.4 t C/ha).

- **Evaluation d'AMG en comparaison à d'autres modèles internationaux :**

Le projet CSOPRA a évalué la performance de différents modèles sur des mêmes jeux de données. Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus sur les performances des modèles sur l'estimation des variations de stocks de carbone.

| | R ² | RMSPE |
|---|----------------|-------|
| AMG | 0.56 | 3.27 |
| RothC Relaxed_SAACins (forçage des entrées issues des statistiques agricoles) | 0.54 | 3.31 |
| RothCRelaxed (initialisation avec relaxation, forçage avec observations de rendements) | 0.47 | 3.47 |
| RothC_SAACins | 0.32 | 4.50 |
| RothC | 0.26 | 4.69 |
| CenturyUnforced (Century avec module de production de biomasse) | 0.26 | 5.10 |
| Century forcé (estimation du carbone entrant sur la base de données de rendements) | 0.11 | 9.66 |
| ORCHIDEE | 0.05 | 7.67 |

(Source : Martin M. *et al.*, 2019, Projet CSOPRA)

- **Evaluation des autres modèles internationaux :**

| Modèle | Références citées | Sites | RRMSE des stocks de C organique |
|---------|-------------------------------------|-------|---------------------------------|
| Century | Falloon and Smith 2002 | 6 | 6.8% |
| Century | Dimassi <i>et al.</i> 2018 | 6 | 13.1% |
| Roth C | Falloon and Smith 2002 | 6 | 9.9% |
| CCB | Franko <i>et al.</i> 2011 | 40 | 8.5% |
| C-TOOL | Taghizadeh-Toosi <i>et al.</i> 2014 | 3 | 6.1% |

(source : Clivot *et al.*, 2019 ; Clivot, Ferchaud *et al.*, 2020)

Annexe 11 : Valeur des aléas d'érosion

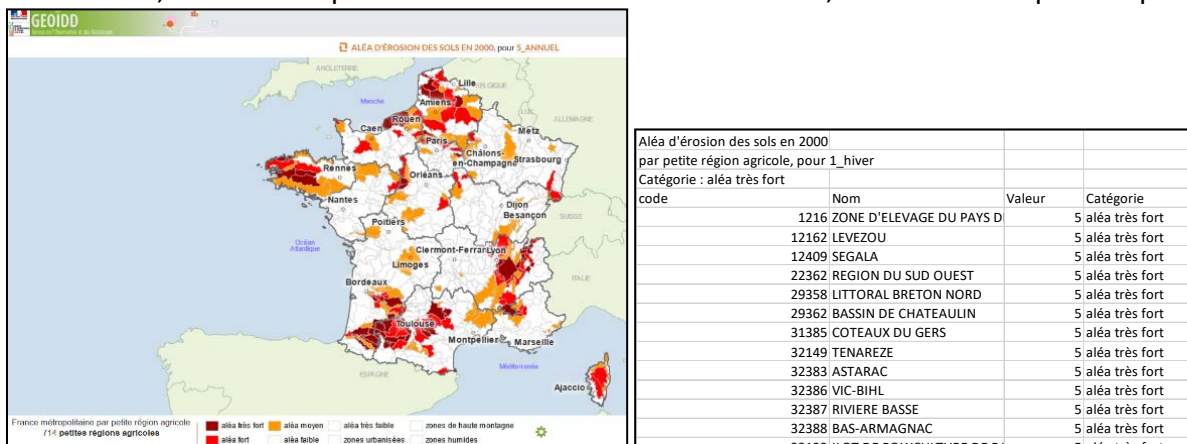
Une valeur d'aléas d'érosion sera définie pour l'exploitation considérée selon la petite région agricole où elle se situe, à partir des données du GIS-SOL disponibles et mobilisables en ligne pour les petites régions agricoles :

http://geoidd.developpement-durable.gouv.fr/geoclip_stats_o3/mobile.php#d3Map



Aller dans « Environnement / Sols et occupation des sols / Description des sols », chercher « Aléas d'érosion » et sélectionner la petite région agricole correspondante pour identifier les zones à aléas moyens ou forts (sur les périodes hiver ou/et printemps).

Les zones éligibles à prendre en compte sont celles potentiellement affectées par une érosion significative. Elles sont alors identifiées comme zones à aléa qualifié de « moyen » à « très fort », c'est à dire que la valeur d'aléa est ≥ 3 en automne, en hiver ou au printemps.



Extraits d'un exemple de données facilement exportables depuis le site. *Source GIS Sol-Inra-SDES, 2000*

La liste des cantons avec aléa d'érosion ≥ 3 est présente dans le tableau Excel en pièce-jointe : *LBC_Methode GC_Annexe11_liste cantons alea erosion.xlsx*

Annexe 12 : Références pour le calcul des indicateurs de biodiversité

Tableau 1 : Classification des cultures pour quantifier la diversité des systèmes de culture.

| Culture | Famille | Cycle | Peuplement (sarclé* ou classique) | Classe |
|------------------------------------|------------------|-----------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Avoine de printemps | Poaceae | printemps | classique | Poaceae_printemps_classique |
| Blé tendre d'hiver | Poaceae | hiver | classique | Poaceae_hiver_classique |
| Blé tendre de printemps | Poaceae | printemps | classique | Poaceae_printemps_classique |
| Blé dur d'hiver | Poaceae | hiver | classique | Poaceae_hiver_classique |
| Blé dur de printemps | Poaceae | printemps | classique | Poaceae_printemps_classique |
| Épeautre | Poaceae | hiver | classique | Poaceae_hiver_classique |
| Maïs grain | Poaceae | printemps | sarclé | Poaceae_printemps_sarclé |
| Maïs ensilage | Poaceae | printemps | sarclé | Poaceae_printemps_sarclé |
| Orge d'hiver | Poaceae | hiver | classique | Poaceae_hiver_classique |
| Orge de printemps | Poaceae | printemps | classique | Poaceae_printemps_classique |
| Seigle | Poaceae | hiver | classique | Poaceae_hiver_classique |
| Sorgho | Poaceae | printemps | classique | Poaceae_printemps_classique |
| Triticale | Poaceae | hiver | classique | Poaceae_hiver_classique |
| Autres céréales d'hiver | Poaceae | hiver | classique | Poaceae_hiver_classique |
| Autres céréales de printemps | Poaceae | printemps | classique | Poaceae_printemps_classique |
| Graminées (ray-grass,...) | Poaceae | pérennes | classique | Poaceae_pérennes_classique |
| Graminées / légumineuses (méteil) | Poaceae/Fabaceae | hiver | classique | Poaceae/Fabaceae_hiver_classic |
| Graminées / légumineuses (méteil) | Poaceae/Fabaceae | printemps | classique | Poaceae/Fabaceae_printemps_c |
| Graminées / légumineuses (prairie) | Poaceae/Fabaceae | pérennes | classique | Poaceae/Fabaceae_pérennes_cl |
| Féverole d'hiver | Fabaceae | hiver | sarclé | Fabaceae_hiver_sarclé |
| Féverole de printemps | Fabaceae | printemps | sarclé | Fabaceae_printemps_sarclé |
| Lentille | Fabaceae | printemps | classique | Fabaceae_printemps_classique |
| Luzerne | Fabaceae | pérennes | classique | Fabaceae_pérennes_classique |
| Pois d'hiver | Fabaceae | hiver | classique | Fabaceae_hiver_classique |
| Pois de printemps | Fabaceae | printemps | classique | Fabaceae_printemps_classique |
| Pois chiche | Fabaceae | printemps | classique | Fabaceae_printemps_classique |
| Soja | Fabaceae | printemps | classique | Fabaceae_printemps_classique |
| Trèfle | Fabaceae | pérennes | classique | Fabaceae_pérennes_classique |
| Autres légumineuses d'hiver | Fabaceae | hiver | classique | Fabaceae_hiver_classique |
| Autres légumineuses de printemps | Fabaceae | printemps | classique | Fabaceae_printemps_classique |
| Colza d'hiver | Brassicaceae | hiver | classique | Brassicaceae_hiver_classique |
| Tournesol | Asteraceae | printemps | sarclé | Asteraceae_printemps_sarclé |
| Betterave sucrière | Chenopodiaceae | printemps | sarclé | Chenopodiaceae_printemps_sarclé |
| Betterave fourragère | Chenopodiaceae | printemps | sarclé | Chenopodiaceae_printemps_sarclé |
| Sarrasin | Polygonaceae | printemps | classique | Polygonaceae_printemps_classique |
| Pomme de terre | Solanaceae | printemps | sarclé | Solanaceae_printemps_sarclé |
| Chanvre | Cannabaceae | printemps | classique | Cannabaceae_printemps_classique |
| Pavot (oeillette) | Papaveraceae | printemps | classique | Papaveraceae_printemps_classique |
| Lin oléagineux d'hiver | Linaceae | hiver | classique | Linaceae_hiver_classique |
| Lin oléagineux de printemps | Linaceae | printemps | classique | Linaceae_printemps_classique |
| Lin fibre d'hiver | Linaceae | hiver | classique | Linaceae_hiver_classique |
| Lin fibre de printemps | Linaceae | printemps | classique | Linaceae_printemps_classique |

* c'est-à-dire faible densité et fort écartement

Ou voir onglet du fichier xls de l'annexe 6

Tableau 2 : Classification des couverts/cultures selon leurs intérêts pour l'entomofaune (apports de ressources)

| Cultures | Pollen (Pp) | Nectar floral (Pnf) | Nectar extra-floral (Pnef) |
|---------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| Avoine | 0 | 0 | 0 |
| Betterave sucrière | 0 | 0 | 0 |
| Blé | 0 | 0 | 0 |
| Cameline | NA | NA | 0 |
| Chanvre | 1 | 0 | 0 |
| Colza d'hiver | 4 | 4 | 0 |
| Épeautre | 0 | 0 | 0 |
| Fenugrec | NA | NA | 0 |
| Féverole | 0 | 1 | 1 |
| Gesse | NA | NA | 0 |
| Lentille | NA | NA | 0 |
| Lentille fourragère | NA | NA | 0 |
| Lin | 1 | 0 | 0 |
| Lotier corniculé | NA | 1 | 0 |
| Lupin jaune | 2 | NA | 0 |
| Luzerne | 1 | 4 | 0 |
| Maïs | 1 | 0 | 0 |
| Mélicot | 3 | 4 | 0 |
| Millet | 0 | 0 | 0 |
| Minette | NA | 2 | 0 |
| Moha | 0 | 0 | 0 |
| Moutarde blanche | 3 | 2 | 0 |
| Moutarde brune | 3 | 1 | 0 |
| Navette fourragère | 2 | 2 | 0 |
| Nyger | 0 | 0 | 0 |
| Orge | 0 | 0 | 0 |
| Pavot (oeillette) | 5 | 0 | 0 |
| Phacélie | 1 | 5 | 0 |
| Pois | 1 | 2 | 0 |
| Pois chiche | NA | NA | 0 |
| Pomme de terre | 0 | 0 | 0 |
| Radis fourrager | 1 | 1 | 0 |
| Ray-grass d'Italie | 0 | 0 | 0 |
| Sainfoin | 3 | 3 | 0 |
| Sarrasin | 1 | 3 | 0 |
| Seigle | 0 | 0 | 0 |
| Soja | 0 | 0 | 0 |
| Sorgho | 0 | 0 | 0 |
| Sorgho fourrager | 0 | 0 | 0 |
| Tournesol | 1 | 2 | 0 |
| Trèfle blanc | 3 | 4 | 0 |
| Trèfle d'Alexandrie | 2 | 3 | 0 |
| Trèfle de Perse | 1 | 3 | 0 |
| Trèfle incarnat | 2 | 2 | 0 |
| Trèfle violet | 3 | 2 | 0 |
| Triticale | 0 | 0 | 0 |
| Vesce | 3 | 2 | 1 |
| Vesce velue | NA | 2 | 1 |

Source : Terres Inovia et INRAE.

Sur la base des connaissances actuelles, le tableau ci-dessous permet d'estimer le potentiel de l'espèce à produire du pollen et du nectar, sous réserve bien sûr qu'elle arrive à floraison (avant la destruction dans le cas des couverts) sauf pour les espèces à nectar extra-floral. Ne sont pas pris en compte les paramètres pédo-climatiques et les itinéraires techniques susceptibles de moduler l'expression de ce potentiel, particulièrement lorsque l'espèce est semée en tant que couvert d'interculture (en fonction de la date de semis et de la latitude, certaines espèces ne parviennent pas à fleurir avant l'hiver). Une autre limite de ce tableau est que les notations se basent sur des références scientifiques concernant principalement l'abeille domestique et non l'ensemble de l'entomofaune sauvage.

Tableau 3 : Nature des IAE et coefficients de conversion en surfaces géométriques développées

| Type d'IAE | Catégorie | Coefficient de conversion surface développée (m ²) |
|----------------------------------|--|--|
| Haies | 100m Linéaire de haie basse, largeur 2m (nb) | 600 |
| | 100m Linéaire de haie buissonnante, largeur 5m (nb) | 2000 |
| | 100m Linéaire de haie arborescente mono-spécifique, largeur 10m (nb) | 11000 |
| | 100m Linéaire de haie arborescente pluri-spécifique et poly-stratifiées (nb) | 13000 |
| Bosquets | Bosquets (ha) | 23000 |
| Arbres | nb Arbre isolé petit (Φ [7.5 – 22.5 cm]) | 145 |
| | nb Arbre isolé moyen (Φ [22.5 – 47.5 cm]) | 456 |
| | nb Arbre isolé gros ($\Phi \geq 47.5$ cm) | 931 |
| Arbres | Arbre (nb) | |
| Vergers | Densité 50-100 arbres | 23200 |
| | Densité 100-250 arbres | 23200 |
| Surface toujours en herbe | Peu productive | 10000 |
| | Productive | 10000 |
| Divers | ha Bandes enherbées ou bandes tampons en bordure de cours d'eau | 10000 |
| | 100 m linéaire Lisières de bois | 1200 |
| | 1 ha Bordures de champ | 10000 |
| | 1 ha Jachère | 10000 |
| | 1 ha Tourbières | 10000 |
| | 1 m périmètre de Mares et lavognes | 100 |
| | 1 m périmètre de Fossés et cours d'eau | 10 |
| | 1 m linéaire de Talus, Murets et terrasses | 10 |
| | Agroforesterie : 1 ha Sylvopastoralisme (Arbre moyen) | 55600 |
| | Agroforesterie : 1 ha Agrisylviculture (Arbre moyen) | 50160 |
| | 100 m linéaire Ripisylve | 5680 |

Source : Manneville 2014.

Manneville V., Chanséaume A., Amiaud B. (2014). *Biotex : une démarche d'évaluation multicritère de la biodiversité ordinaire dans les systèmes d'exploitation d'élevage et de polyculture-élevage*. Ed. Idele.

Annexe 13 : Données nécessaires au calcul des composantes du pouvoir nourricier

Le potentiel nourricier (ou performance nourricière) est le nombre de personnes potentiellement nourries par an par les matières premières produites par l'exploitation agricole, voire l'ensemble des exploitations agricoles d'un territoire donné. Il permet de rapporter les valeurs nutritionnelles (en énergie ou en protéines) de ces matières agricoles premières produites, aux besoins moyens d'un individu en énergie et en protéines, pour estimer le nombre de personnes qui peuvent être nourries par ces producteurs. Seules les matières premières agricoles valorisables en alimentation humaine sont prises en compte dans le calcul.

L'indicateur de performance nourricière été développé par le CÉRÉOPA pour son outil PerfAlim® (<https://www.perfalim.com>). Il s'agit d'appliquer la méthode de calcul de PerfAlim décrite sur le site en mobilisant les valeurs brutes mis à disposition en pièce jointe(*). Les données de ses composantes relatives à la production de protéines et d'énergie des ateliers grandes cultures d'une exploitation agricole sont ici fournies pour l'usage exclusif des calculs de la méthode Label Bas Carbone Grandes Cultures.

Un co-bénéfice du projet sera à mettre en avant si l'évolution de l'indicateur de potentiel nourricier du scénario projet (sur la moyenne des 3 dernières années) est égal ou supérieur à celui du scénario de référence spécifique (sur la moyenne des 3 années antérieures au projet). La comparaison des deux scénarios se fera via la somme (ramenée à l'hectare de la sole engagée) des quantités produites multipliées par leurs valeurs nutritionnelles (énergétiques d'une part et protéiques d'autre part) pour tous les produits exportés par l'exploitation agricole.

$PN = \text{somme} (Q_{MPA} \times VN_{MPA}) / (\text{Besoin nutritionnel moyen quotidien d'un individu} * 365)$

Avec :

PN : pouvoir nourricier ; MPA : Matières Premières Agricoles (blé, lait, vache allaitante, etc.) ; Q : quantité ; VN : valeur nutritionnelle (énergétique ou protéique)

Dans le cas particulier où l'exploitation agricole a également des ateliers élevages, Q_{MPA} est la quantité nette de MPA et le calcul doit donc prendre en compte la différence entre les produits vendus (animaux ou végétaux) et les produits achetés (matières premières pour alimentation animale, aliments composés et animaux vifs) :

$VN_{MPA} = (\text{Somme } Q_v \times VN - \text{somme } Q_a \times VN)$

Avec : Q_v : quantité de produits vendus et Q_a : quantité de produits achetés

(*) cf. tableau Excel : LBC_Méthode GC_Annexe13_calcul pouvoir nourricier.xlsx

Annexe 14 : Références pour le calcul des indicateurs de contribution positive sur des enjeux sociétaux

Références pour la contribution à la déforestation importée :

Les MRP (teneur en protéines supérieure à 15% de matière sèche) pouvant substituer l'utilisation de tourteaux de soja importé correspondent (i) aux matières premières et aliments composés consommés par l'exploitation agricole (pour l'alimentation animale) et (ii) aux matières premières et aliments composés identifiables pour l'utilisation en aval par des filières animales : via des contrats tracés de l'exploitation agricole, ou alors par défaut selon le pourcentage moyen de l'utilisation française de la matière première récoltée.

Tableau : Références MRP produites en France, avec des matières premières françaises :

| Matière premières riches en protéines (MRP) d'origine végétale utilisées en alimentation animale | Teneur en protéines sur matière brute (Références Feedtables) | CEp (par rapport au tourteau de soja importé à 0.46 de teneur en protéines) | Tf (Références Ecoalim) |
|--|---|---|-------------------------|
| Soja tourteau gras | 0.46 | 1.00 | 0.82 |
| Colza tourteau | 0.35 | 0.76 | 0.56 |
| Tournesol tourteau | 0.28 | 0.61 | 0.54 |
| Lin graine | 0.22 | 0.48 | 1 |
| Lin tourteau | 0.34 | 0.74 | 0.69 |
| Pois | 0.20 | 0.43 | 1 |
| Féverole | 0.25 | 0.54 | 1 |
| Lupin doux | 0.34 | 0.73 | 1 |
| Fourrages déshydratés | 0.19 | 0.41 | 1 |
| Drèches de céréales | 0.24 | 0.52 | 0.32 |
| Corn gluten feed | 0.21 | 0.46 | 0.25 |

- Le CEp est obtenu par l'équation suivante : $CEp_i = QNi / QNt_soja$, en se basant sur la table de composition française FeedTable (<https://www.feedtables.com>) pour la teneur en protéine sur matière brute de la matière première *i* et pour le tourteau de soja.
- La valeur du RatioMRPi (de 0 à 1) est le pourcentage de l'utilisation en MRP pour l'alimentation animale au sein des différents débouchés de la culture *i* source de MRP, selon les données tracées dans l'exploitation agricole (autoconsommation ou ventes), ou par défaut, selon les utilisations moyennes de la ferme France (ci-dessous Tableau 2).
- Le facteur de transformation Ft représentant la quantité de MRP issue de la culture récoltée *i* (par exemple la part de tourteaux issue de la trituration de graines).

Tableau : Valeurs par défaut pour Ratio MRP avec le pourcentage d'utilisation en alimentation animale par culture source de MRP sur la base de la ferme France (moyenne de 4 années, 2015-2019)

| Culture source de Matières premières Riches en Protéines (MRP) d'origine végétale | Quantité produite en France et transformée en MRP (moyenne 2015-2019) (x1000t) | Ratio MRP (% d'utilisation en AA au sein de tous les types d'utilisations de la production) |
|--|---|---|
| Soja | 325 | 87% |
| Lin | 35 | 100% |
| Tournesol | 1 299 | 98% |
| Colza | 5 094 | 99% |
| Pois | 446 | 72% |
| Féverole | 199 | 88% |
| Lupin blanc | 12 | 77% |
| Luzerne (fourrages déshydratés) | 771 | 27% |
| Blé tendre (en drèches) | 4 350 | 13% |
| Maïs grain (en drèches) | 550 | 4% |
| Maïs grain (en Corn gluten feed) | 2 130 | 16% |

Sources : Terres Univia, FranceAgriMer, Coop de France déshydratation, Cereopa

Références pour la contribution aux filières des biomatériaux

Que ce soit pour le chanvre ou le lin, les contrats passés avec le premier acheteur de la matière première (comme la chanvrière ou un organisme stockeur) permet de tracer la quantité concernée vers des productions de matériaux biosourcés. Si l'agriculteur n'a pas accès à un contrat stipulant la part alimentant le débouché biomatériau, par défaut, la quantité peut être calculée à partir du pourcentage moyen de la récolte de la culture qui alimente un type de débouché au niveau de la ferme France (tableaux ci-dessous).

Les références des produits et des valeurs d'impacts carbone des matériaux biosourcés et des équivalents pétrosourcés qu'ils peuvent substituer peuvent être mobilisées via des références spécifiques certifiées (ACV spécifique validée par une autorité officielle pour le produit concerné capable de substituer un matériau pétro-sourcé) ou les références des Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES) de référence pour le bâtiment, disponibles sur inies.fr (<https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/consultation.html>).

Tableau : Part de la production de chanvre récolté qui alimente un débouché biomatériau avec un potentiel de séquestration de carbone dans le temps (>=30 ans) sur la base de la moyenne de la Ferme France.

| % de la récolte chanvre (en poids) | Matière première | % du débouché par matière première | Débouché | Biomateriau | Ratio_débouché_seq_i |
|---|-------------------------|---|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 44% | Chènevotte | 48% | litière animale | | |
| 44% | Chènevotte | 28% | béton de chanvre | X | 12.32% |
| 44% | Chènevotte | 22% | paillage horticole | X | 9.68% |
| 44% | Chènevotte | 2% | autre | | |
| 24% | Fibre | 59% | papiers spéciaux | X | 14.16% |
| 24% | Fibre | 29% | isolation | X | 6.96% |
| 24% | Fibre | 10% | plastique | X | 2.40% |
| 24% | Fibre | 1% | textile | X | 0.24% |
| 21% | Poussière | 57% | amendement | | |
| 21% | Poussière | 33% | énergie | X | 6.93% |
| 21% | Poussière | 10% | autre | | |

Source: Interchanvre selon le plan filière publié en 2020 sur la données moyennes 2017-2019.

Avec Ratio_débouché_seq_i : indique la part de la production *i* qui alimente un débouché biomatériau avec un potentiel de séquestration de carbone dans le temps (>=30 ans).

Tableau : Les paramètres mobilisables pour une série de biomatériaux.

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| Culture | Type de produit | Substitut à | Fti | Ratio_i | Di |
|---------|---|--|------|---------|--------|
| chanvre | Béton de chanvre | Béton issu du pétrole | 100% | 50% | 50 ans |
| chanvre | Isolant en fibre de chanvre et lin et coton (tout Biofib confondu) | Laine de verre ou de roche | 90% | 46% | 50 ans |
| lin | Isolant en fibre de chanvre et lin et coton (tout Biofib confondu) | | 90% | 23% | 50 ans |
| lin | Isolant en fibre de lin (R=2.5m2.K/W) | | 90% | 50% | 50 ans |
| chanvre | Panneau automobile biosourcé intégrant de la fibre naturelle (type NFPP1) | Fibre de verre | 30% | 25% | 10 ans |
| lin | Panneau automobile biosourcé intégrant de la fibre naturelle (type NFPP1) | | 30% | 25% | 10 ans |
| chanvre | Textile cotonisé | Coton | 80% | 30% | / |
| chanvre | Géotextile (bois de chanvre) pour paillage horticole et maraicher | Plastique issu du pétrole (paillage plastique PE 25 microns) | % | % | 2 ans |
| lin | Géotextile à base de lin pour paillage horticole et maraicher | | % | % | 2 ans |

Sources : Interchanvre et industriels.

Avec :

- *Ratio_débouché_seqi* : indique la part de la production *i* qui alimente un débouché biomatériau avec un potentiel de séquestration de carbone dans le temps (≥ 30 ans)
- *Ratio_i* : quantité utilisée du produit transformé *i* dans le matériau biosourcé *i* équivalent au matériau pétrosourcé qu'il peut remplacer
- *Di* : Durée de vie du produit biosourcé *i*.

Annexe 15 : Mode de calcul des indicateurs de conditions de travail de l'agriculteur

Indicateur Surcharge de travail (MASC 2.0)

Ce critère propose une estimation de la contribution des systèmes de culture à la surcharge de travail en période de pointe. Une mauvaise répartition du travail sur l'année est responsable d'une dégradation de la qualité des conditions de travail en augmentant la charge de stress et de fatigue physique pour les travailleurs lors des périodes de pointe de travail.

Ce critère sera directement évalué par une expertise locale pour faire 3 classes (élevée ; moyenne ; faible). Il faut, dans un premier temps, identifier quelles sont les périodes de pointe sur l'exploitation ou la région agricole concernée, puis estimer la contribution du système de culture à l'augmentation ou au contraire à la réduction de la charge de travail lors de ces périodes. Par exemple, l'abandon du labour peut diminuer la charge de travail pendant les périodes de préparation du sol et de semis ; l'utilisation d'une diversité significative d'espèces et de variétés peut permettre d'étaler la charge de travail lors des périodes de semis et de récolte, etc.

Lors de l'affectation des classes qualitatives aux systèmes de culture évalués on pourra réserver la classe « moyenne » aux systèmes n'entraînant pas de modifications significatives vis-à-vis de la surcharge de travail. Cette affectation permet ainsi d'utiliser la classe « faible » pour les systèmes offrant une meilleure répartition du travail sur l'année.

L'évaluation de ce critère est contrainte par les informations mobilisables à l'échelle du système de culture qui n'est pas la plus adaptée pour juger de la surcharge de travail. Le résultat de ce critère pourra par conséquent être majoré ou minoré en fonction de l'importance des surfaces consacrées au système de culture considéré sur une exploitation donnée.

Il est suggéré de favoriser les indicateurs temps de traction ou équilibre de la charge de travail, qui sont plus objectivables.

Indicateur Complexité des interventions culturales (MASC 2.0)

Ce critère estime la facilité de mise en œuvre du système à partir de la complexité des interventions culturales. L'appréciation tient compte des objectifs de qualité assignés aux cultures et des difficultés de maîtrise des interventions associées à la conduite des différentes cultures. Par exemple, la conduite des cultures irriguées est plus complexe que celle des cultures non irriguées.

La complexité des interventions culturales est appréciée par la moyenne des coefficients de complexité affectés à chacune des cultures.

$$\text{Complexité des interventions culturales} = (\sum ki)/n$$

Avec : k_i : Coefficient de complexité affecté à chaque année culturale i et n : Durée de la rotation en années

Valeurs du coefficient K :

L'affectation d'un niveau de complexité à une culture est réalisée par expertise locale. Un exemple d'affectation des coefficients K est présenté dans le tableau ci-dessous. Dans cet exemple, trois niveaux de complexité sont retenus.

Tableau 1. : Exemple d'affectation des coefficients de complexité des itinéraires techniques pour plusieurs cultures.

| K | 1 | 2 | 3 | Moduler la valeur de K |
|----------|--|---|--|---|
| | Cultures faciles à maîtriser | Cultures moyennement difficiles à maîtriser | Cultures difficiles à maîtriser | |
| Cultures | Céréales à paille (blé, orge, avoine, triticale, etc.), Cultures d'été non irriguées (maïs, sorgho, tournesol, soja, etc.), Cultures d'hiver avec peu d'intrants (pois d'hiver, féverole d'hiver), Chanvre, etc. | Cultures d'été irriguées, betterave à sucre, colza, pois, féverole, lupin, lentille, pois chiche, lin fibre, lin oléagineux, etc. | Tabac, oignon, carottes, choux fleurs, cultures en association, cultures semencières, etc. | (ii) Ajout de 1 point à K l'année i si une culture intermédiaire est présente, si le désherbage est réalisé mécaniquement ou si une culture est semée dans un couvert préexistant (ii) Enlever 1 à K si l'expérience ou le contexte facilite la maîtrise technique de la culture |

Il est proposé 4 classes de qualification (très faible, faible à moyenne, moyenne à élevée, très élevée) avec les propositions de valeurs-seuils permettant de discrétiser CIC ci-dessous :

Tableau 2 : Exemple de valeurs-seuils permettant de discrétiser CIC

| Complexité des interventions culturelles (CIC) | Classe qualitative |
|--|--------------------|
| $CIC < 1,5$ | très faible |
| $1,5 \leq CIC < 2$ | faible à moyenne |
| $2 \leq CIC < 2,5$ | moyenne à élevée |
| $CIC \leq 2,5$ | très élevée |

Remarque : Les systèmes de monoculture ne seront pas toujours distingués d'autres systèmes plus longs et complexes à mettre en œuvre. Exemple : monoculture de maïs irriguée : $CIC = 2$ et système colza-blé-orge-orge : $CIC = (2+1+1+1)/4 = 1.25$.

Indicateur Temps de veille technico-économique (MASC 2.0)

Ce critère caractérise la difficulté de mise en œuvre d'un système de culture composé d'un nombre élevé de cultures différentes. La mise en œuvre d'une rotation longue et diversifiée est source de complexité pour l'agriculteur car cela implique de mobiliser et d'actualiser beaucoup de connaissances sur l'environnement technique et économique de chaque culture de la rotation (exemples : recherche d'informations pour chaque culture sur l'évolution du prix de vente, sur de nouveaux débouchés, sur les innovations techniques...).

Trois classes sont utilisées (faible, moyen, élevé) et le temps de veille technico-économique est apprécié directement en comptabilisant le nombre de cultures différentes dans la

rotation. Ici, seules les cultures commercialisées ou autoconsommées sur l'exploitation seront comptabilisées.

Un exemple de valeurs-seuils permettant de discrétiser TVTE est présenté dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs-seuils pourront être adaptées localement pour mieux tenir compte de la préférence des agriculteurs concernés par l'évaluation.

Les cultures associées seront comptabilisées comme une culture à part entière même si l'une de ces cultures est déjà cultivée seule dans le système de culture évalué.

La complexité des cultures n'ayant pas de valeur marchande (cultures intermédiaires, engrais verts...) sera prise en compte dans le critère **Complexité des interventions culturales**

Tableau 3 : Exemple de valeurs-seuils permettant de discrétiser TVTE

| Nombre de cultures différentes dans la rotation (TVTE) | Classe qualitative |
|--|--------------------|
| $TVTE \leq 3$ | faible |
| $3 < TVTE \leq 6$ | moyen |
| $TVTE > 6$ | élevé |

Annexe 16 : Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des leviers

| Leviers d'augmentation de la séquestration de carbone dans les sols | Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des leviers <i>(fourni à titre indicatif. Cf. Partie 8 pour la liste des données à collecter pour renseigner la bonne mise en œuvre des leviers)</i> |
|---|--|
| Augmenter la quantité de biomasse restituée par les couverts végétaux, par exemple par l'intégration ou extension des couverts végétaux dans les rotations. | Surface (ha) implantées avec des couverts (CIPAN, CIVE) Biomasse (tMS/ha) à la récolte ou destruction des couverts |
| Augmentation des restitutions par les résidus de cultures (restitution des résidus, augmentation de la production de biomasse par unité de surface notamment via l'implantation de cultures plus productives, le recours à l'irrigation...) | Rendement par unité de surface Pratiques de gestion des résidus de culture |
| Apport de nouvelles matières amendantes d'origine résiduaire organique (MAFOR) sur le système de culture (effluents d'élevage, composts, déchets urbains et industriels, digestats ...) | Type de produit et dose épandue par unité de surface |
| Insertion et allongement des prairies temporaires et artificielles (luzerne par exemple) dans les rotations | Surface (ha) implantées avec des prairies temporaires Dates de semis et de destruction des prairies temporaires |

| Leviers de réduction des émissions de GES | Indicateur de suivi <i>(fourni à titre indicatif. Cf. Partie 8 pour la liste des données à collecter pour renseigner la bonne mise en œuvre des leviers)</i> |
|---|--|
| Réduire la dose d'azote minéral apportée sur les cultures <ul style="list-style-type: none"> • Ajustement du calcul de dose prévisionnelle grâce à une meilleure prise en compte des apports et des objectifs de rendements réalistes • Prise en compte des conditions climatiques pour le déclenchement des apports • Utilisation d'outils de pilotage • Modulation intraparcellaire | Dose d'azote minéral apportée sur le système de culture |
| Améliorer l'efficacité de l'azote apporté et valorisé par la plante en limitant la nitrification/dénitrification, la volatilisation et la lixiviation <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'inhibiteurs de nitrification • Chaulage des sols acides (pH<6,8) • Utilisation de formes d'engrais moins émettrices (réduction de l'utilisation des formes uréiques, inhibiteurs d'uréase) • Enfouissement des apports organiques et minéraux | <ul style="list-style-type: none"> • Dose d'azote apportée par type d'engrais • Mode d'apport et délai d'enfouissement • pH initial et pH ajusté obtenu |
| Introduire des légumineuses fixatrices d'azote dans la rotation ou des cultures/variétés à plus faible | <ul style="list-style-type: none"> • Surface en légumineuses en culture principales • Surface en légumineuse en culture |

Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

| | |
|---|--|
| <p>besoin en azote</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduction de légumineuses en culture principale dans la rotation • Introduction de légumineuses en cultures associées • Introduction de légumineuses en cultures intermédiaires | <p>intermédiaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dose d'azote minéral apportée sur le système de culture |
|---|--|

| Leviers de réduction des émissions de GES | Indicateur de suivi |
|--|---|
| <p>Réduire la consommation de combustibles fossiles associées aux engins et à l'irrigation (fioul, GNR, gaz)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire le nombre de passage des engins agricoles sur le système de culture (simplification du travail du sol, passage au semis direct...) • Réduire la consommation d'énergie des engins (écoconduite, banc d'essais moteurs, motorisation électrique, autoguidage RTK) • Réduire la consommation d'énergie du système d'irrigation (choix de matériel moins gourmands en énergie) | <ul style="list-style-type: none"> • Quantité de fioul, GNR, gaz consommés sur le système de culture |
| <p>Réduire la consommation de combustibles fossiles associées au séchage et au stockage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire la consommation d'énergie du système de séchage et/ou de stockage de l'exploitation | <ul style="list-style-type: none"> • Energie utilisée par tonnage séché ou conservé (kWH/tonne) |

Annexe 17 : Données de vérification en cas de coexistence de systèmes de culture dans et hors projet sur une exploitation

LEVIERS STOCKAGE C SOL : VERIFICATION D'ABSENCE DE TRANSFERT

| Leviers d'augmentation de la séquestration de carbone dans les sols (§ 2.1) | Point à vérifier | Critère de vérification | Vérification: Indicateur | Moyen de justification |
|---|---|--|---|---|
| Extension des couverts végétaux dans les rotations | L'augmentation des couverts sur un système ne se fait pas au détriment des couvertures des autres systèmes hors projet | Evolutions comparées des surfaces de couverts du système projet et de l'exploitation. | Δ Surf expl. couv \geq Δ Surf Syst. Proj. couv Tolérance : 5% (si <) | Total achat semences de l'exploitation (factures) avant projet et en cours. Alternative : vérification des surfaces de couverts par suivi satellitaire. |
| Augmentation des résidus de cultures | L'augmentation de surface d'une culture du système projet n'est pas un simple transfert à surfaces égales entre système projet et système hors projet. L'augmentation des restitutions sur le système projet n'amène pas une diminution sur les autres systèmes. | Evolutions comparées des surfaces de chacune des cultures dans le système projet et dans l'assolement total de l'exploitation. En cas de vente de résidus (pailles), évolution des quantités de pailles exportées du système projet comparée à l'évolution des quantités exportées pour l'ensemble de l'exploitation. | Pour chaque culture : Δ Surf expl. \geq Δ Surf Syst. Proj. Tolérance : 5% Δ Qté paille exportée expl. \leq Δ Qté paille exportée syst.proj. Tolérance : 5% (si >) | Déclaration PAC Facturations (pailles) |
| Apport de nouvelles matières amendantes | L'augmentation d'apports sur Syst. Proj. n'est pas un simple transfert de matière destiné auparavant à un autre système de l'exploitation. | évolution des quantités de produits organiques apportés sur le système projet comparé à l'évolution des quantités apportées sur l'ensemble des systèmes de l'exploitation | Δ Qté a.o. totale importée expl. \leq Δ Qté totale apportée au Syst. Proj. Tolérance : 5% | Factures d'achat des produits organiques |
| Insertion et allongement des prairies temporaires dans les rotations | Les prairies temporaires du Syst. Proj. ne résultent pas d'un déplacement depuis un autre système HP. | Evolutions comparées des surfaces en prairies artificielles temporaires de l'exploitation et du système projet. | Δ surf pat. exploit. \geq Δ surf pat. syst.proj. Tolérance 5% (si <) | Assolement (déclaration PAC) |

LEVIERS COMBUSTIBLES FOSSILES : VERIFICATION D'ABSENCE DE TRANSFERT

| Leviers de réduction des émissions de GES (§ 2.3) | Point à vérifier | Critère de vérification | Vérification: Indicateur | Moyen de justification |
|--|------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| <p>On peut considérer que la réduction de consommation d'énergie fossile mise en œuvre par l'adaptation de moyens techniques sur un système inscrit dans le projet ont peu de risque de se traduire par une augmentation de travaux, de nombre d'interventions, et globalement de consommations de carburants fossiles, sur un ou des systèmes de culture de l'exploitation et non inscrits dans le projet.</p> <p>Ce risque semble d'autant plus faible que les différents points de vérification des tableaux précédents auront été appliqués.</p> <p>Une vérification globale peut être la consommation totale annuelle de l'exploitation, en vérifiant globalement :</p> <p>Δ (Qté combustibles expl.) \leq Δ (Qté combustibles Syst. Proj.)</p> <p>Tolérance : 5 % (si >)</p> | | | | |

LEVIERS FERTILISATION : VERIFICATION D'ABSENCE DE TRANSFERT

| Leviers de réduction des émissions de GES (§ 2.2) | Point à vérifier | Critère de vérification | Vérification: Indicateur | Moyen de justification |
|--|--|---|---|---|
| Réduire la dose d'azote minéral apportée sur les cultures | Absence de transfert de fertilisants minéraux entre Syst. Projet et Syst. HP. | La diminution des quantités sur le Syst. Proj. se répercute quasi intégralement sur les quantités sommées sur l'exploitation. | $\Delta N_{\text{min expl.}} \leq \Delta N_{\text{min Syst. Proj.}}$ Tolérance : 10 % (si >), sauf justification sur calcul de dose sur chaque parcelle de tous les systèmes | Factures d'achat d'engrais minéraux |
| Améliorer l'efficacité de l'azote apporté et valorisé par la plante. | Sans objet | Sans objet | Sans objet | Sans objet |
| Introduire des légumineuses fixatrices d'azote dans la rotation ou des cultures/variétés à plus faible besoin en azote | Les légumineuses développées dans le Syst. Proj. ne résultent pas d'un déplacement des surfaces depuis un autre système de l'exploitation ou d'une concentration de celles-ci sur le système projet. | Evolution comparées des surfaces en légumineuses du système projet et de l'exploitation. | $\Delta \text{Surf. Leg. Expl.} \geq \Delta \text{Surf. Leg syst. proj.}$ Tolérance : 5% (si <) | Total achat semences légumineuses (factures) avant projet et en cours, ou surfaces PAC. |
| | Même principe pour les cultures à faible besoin en azote. | Même critère pour les cultures à faible besoin en azote. | Idem | Idem |