

LABEL BAS-CARBONE

Méthode Grandes Cultures

Version 2.0

(Méthode du 06/02/2025; Référentiels du 06/02/2025)

06/02/2025



Auteurs de la Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures v2.0 : Laure Nitschelm¹, Morgane Henaff², Célia Ruau², Hélène Lagrange¹, Delphine Hourcade¹, Anne Schneider³, Remy Duval⁴, Marisol Campoverde⁵, Alexis Patry⁵, Anthony Uijtewaal¹

Auteurs de la Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures v1.0 : Baptiste Soenen, Morgane Henaff², Hélène Lagrange¹, Edouard Lanckriet², Anne Schneider³, Remy Duval⁴, Jean-Louis Streibig⁵

Experts scientifiques consultés (v2.0) : Remy Ballot⁶, Stéphane Cadoux³, Anne-Laure Toupet de Cordoue¹ (pour le GT Système de culture) ; Christian Bockstaller⁶, Nicolas Cerrutti³, Hélène Gross¹², Mickael Hedde⁶, Xavier Mesmin¹, Anne-Sophie Perrin³, Christophe Sausse³ (pour le GT Biodiversité) ; Marie Coquet¹, Grégory Véricel¹ (Biomasse des cultures intermédiaires) ; Ariane Grisey¹⁶, Malou Mireur¹⁶, Hélène Baudet¹⁷ (Références Générique fruits & légumes) ; Jean-Christophe Mouny⁷ (Cas-type pour les audits)

Experts scientifiques contributeurs (v1.0) : Joachim Boissy⁷, Julien Coignac⁹, Sylvie Dauguet³, Coraline Dessienne¹, Francis Flénet³, Armelle Gac⁸, Sophie Gendre¹, Catherine Henault⁶, William Huet⁹, Justine Lamerre², 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 Lapiere¹³, Patricia Lecadre¹³, Vincent Lecomte³, Anne-Sophie Perrin³, Christophe Sausse³, Clotilde Toqué¹, Aurélie Wilfart⁶ (pour le GT co-bénéfices)

Contacts :

Laure Nitschelm : l.nitschelm@arvalis.fr

Morgane Hénaff : mhenaff@agrosolutions.com

Pour citer ce document :

Laure Nitschelm, Morgane Henaff, Célia Ruau, Hélène Lagrange, Delphine Hourcade, Anne Schneider, Remy Duval, Marisol Campoverde, Alexis Patry, 2024. Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures (version 2.0). 198p.

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

¹ : Arvalis

² : Agrosolutions

³ : Terres Inovia

⁴ : Institut Technique de la Betterave

⁵ : Association de 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

¹⁶ : CTIFL

¹⁷ : UNILET

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 2022-2027) pour Arvalis, Terres Inovia, ARTB et ITB.



FranceMiscanthus pour Agrosolutions, pour l'intégration du levier Plantation de Miscanthus dans la méthode Grandes Cultures v2.



Table des matières

Glossaire.....	11
1. Présentation de la Méthode	12
1.1 Objet de la Méthode et applicabilité.....	12
1.2 Promoteur de la Méthode Grandes Cultures	12
1.3 Le Porteur de Projet	13
1.4 Périmètre d'application de la Méthode	14
1.4.1 Périmètre de comptabilisation	14
1.4.2 Maille de calcul	15
1.4.3 Réduction d'émissions couvertes	16
1.5 Durée des Projets	17
1.6 Procédure de mise en œuvre de la Méthode	18
1.7 Articulation avec les autres Méthodes existantes	18
1.7.1 Articulation avec la Méthode CarbonAgri v1	18
1.7.2 Articulation avec la Méthode Haies v1	19
1.7.3 Articulation avec la Méthode Plantation de Vergers v1	19
1.7.4 Articulation avec la Méthode Sobac'Eco-TMM v1	20
1.7.5 Articulation avec la Méthode Ecométhane v1	20
1.8 Mise à jour des référentiels et de la Méthode	21
2. Les bénéfices des Projets pour l'économie bas-carbone	22
2.1 La diminution des émissions de GES associées à la fertilisation azotée.....	22
2.2 La diminution des émissions de GES associées aux combustibles fossiles..	24
2.3 Le stockage de carbone dans le sol.....	24
2.4 La diminution des émissions de GES en aval de l'exploitation	26
3. Les critères d'éligibilité des Projets	27
4. Démonstration de l'additionnalité des Projets agricoles	29
4.1 Freins liés à la mise en œuvre des leviers sur les exploitations en grandes cultures	29
4.1.1 Leviers permettant de réduire les émissions de GES des exploitations agricoles	29
4.1.2 Leviers permettant de stocker du carbone dans les sols	31
4.1.3 Leviers liés à la valorisation des productions en aval du Projet	34
4.2 Démonstration de l'additionnalité pour un premier Projet.....	34
4.2.1 Méthode des budgets partiels	35
4.2.2 Méthode générale.....	36
4.3 Démonstration de l'additionnalité dans le cadre d'un renouvellement de Projet	36
5. Le scénario de référence	37
5.1 Choix du type de scénario de référence.....	37
5.2 Définition des systèmes de culture.....	38
5.2.1 Description du contexte pédoclimatique.....	38
5.2.2 Description de la stratégie culturale	40

5.2.3 Description de l'itinéraire technique	42
5.3 Scénario de référence spécifique.....	42
5.4 Scénario de référence semi-générique ou générique.....	43
5.4.1. Scénario de référence semi-générique	43
5.4.2. Scénario de référence générique	46
5.5 Scénario de référence dans le cas d'un renouvellement de Projet.....	49
6. La méthode d'évaluation des réductions d'émissions.....	50
6.1 Calcul des RE émissions	50
6.1.1 Calcul des RE fertilisation	51
6.1.2 Calcul des RE combustibles	58
6.1.3 Calcul des RE séchage/stockage	61
6.2 Calcul des RE aval	63
6.2.1 Calcul de RE séchage OS : réduction d'émissions GES liées au séchage chez les organismes stockeurs 64	64
6.2.2 Calcul de RE protéines : valorisation des biomasses en protéines pour l'alimentation animale	65
6.2.3 Calcul de RE biomatériaux : valorisation des biomasses en biomatériaux	66
6.3 Calcul des RE stockage carbone sol	67
6.3.1 Précision de certains choix méthodologiques	67
6.3.2 Références génériques et spécifiques pour le stockage du carbone, choix des pratiques ..	68
6.3.3 Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de carbone	69
6.3.4 Description des calculs des évolutions du stock de carbone.....	72
6.4 Calcul des RE miscanthus	74
6.5 Evaluation des incertitudes et calculs des rabais.....	77
6.5.1 Choix du scénario de référence.....	77
6.5.2 Incertitudes des méthodes utilisées	77
6.5.3 Evaluation des incertitudes des données d'entrée.....	91
6.5.4 Risque de non-permanence	93
6.5.5 Risque lié à la non-démonstration de l'additionalité	94
6.5.6 Récapitulatif des rabais	95
7. Impacts et co-bénéfices associés aux Projets	98
7.1 Evaluation des co-bénéfices du Projet par rapport à la Référence.....	99
7.2 Pressions sur les ressources physiques	100
7.2.1 Prévenir l'érosion des sols (et améliorer leur stabilité structurale)	102
7.2.2 Pressions sur d'autres ressources et sur la qualité de l'air ou des eaux	103
7.3 Enjeu biodiversité.....	106
7.3.1 Processus à l'origine des effets sur la biodiversité.....	106
7.3.2 Préconisations	107
7.3.3 Indicateurs de suivi	107
7.4 Enjeux socio-économiques et demandes sociétales.....	115
7.4.1 A l'échelle de la société : mieux répondre aux demandes sociétales liées à des enjeux planétaires ou nationaux	116
7.4.2 A l'échelle du territoire : impact sur la dynamique territoriale.....	120
7.4.3 A l'échelle de l'agriculteur : revenu viable et conditions de travail	120
8 Vie d'un Projet et modalités de vérification des réductions d'émissions	123
8.1 Dates clés d'un Projet.....	123
8.1.1 Dates de début et date de fin de quantification des RE	123
8.1.2 Dates des scénarios de référence et de Projet	123
8.2 Vie d'un Projet.....	124
8.2.1 Procédure et vie d'un Projet	124

8.2.2	Cas de l'évolution de la surface des exploitations en cours du projet LBC GC	126
8.3	Suivi d'un Projet	128
8.4	Vérification et audit	128
8.4.1	Audit intermédiaire du Porteur de Projet	129
8.4.2	Audit des Réductions d'Emissions générées par le Projet (en fin de Projet)	131
8.5	Conformité des outils de calcul des RE	142
9	Formulaires nécessaires aux Porteurs de Projet	145
10	Bibliographie	146
Annexes techniques.....	150
	<i>Annexe 1 : Périmètre des Cultures Principales, Dérobées et Intermédiaires dans le périmètre de la méthode Grandes Cultures</i>	<i>151</i>
	<i>Annexe 2 : Rétroactivité des mises à jour de la méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures version 2.0.....</i>	<i>152</i>
	<i>Annexe 3 : Données nécessaires pour établir les RE à l'initialisation des Projets et en fin de Projet et éléments de vérification</i>	<i>160</i>
	<i>Annexe 4 : Pouvoir de Réchauffement Global des gaz à effet de serre.....</i>	<i>174</i>
	<i>Annexe 5 : Références nécessaires liées aux cultures</i>	<i>175</i>
	<i>Annexe 6 : Méthode de calcul de dose d'amendement basique.....</i>	<i>176</i>
	<i>Annexe 7 : Références nécessaires liées aux engrais minéraux et organiques</i>	<i>179</i>
	<i>Annexe 8 : Intégration de facteurs d'émissions amont spécifiques provenant de fournisseurs d'engrais dans la méthode label bas carbone Grandes Cultures.</i>	<i>180</i>
	<i>Annexe 9 : Références nécessaires liées aux combustibles fossiles</i>	<i>183</i>
	<i>Annexe 10 : Méthode de calcul de la consommation de carburant attribuée à chaque atelier 184</i>	
	<i>Annexe 11 : Références pour le calcul des RE <small>aval</small>.....</i>	<i>186</i>
	<i>Annexe 12 : Calculs des RE <small>stockage carbone sol</small>, précisions sur certains choix méthodologiques</i>	<i>187</i>
	<i>Annexe 13 : Liste des modèles de bilan humique utilisables et domaines de validité 192</i>	
	<i>Annexe 14 : Méthode d'estimation de la densité apparente par fonction de pédotransfert (équation)</i>	<i>193</i>
	<i>Annexe 15 : Mode opératoire pour la mesure de la biomasse des couverts intermédiaires par prélèvement et pesée.....</i>	<i>194</i>
	<i>Feuille déclarative de présence du couvert et de saisie des mesures</i>	<i>197</i>
	<i>Annexe 16 : Evaluations des modèles AMG et STICS</i>	<i>200</i>
	<i>Annexe 17 : Valeur des aléas d'érosion.....</i>	<i>201</i>
	<i>Annexe 18 : Références pour le calcul de l'indicateur Empreinte Eau</i>	<i>202</i>
	<i>Annexe 19 : Références pour le calcul des indicateurs de biodiversité.....</i>	<i>203</i>
	<i>Annexe 20 : Méthodologie et données nécessaires au calcul des composantes du pouvoir nourricier</i>	<i>204</i>
	<i>Annexe 21 : Références pour le calcul des indicateurs de contribution positive sur des enjeux sociétaux.....</i>	<i>205</i>

Annexe 22 : Mode de calcul des indicateurs de conditions de travail de l'agriculteur
208

Annexe 23 : Documents pour le suivi des Projets..... 211

Annexe 24 : Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des leviers..... 212

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des leviers « fertilisation azotée »	22
Tableau 2 : Liste des leviers « Combustibles fossiles »	24
Tableau 3 : Liste des leviers sélectionnés pour permettre le stockage de carbone dans les sols	24
Tableau 4 : Liste des leviers « Aval »	26
Tableau 5 : Critères d'éligibilité de la méthode LBC-GC.....	27
Tableau 6: Coût technique du passage en semis direct.....	30
Tableau 7: Coût technique de l'extension des cultures intermédiaires	31
Tableau 8 : Coût technique de l'allongement et de l'insertion des prairies temporaires	32
Tableau 9 : Coût technique de la mobilisation de nouvelles ressources organiques	32
Tableau 10 : Classification des principaux types de sol en grande culture en France.....	39
Tableau 11: Critères de classification des types de sol de la Base-Sol Arvalis.....	39
Tableau 12 : Présentation et cas d'usage des références semi-générique et spécifique	43
Tableau 13 : Choix de la méthode de calcul des EGES _{combustibles}	59
Tableau 14 : Données à utiliser pour les simulations d'une référence générique	69
Tableau 15 : Données à utiliser pour les simulations d'une référence spécifique	70
Tableau 16 : Données à utiliser pour les simulations du Projet.....	71
Tableau 17 : Rabais associés aux incertitudes du mode de recueil des données pour le calcul des RE _{stockage carbone sol}	91
Tableau 18 : Récapitulatif des rabais applicables à la Méthode LBC Grandes Cultures	95
Tableau 19 : Inventaire des enjeux ou critères proposés pour les co-bénéfices.....	98
Tableau 20 : Liste des impacts et co-bénéfices, interprétation de l'équation de calcul et unité.	99
Tableau 21 : Effets des leviers sur la pression sur les ressources physiques et recommandations de mise en œuvre.....	101
Tableau 22 : Facteur C _{culture}	103
Tableau 23 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant la pression sur les autres ressources et la qualité de l'eau et de l'air	105
Tableau 24 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant la pression sur la biodiversité	109
Tableau 25 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques à l'échelle de la société	118
Tableau 26 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques à l'échelle du territoire	120
Tableau 27 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant les enjeux socio-économiques vis-à-vis des agricultures	121
Tableau 28 : Dates des scénarios de référence et de Projet.....	123
Tableau 29 : Procédure et vie d'un Projet.....	124
Tableau 30 : Plan de contrôle pour l'audit du Mandataire	130
Tableau 31 : Formule d'échantillonnage selon le nombre d'exploitation du Projet.	131
Tableau 32 : Liste des points de vérification pour les exploitations échantillonnées	133

Tableau 33 : Modalités de certification pour la conformité des outils de calcul des RE 143

Table des figures

Figure 1 : Structuration du consortium LBC Grandes Cultures	13
Figure 2 : Structurations possibles de portage d'un Projet	14
Figure 3 : Périmètre de la Méthode LBC Grandes Cultures	14
Figure 4 : Définition des systèmes de culture et principe de suivi	16
Figure 5 : Réductions d'émissions couvertes par la Méthode	17
Figure 6 : Procédure de mise en œuvre de la Méthode	18
Figure 7 : Articulation avec la méthode CarbonAgri	19
Figure 8 : Articulation avec la Méthode Haies	19
Figure 9 : Articulation avec la Méthode Plantation de Vergers	19
Figure 10 : Articulation avec la Méthode Sobac'Eco TMM v1	20
Figure 11 : Articulation avec la Méthode Plantation de Vergers	20
Figure 12 : Type d'agriculture de référence selon les différents cas de figure pour une parcelle : en conventionnel, en conversion, en agriculture biologique.	41
Figure 13 : Schémas représentant les différents cas de figure pouvant se présenter pour le calcul de Delta_StockC	74
Figure 14 : Les liens entre biodiversité et paysage dépendent (i) de la surface occupée par chaque type d'occupation du sol (« composition ») et de la répartition spatiale de ces types d'occupation du sol (« configuration »). D'après Fahrig et al., 2011.	107

Table des équations

Équation 1 : Calcul des réductions d'émissions	50
Équation 2 : Calcul des RE _{émissions}	50
Equation 3 : Calcul de RE _{fertilisation}	51
Equation 4 : Calcul des émissions de GES associées à la fertilisation	52
Equation 5 : Calcul des émissions de N ₂ O directes	52
Equation 6 : Calcul de la quantité d'azote contenue dans les résidus de culture	54
Equation 7 : Calcul du coefficient d'abattement associé au chaulage des sols acides	54
Equation 8 : Calcul des émissions de N ₂ O indirectes par volatilisation	55
Equation 9 : Calcul des émissions de N ₂ O indirectes par Lixiviation	56
Equation 10 : Calcul des émissions de CO ₂ directes au champ	56
Equation 11 : Calcul des émissions de CO ₂ équivalents associées à la fabrication des engrais minéraux	57
Equation 12 : Calcul des émissions de CO ₂ équivalents associées à la fabrication des engrais organiques	58
Equation 13: Calcul de RE _{combustibles}	58
Équation 14 : Calcul des émissions de GES associées aux combustibles fossiles (méthode A)	60
Équation 15 : Calcul des émissions de GES associées aux combustibles fossiles (méthode C)	61
Équation 16: Calcul des RE _{séchage/stockage}	62
Équation 17: Calcul des RE _{séchage ferme}	63
Équation 18: Calcul des RE _{stockage ferme}	63
Équation 19: Calcul des RE _{aval}	63

Équation 20: Calcul des RE séchage OS	64
Équation 21 : Calcul des consommations d'énergie pour le séchage par les OS.....	64
Équation 22 : Calcul des RE protéines	65
Équation 23 : Calcul des RE stockage carbone sol	67
Équation 23 : Calcul de Delta_StockC	73
Équation 25 : Calcul des RE miscanthus	75
Équation 26 : Calcul des RE émissions_miscanthus	75
Équation 27 : Calcul des RE stockage carbone sol miscanthus	76
Équation 28 : Calcul du rabais stockage carbone sol lié au choix du mode de recueil de données d'entrée	93
Équation 29 : Calcul des RE certifiable	96
Équation 30 : Equation générale pour le calcul des rabais	96
Équation 31 : Calcul de l'évolution des co-bénéfices par rapport à la référence	99
Équation 32 : Calcul de l'évolution de l'érodibilité	103
Équation 33 : Calcul du facteur C_pratique	103
Équation 34 : Calcul de l'évolution comparée de l'empreinte eau théorique vs. réelle	105

Glossaire

AB : Agriculture Biologique

ACS : Agriculture de Conservation des Sols

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 Résidu 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.

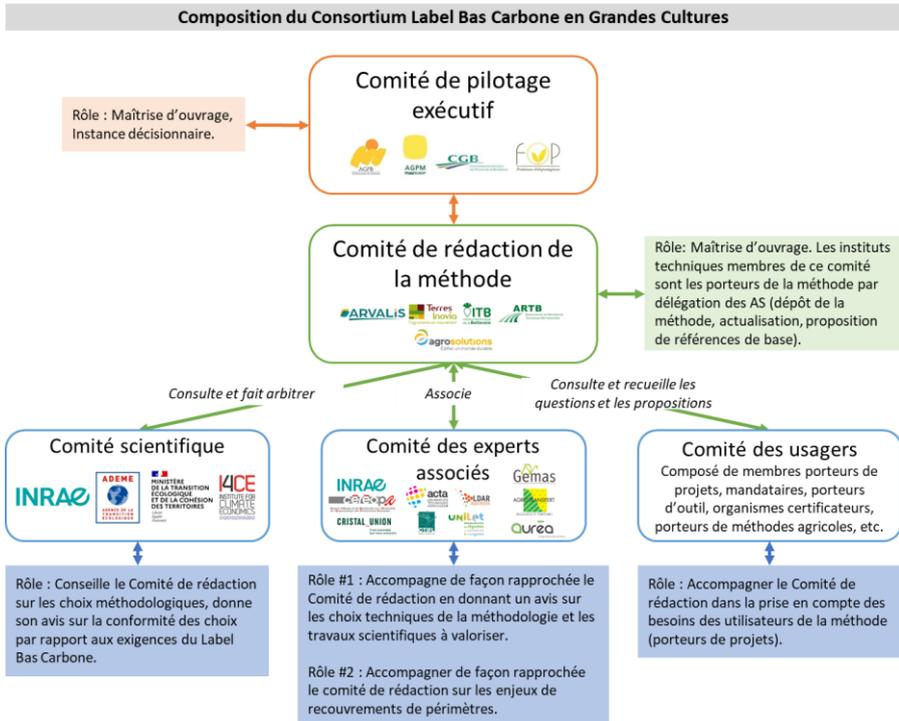


Figure 1 : Structuration du consortium LBC Grandes Cultures

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 auprès 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.

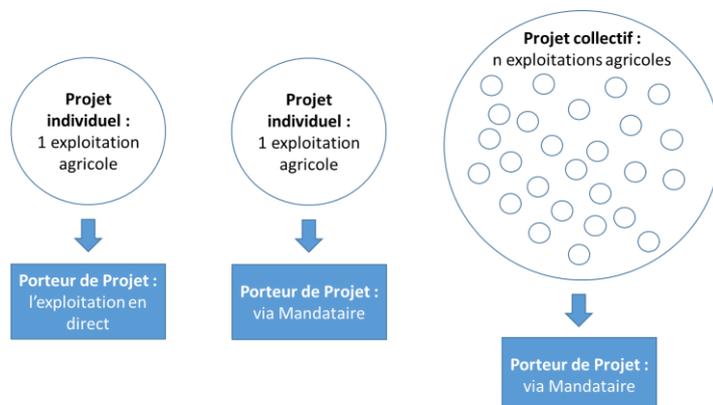


Figure 2 : Structurations possibles de portage d'un Projet

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).

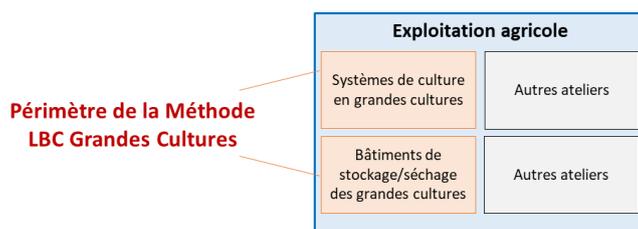


Figure 3 : Périmètre de la Méthode LBC Grandes Cultures

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 de 5 ans ou moins (prairie temporaire, luzerne...)
- Cultures industrielles mécanisées (betterave, pomme-de-terre, lin fibre, chanvre fibre, légumes de plein champ...)
- Production de semences et de plants
- Miscanthus (seulement en plantation dans le Projet)
- Cultures légumières de plein champ (ex : tomate, melon, ...)
- Jachères semées et non semées

La liste complète des cultures dans le périmètre de la méthode Grandes Cultures est consultable dans l'Annexe 1 « Périmètre méthode GC » :

- Cultures principales : onglet « Périmètre_CA_CD », colonne C « La Culture Principale est-elle dans le périmètre de la méthode Grandes Cultures ? ».
- Cultures dérobées : onglet « Périmètre_CA_CD », colonne D « La Culture Dérobée est-elle dans le périmètre de la méthode Grandes Cultures ? ».
- Cultures intermédiaires : onglet « Périmètre_CI », colonne B « La Culture Intermédiaire est-elle dans le périmètre de la méthode Grandes Cultures ? ». Si la culture intermédiaire implantée n'est pas dans la liste, la rattacher à une des familles suivantes : Astéracées, Crucifères, Graminées, Hydrophyllacées, Légumineuses, Polygonacées, Couvert multi-espèces sans légumineuses ou Couvert multi-espèces avec légumineuses. Si aucune de ces catégories ne correspond, rattacher la culture intermédiaire à la référence Polygonacées qui prend aussi en compte d'autres couverts.

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) dans un contexte pédoclimatique donné. Le système de culture se définit comme étant la combinaison entre la stratégie culturale (qui comprend notamment la succession culturale, cf. 1.4.2 Maille de calcul) et l'itinéraire technique, localisé dans un contexte pédoclimatique particulier. Le type d'agriculture et la succession culturale sont des décisions stratégiques de l'agriculteur, qui orientent les choix de conduites culturales (présence de couverts, gestion des résidus, travail du sol et fertilisation azotée, etc.). Pour cette raison le regroupement des parcelles sera privilégié notamment en fonction du type d'agriculture et les principaux types de séquences de cultures présents au niveau français. Une étape préalable aux calculs de réduction d'émissions 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 l'itinéraire technique 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. L'ensemble des SdC de l'atelier Grandes Cultures fait l'objet d'un suivi complet, même si aucun levier n'est mis en place sur un SdC, cela afin d'apporter des garde fous sur les transferts potentiels entre SdC. A noter, les SdC ayant des cultures hors périmètre de la méthode Grandes Cultures (cf. Annexe 1 « Périmètre méthode GC ») sont exclus des calculs.

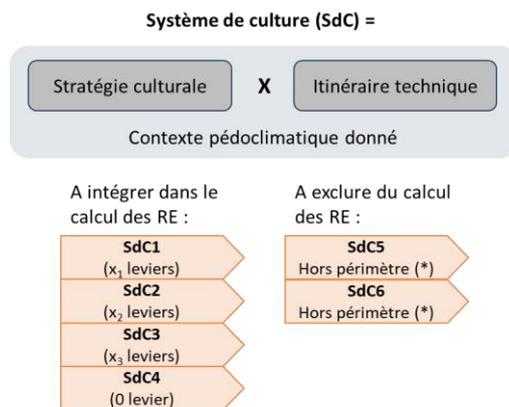


Figure 4 : Définition des systèmes de culture et principe de suivi

Cas spécifique pour les Projets mobilisant le levier « Plantation de miscanthus » :

L'intégration du miscanthus dans un système de culture via le levier « plantation de miscanthus » pourra être réalisé sur une partie ou la totalité d'un système de culture en remplacement de la rotation de cultures en assolement initiale. Les parcelles ciblées pour la plantation du miscanthus devront être isolées au sein d'un système de cultures spécifique.

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.

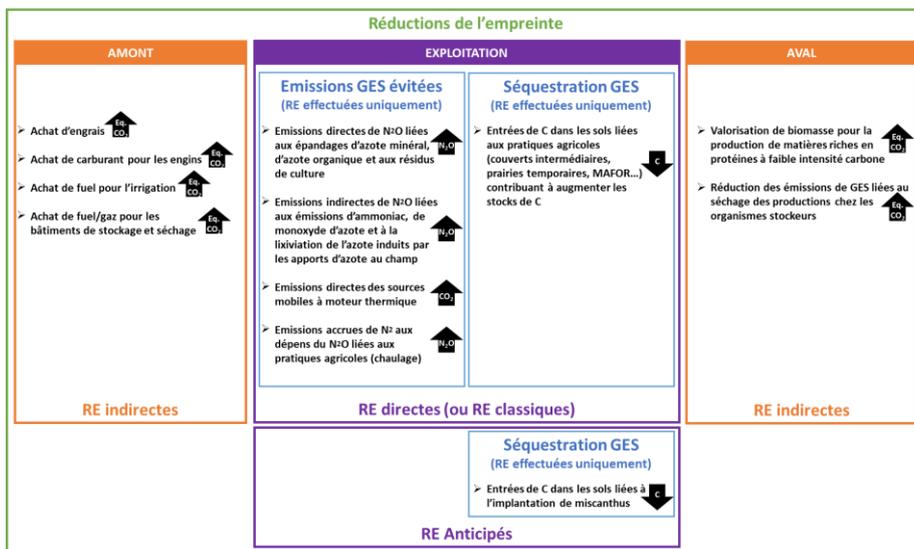


Figure 5 : Réductions d'émissions couvertes par la Méthode

Cas spécifique pour les Projets mobilisant le levier « Plantation de miscanthus » :

Dans le cas de l'activation du levier « Plantation de miscanthus » et compte tenu du caractère pérenne du miscanthus, les RE anticipées liées à la séquestration de carbone permises par la plantation de miscanthus pourront être comptabilisées sur une période allant jusqu'à 20 ans à partir de la date de plantation. En effet, la durée de vie du miscanthus est établie en moyenne à 20 ans. Elle donnera lieu à la reconnaissance de réductions d'émissions anticipées calculées sur 20 ans (au maximum).

Les réductions anticipées résultent de la prise en compte d'une trajectoire vraisemblable de réductions d'émissions nettes découlant directement du Projet sur une période ultérieure, par comparaison à un scénario de référence.

La ou les plantations de miscanthus doivent avoir lieu lors des 3 premières années de Projet. La durée de comptabilisation des réductions d'émissions anticipées sera de 21-n avec n l'année de plantation du miscanthus. Par exemple, si le miscanthus est planté en année 1 du Projet, alors les réductions d'émissions anticipées seront comptabilisées sur 20 ans en incluant l'année de destruction (année 20). Si le miscanthus est planté en année 2 du Projet, alors les réductions d'émissions seront comptabilisées sur 19 ans en incluant l'année de destruction (année 20).

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.

Cas spécifique pour les Projets mobilisant le levier « Plantation de miscanthus » :

La durée de comptabilisation des RE anticipées est de 20 ans maximum à partir de la date de plantation. Cependant, l'étape de suivi et de vérification devra être réalisée au bout de 5 ans.

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 8.2 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 v1

Promoteur IDELE

Méthode déjà approuvée lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures v2.0

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 cultures fourragères et 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. 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.

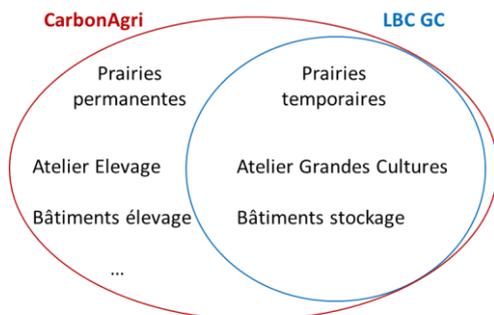


Figure 7 : Articulation avec la méthode CarbonAgri

1.7.2 Articulation avec la Méthode Haies v1

Promoteur CA Pays de la Loire

Méthode déjà approuvée lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures v2.0

Il n'y a pas de recouvrement de périmètre identifié entre la méthode Haies et la Méthode Grandes Cultures v2.0. Les deux Méthodes peuvent donc être utilisées de façon complémentaire.

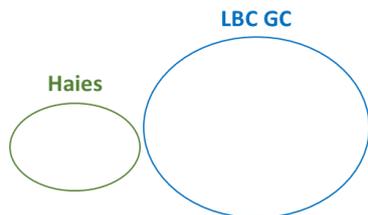


Figure 8 : Articulation avec la Méthode Haies

1.7.3. Articulation avec la Méthode Plantation de Vergers v1

Promoteur La compagnie des amandes et Agrosolutions

Méthode déjà approuvée lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures v2.0

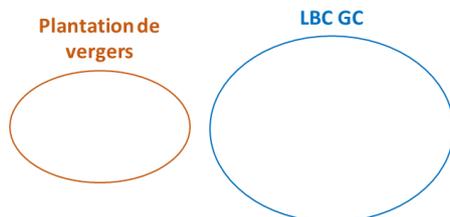


Figure 9 : Articulation avec la Méthode Plantation de Vergers

Il n'y a pas de recouvrement de périmètre identifié entre la méthode Plantation de Vergers v1 et la Méthode Grandes Cultures v2.0. Les deux Méthodes peuvent donc être utilisées de façon complémentaire.

1.7.4. Articulation avec la Méthode Sobac'Eco-TMM v1

Promoteur de méthode : SOBAC, entreprise développant des techniques de fertilisation respectueuses de l'environnement.

Méthode déjà approuvée lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures v2.

Les leviers proposés dans la méthode Sobac'Eco-TMM v1 recoupent ceux proposés dans la méthode Grandes Cultures v2. La méthode Grandes Cultures v2 est cependant plus intégrative et regroupe l'ensemble des leviers mobilisables dans un atelier de Grandes Culture. Les leviers concernés sont :

- Les leviers spécifiques à la gestion de la fertilisation azotée organique et des effluents d'élevage ;
- Les leviers touchant à la fertilisation minérale ;
- Les leviers concernant la fertilisation azotée (minérale et organique) ;
- Les leviers d'optimisation des itinéraires techniques.

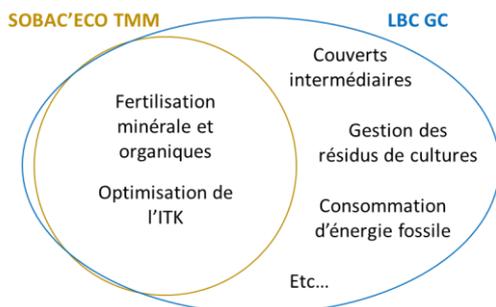


Figure 10 : Articulation avec la Méthode Sobac'Eco TMM v1

Dès lors qu'une exploitation agricole dépose un Projet avec la méthode Sobac'Eco-TMM v1, elle ne pourra pas déposer de Projet avec la méthode Grandes Cultures v2.0, et inversement, et ceci afin d'éviter tout risque de double de compte.

1.7.5. Articulation avec la Méthode Ecométhane v1

Promoteur Association Bleu Blanc Cœur

Méthode déjà approuvée lors du dépôt de la Méthode LBC Grandes Cultures v2.0

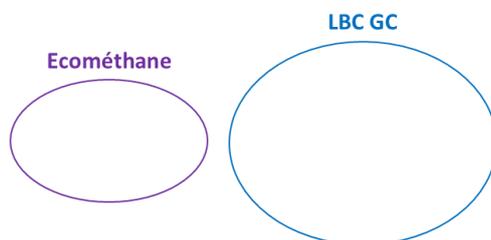


Figure 11 : Articulation avec la Méthode Ecométhane v1

Il n'y a pas de recouvrement de périmètre identifié entre la méthode Ecométhane v1 et la Méthode Grandes Cultures v2. 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 Label Bas Carbone (<https://label-bas-carbone.ecologie.gouv.fr/>). Le Porteur de Projet a la charge de se tenir informé des nouveautés de la méthode. 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. Les mises à jour des équations de calcul sont rétroactives, qu'elles génèrent ou non une perte de Crédit Carbone. Les mises à jour des annexes sont non-rétroactives uniquement dans le cas où leurs mises à jour génèrent une perte de RE par rapport à la version en application au moment de la labellisation du Projet. Plus généralement, la (non)-rétroactivité des mises à jour est spécifiée dans l'Annexe 2.

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

D'un côté le secteur agricole contribue pour 18,4 % des émissions de GES de la France, soit 76,5 MtCO₂eq pour l'année 2021 selon l'inventaire SETEN 2023 du CITEPA, et pour 87% 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 2050.

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 l'inventaire SETEN du CITEPA, le secteur des terres cultivées en France représente en 2021 une source de 9.9 MtCO₂eq, alors que le secteur des prairies permanentes constitue un puits de -0.4 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
Réduire la dose d'azote minéral apportée sur le système de culture <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 réalistesPrise en compte des conditions climatiques pour le déclenchement des apportsUtilisation d'outils de pilotageModulation intraparcellaire	Environ -12,7 kgeqCO ₂ /kgN minéral évité (en considérant la réduction d'émissions directes au champ et indirectes liée à la fabrication des engrais)
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 : <ul style="list-style-type: none">Utilisation d'inhibiteurs de nitrification	Utiliser des inhibiteurs de nitrification : -317 kg CO ₂ eq/ha/an (Pellerin <i>et al.</i> , 2013)

<ul style="list-style-type: none"> • Chaulage des sols acides (uniquement pour les pH_{eau} initial < 6.8 et dans l'objectif d'atteindre une valeur de 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 	<p>Substituer 100 kgN d'urée par 100 kgN d'ammonitrate : -114 kgeqCO₂/ha/an</p> <p><u>Chaulage des sols acides</u> : Le chaulage contribue à une moindre émission de N₂O mais aussi à des émissions amonts et directs de CO₂ pour les carbonates.</p> <p>La méthode LBC-GC a été mobilisée pour évaluer l'effet de ce levier sur l'exemple d'une rotation colza-blé-orge, avec un chaulage en 1^{ère} année de Projet et l'application de 800 VN/ha de produit. Le pH initial considéré est de 6.3 pH et le pH final de 6.8. Les doses moyennes d'azote minéral sont issues des enquêtes SSP2017 (161kgN/ha pour le blé, 153 kgN/ha pour le colza, 124 kgN/ga pour l'orge). Les rendements moyens retenus sont de 70q/ha pour le blé, 35 q/ha pour le colza et 65 q/ha pour l'orge, avec restitution des résidus de culture. Pour cet exemple, le levier chaulage sur sol acide conduit à une réduction d'émission moyenne de -178 kgeqCO₂/ha/an (entre +112 et -343 selon les années) pour les carbonates et -123 kgeqCO₂/ha/an (entre +390 et -343 selon les années) pour la chaux.</p> <p>Les mêmes calculs appliqués à une monoculture de blé recevant 170 kgN/ha/an ont conduit à une réduction d'émission moyenne de -225 kgeqCO₂/ha/an (entre +82 et -464 selon les années) pour les carbonates et -170 kgeqCO₂/ha/an (entre +360 et -464 selon les années) pour la chaux.</p> <p>L'effet est dépendant des émissions de N₂O sur la parcelle (c'est-à-dire de la dose d'azote apportée et de la dégradation des résidus de culture et CIPAN) ainsi que de la dose d'amendement basique apporté.</p> <p><u>Enfouir les engrais dans le sol</u> : -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/varieties à plus faible besoin en azote</p>	<p>A l'année : 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 principale 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 <p>A l'échelle du système de culture : l'insertion d'une culture annuelle de légumineuses à graines (pois, féverole, soja) permet d'éviter jusqu'à 500 ou</p>

	700kgCO ₂ e/ha dans trois contextes de régions françaises. (Schneider <i>et al</i> 2023).
--	--

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)
<p>Augmenter la quantité de biomasse restituée par les couverts végétaux, par exemple par l'intégration ou extension des couverts végétaux dans les rotations.</p>	<p>Stockage additionnel moyen en France estimé à +126 kgC/ha/an ± 93 kgC/ha/an (soit 462 kgeqCO₂/ha/an ± 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>
<p>Augmentation des restitutions par les résidus de cultures (restitution des résidus, augmentation de la production de biomasse par unité de surface)</p>	<p>Effet fortement dépendant des rendements et des espèces implantées. 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</p>

	1468 et 5867 kgeqCO ₂ /ha/an) (Perrin <i>et al.</i> , 2019). 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.
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>L'effet est dépendant des quantités apportées, de la nature du produit et des caractéristiques du sol. 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 ± 78 kgC/ha/an (soit +102 kgeqCO₂/ha/an ± 286 kgeqCO₂/ha/an) • Insertion de 3 ans de prairies temporaires : stockage en moyenne +466 kgC/ha/an ± 160 kgC/ha/an (soit +1709 kgeqCO₂/ha/an ± 587 kgeqCO₂/ha/an) <p>NB : Ces résultats sont très dépendants de la culture qui est remplacée par la prairie. (Pellerin <i>et al.</i>, 2019)</p>
<p>Implantation de miscanthus sur des parcelles assolées</p> <p><i>Le maintien de parcelles en miscanthus sur l'exploitation n'est pas un levier activable pour générer des Réductions d'Emissions.</i></p>	<p>Le miscanthus permet de stocker 0,37 tC/ha/an (soit 1,37 tCO₂eq/ha/an) au nord de la France et 0,91 tC/ha/an (soit 3,34 tCO₂eq/ha/an) au sud. Ces données correspondent au stockage additionnel sur 20 ans permis par une culture de miscanthus récoltée chaque année en fin d'hiver et détruite au bout de 19 ans, en comparaison à une succession de cultures annuelles de référence pour la région. D'après la répartition actuelle des Projets de plantation de miscanthus (1/3 sud et 2/3 nord en moyenne), nous pouvons estimer le potentiel de stockage du miscanthus à 2,03 tCO₂eq/ha/an (Ferchaud <i>et al.</i>, 2022)</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
<p>Réduire la consommation de combustibles fossiles associées au séchage à niveau des organismes stockeurs</p> <ul style="list-style-type: none"> Mettre en place un itinéraire technique permettant de récolter à plus faible teneur en humidité 	<p>3,417 kgeqCO₂/kg de gaz naturel économisé</p> <p>Avec une consommation moyenne des séchoirs de 80 kg de gaz naturel / tonne d'eau à évaporer, cela fait - 27,3 kgeqCO₂/100 tonnes livrées à -1% d'humidité (avec un plancher à 25% pour le maïs par exemple)</p>
<p>Planter davantage de cultures qui sont sources de matières premières riches en protéines (MRP avec une teneur en protéine >15%MS), afin de permettre en aval la substitution de matières premières plus impactantes au sein des formulations d'aliments pour animaux.</p>	

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.

Les éléments à transmettre à l'administration pour vérifier les critères d'éligibilités du Projet sont synthétisés dans le tableau suivant. Les pièces justificatives seront à transmettre directement sur le site Démarches Simplifiées.

Tableau 5 : Critères d'éligibilité de la méthode LBC-GC

Critères d'éligibilité	Pièces justificatives
Critère d'éligibilité 1 - Exploitation ayant un atelier de grandes cultures	La surface totale en grandes cultures déclarée, dans le périmètre de la méthode label bas-carbone Grandes Cultures, a minima sur la dernière année qui précède le début du Projet, doit être supérieure à 0. <u>Pièces justificatives associées :</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Document PAC descriptif des parcelles de l'exploitation des 3 campagnes qui précèdent le Projet (à l'exception des exploitations récemment installées).
Critère d'éligibilité 2 - 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 8.5)	<u>Pièces justificatives associées :</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Attestation d'utilisation de l'outil par l'agriculteur (nominatif). ○ Attestation de conformité de l'outil à la méthode Label bas-carbone Grandes Cultures délivrée par un organisme certificateur (indiquant la version de l'outil certifiée et la version de la méthode Label bas-carbone Grandes Cultures). Ces deux documents sont à fournir par le Porteur d'Outil.
Critère d'éligibilité 3 - Respect de la conditionnalité PAC du domaine « environnement, changement climatique et bonnes conditions agricoles des terres » sur la campagne qui précède le début du Projet	<u>Pièces justificatives associées :</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Lettre de fin d'instruction TelePac sur l'attribution des aides du 1er pilier pour la campagne qui précède le début du Projet.
Critère d'éligibilité 4 – Mise en place d'au moins un levier permettant d'améliorer le bilan net de l'atelier grandes cultures de l'exploitation (RE émissions + RE stockage de Carbone > 0) (*)	<u>Pièces justificatives associées :</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Fichier de suivi EXPLOITATION (onglet Leviers) complété pour chaque exploitation du Projet avec le détail des leviers mobilisés sur l'exploitation. Au moins un levier doit être déclaré et décrit par exploitation.
(Uniquement dans le cas de la mobilisation du levier plantation de miscanthus)	Dans le cas de la mobilisation du levier miscanthus <ul style="list-style-type: none"> - Sur les parcelles envisagées pour la plantation de miscanthus, le Porteur de Projet devra justifier de la propriété des parcelles ou dans le cas où il est exploitant, de l'existence d'un bail rural
Critère d'éligibilité 5 – Mode d'usage de la parcelle et maîtrise	

de la perte de surface de l'exploitation	<p>d'une durée restante supérieure ou égale à 5 ans à partir de la date de notification de Projet</p> <ul style="list-style-type: none"> - La perte de surface cultivée au profit du miscanthus est limitée à 20 % sur l'atelier grandes cultures en période de Projet par rapport à la référence. <p><u>Pièces justificatives associées :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> o Attestation de propriété ou bail rural des parcelles concernées par la plantation, indiquant notamment la date d'échéance o Déclaration PAC de l'exploitation après plantation du miscanthus
--	--

(*) Dans le cas d'un renouvellement de Projet, le nouveau Projet est éligible s'il ajoute au moins un levier supplémentaire ou s'il va plus loin sur un ou des leviers déjà mis en place.

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

- Exploitation ayant un atelier de grandes cultures
- Réalisation d'un diagnostic de l'exploitation avec 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 de la conditionnalité de la PAC
- Mise en place d'au moins un levier permettant d'améliorer le bilan net de l'atelier grandes cultures de l'exploitation
- En cas de choix du levier miscanthus, l'agriculteur doit être propriétaire ou disposer d'un bail rural d'une durée restante égale ou supérieure à 5 ans s'il est exploitant pour les parcelles ciblées par la plantation et la perte de surfaces de l'atelier grandes cultures de l'exploitation doit être <20%.

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 exhaustive 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 exhaustive 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 6: 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 Investissement dans un semoir adapté au semis direct	-29	-14 à -44
	Déchaumage simple supplémentaire l'année suivant le semis direct pour contrôler les adventices (alternative aux herbicides)	2	0,2 à 4
↗ densité de semis	<i>Densité de semis augmentée d'environ 20%</i>	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>	4	-14 à 23
	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 7: 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	-81 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 8 : 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)	-3	-18 à 0
	Diminution de la surface allouée aux cultures (manque à gagner sur les ventes de ces cultures)	94	22 à 295
	Changement d'itinéraires techniques sur les hectares concernés (baisse des charges en intrants variables)	-23	-101 à 20
	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>	8	-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	-38 à 57
	Coût total pour l'agriculteur	91 €/ha/an	-40 à 314

(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 moyen de l'ordre de 22,6 €/ha/an.

Tableau 9 : 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 <i>17 €/tMB compost biodéchets ; 7,5 €/tMB composts boues ; 19 €/tMB composts déchets verts ; 0 €/tMB digestats</i>	73	32,6 à 218,6
	Transport des NRO <i>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</i>	42,4	0 à 144,8
	Épandage des NRO <i>Composts 15 tMB/ha épandu ; Digestats 25 tMB/ha épandu ; Composts de boues de STEP et digestats de biodéchets épandus gratuitement</i>	4,8	1,3 à 10,3
↳ fertilisation minérale N	Diminution de la dose et du nombre de passages <i>-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</i>	-7,6	-19,4 à -1,5
Variations de rendements	Augmentation du rendement des cultures de vente <i>Simulée par STICS</i>	-86,7	-128,2 à -8,8
	Variation de rendement des fourrages <i>Simulée par STICS</i>	-3,2	-26,4 à 3,8
	Coût total pour l'agriculteur	22,6 €/ha/an	-92 à 269

(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 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.).

Plantation de miscanthus

La plantation de miscanthus est une pratique vertueuse pour le stockage de carbone dans les sols mais qui fait face à des freins économiques. Les freins sont principalement d'ordre économique et lié à l'investissement initial important et à l'absence de récolte pendant les premières années.

En effet le coût d'implantation du miscanthus s'évalue à environ 3 200 € par hectare et les producteurs n'ont pas de récolte ni de revenus associés sur les 2 premières campagnes qui suivent la plantation. Les débouchés permettant de valoriser annuellement la production peuvent être également fluctuants selon les territoires dans lesquels les producteurs sont implantés.

En plus de l'investissement conséquent associé à la plantation, le miscanthus est une plante peu connue, qui nécessite de la formation pour comprendre et adapter les pratiques culturales.

Détail du coût d'investissement du miscanthus

- Le coût des rhizomes : 14 à 16 cts €/rhizome (source : NOVABIOM), soit 2 800 à 3 200 €/ha pour une densité de plantation de 20 000 pieds/ha ;

- Le coût de la planteuse (main-d'œuvre compris) + transport : 400 €/ha.

- Le coût de désherbage suite à la plantation qui est d'environ 200 €/ha (uniquement la première année)

Le miscanthus est généralement récolté avec une ensileuse à maïs. La prestation d'ensilage coûte environ 250€/ha et la rotation de 2 bennes avec main d'œuvre 65€/ha, soit un coût annuel de 300€/ha.

Source : https://normandie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Normandie/506_Fichiers-communs/PDF/ENERGIES/innobioma-f6-filiere-miscanthus_web.pdf

Des subventions existent pour soutenir la plantation de miscanthus notamment certaines Agences de l'Eau peuvent à des échelles régionales proposer des aides. Dans le cas de l'obtention de subventions, le Porteur de Projet devra réaliser une démonstration de l'additionnalité de son Projet et notamment réaliser un budget partiel pour vérifier que les subventions perçues ne couvrent pas 100 % des coûts du Projet. Ces aides et subventions devront être prises en compte dans le budget partiel (partie 4.2.1).

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 esquivé partielle du stress hydrique de fin de cycle. Cependant, des freins existent à la mise en place de cette stratégie et l'esquivé 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 : <https://www.arvalis.fr/>, Adapter les pratiques culturales au changement climatique*).

Implanter davantage de cultures qui sont sources de matières premières riches en protéines (MRP avec une teneur en protéine >15%MS).

Diversifier les cultures de l'assolement entraîne parfois des prises de risques pour l'agriculteur : (i) l'introduction d'une nouvelle culture (ou l'augmentation de surfaces de cultures moins dominantes) nécessite une montée en compétences pour conduire la culture proche d'un potentiel maximal de rendement, (ii) les aléas climatiques renforcés représentent un risque pour l'implantation du colza en été, pour la gestion des maladies l'hiver, la résilience aux coups de gel tardifs ou aux périodes de stress hydriques ou thermiques au printemps ou été pour les légumineuses à graines, (iii) le prix du débouché en alimentation animale est peu attractif (matières premières substituables dans les formulations des aliments basés sur un choix d'optimisation économique), etc.

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

Un renouvellement est additionnel s'il implique l'ajout d'au moins un levier supplémentaire ou d'aller plus loin sur un ou des leviers déjà mis en place. Comme dans le cas d'un premier Projet, si des aides sont touchées, il faut démontrer l'additionnalité via la réalisation d'un budget partiel.

Cas particulier des 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.

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 selon deux modalités :

- Scénario semi-générique : systèmes de culture spécifiques et pratiques culturales basées sur des moyennes régionales.
- Scénario générique : systèmes de culture et pratiques culturales basées sur des moyennes régionales.

Dans le cas d'un scénario de référence semi-générique ou 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 6.5.1).

5.1 Choix du type de scénario de référence

Le choix entre les trois types de scénario de référence (spécifique, semi-générique ou générique) 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 carbone sol.

Dans le cas où une exploitation aurait choisi en début de Projet le scénario de référence spécifique :

- Dans le cas d'absence de données spécifiques sur une ou plusieurs pratiques données, il sera possible d'utiliser certaines données génériques si un nombre restreint (< 50% de l'ensemble des données) de données sont manquantes pour un scénario spécifique, dans l'objectif de pousser à l'établissement de scénario spécifique.
- Si de nouvelles parcelles sont intégrées en cours de Projet, trois cas de figure se présentent :

- L'agriculteur a accès à l'historique des parcelles (assolements et pratiques) : utilisation du scénario de référence spécifique pour ces parcelles.
- L'agriculteur a accès à l'historique des parcelles mais fait partie d'un Projet collectif et utilise la référence (semi-)générique : utilisation du scénario de référence (semi-)générique pour ces parcelles.
- L'agriculteur n'a pas accès à l'historique des parcelles : utilisation du scénario de référence générique.

5.2 Définition des systèmes de culture

Le grain du scénario de référence est défini à l'échelle du système de culture (SdC) défini comme étant la combinaison entre la stratégie culturale (composante stratégique) et l'itinéraire technique (composante tactique) localisé dans un contexte pédoclimatique donné (composante biophysique). Ce chapitre propose une méthode pour définir les SdC d'une exploitation. Son usage est recommandé, mais pas obligatoire. Du fait de sa complexité et de son manque de justificatifs, la définition des systèmes de culture n'est pas soumise à l'audit en fin de Projet.

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 » rencontrées sur l'ensemble des parcelles de l'exploitation.

Description du climat

Pour définir le climat, le Porteur de Projet a deux options :

- Considérer que l'ensemble des parcelles d'un même département est dans une unité climatique homogène (simplification)
- 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), etc.

Pour les exploitations transfrontalières sur deux départements côte à côte, on peut considérer qu'il n'y aura pas de différence climatique. Il est donc possible d'utiliser le département où il y a la majorité des surfaces de l'exploitation et affecter ce climat à l'ensemble de parcelles de l'exploitation. Dans le cas d'exploitations ayant des parcelles sur des départements non adjacents et dans des zones climatiques différentes, il est nécessaire de les différencier en différents SdC.

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 de caractérisation des 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 :

1. 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 CEC_{metson}, le % argile, le pH_{eau}, la profondeur de sol et le % de cailloux.

Tableau 10 : Classification des principaux types de sol en grande culture en France.

% CaCO ₃	% argile	% sable	Profondeur	Texture
< 5	0 à 18	0 à 10	--	Limon
		10 à 55	--	Limon sableux
		> 55	--	Sableux
	18 à 28	0 à 20	--	Limon argileux
		20 à 55	--	Limon argilo sableux
		> 55	--	Sable argileux
> 28	0 à 20	--	Argile	
	20 à 55	--	Argile sableuse	
5 à 50	0 à 18	--	--	Limon calcaire
	18 à 28	--	--	Limon argilo calcaire
	> 28	--	< 25 cm	Argilo calcaire très superficiel caillouteux
		--	25 < < 40 cm	Argilo calcaire superficiel caillouteux
--	> 40 cm	Argilo calcaire profond		
> 50	--	--	--	Sol de craie

Source : adapté du triangle de texture à 16 classes, Jamagne 1968 repris par Hébert (1974).

2. 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 la classe adéquate sur chacun des 5 critères suivants :

Tableau 11: Critères de classification des types de sol de la Base-Sol Arvalis.

Critères	Modalités
Calcaire	Non calcaire (%CaCO ₃ < 5%) Calcaire (%CaCO ₃ > 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.

A noter : Une caractéristique des sols qui peut fortement conditionner l'existence de plusieurs SdC sur une même exploitation est la réserve utile. Cette caractéristique n'est pas proposée dans les classifications ci-dessus, notamment du fait qu'elle découle des paramètres texture x profondeur x cailloux qui apparaissent explicitement.

5.2.2 Description de la stratégie culturale

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
- Le type de succession culturale
- La fréquence des apports de MAFOR
- L'historique de changements notables de la stratégie culturale

1. Le type d'agriculture :

Trois types d'agricultures sont définis. L'agriculteur identifie lui-même son type d'agriculture. L'objectif ici est de regrouper des parcelles qui se ressemblent.

Agriculture biologique (inclut les parcelles en conversion biologique)

Dans le cas des parcelles en conversion (voir schéma ci-après), on applique les règles suivantes :

- Si des parcelles étaient en première ou deuxième année de conversion dans l'année qui précède ou qui antécède le Projet, elles seront considérées comme déjà en agriculture biologique sachant que la parcelle sera en agriculture biologique durant le Projet. Ce type d'agriculture représente un changement important des pratiques, il est conseillé de poursuivre en agriculture biologique tout au long du Projet afin de garantir une cohérence du ou des systèmes de culture définis. Si une déconversion est inévitable, il faut le préciser dans les documents de suivi.
- Selon la date de notification de conversion et la nature des cultures (donc leurs dates de semis), il peut y avoir 2 ou 3 campagnes considérées en conversion.

A noter : il est possible que l'exploitation se convertisse en agriculture biologique dans le Projet tout en démontrant l'additionnalité économique.

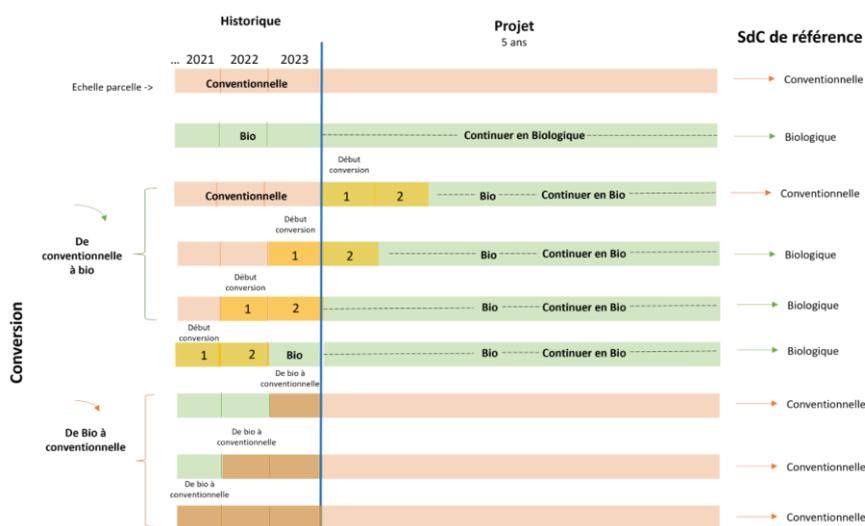


Figure 12 : Type d'agriculture de référence selon les différents cas de figure pour une parcelle : en conventionnel, en conversion, en agriculture biologique.

Agriculture conventionnelle

Dans le cas de parcelles dont la conduite repasserait d'agriculture biologique à conventionnel au cours des dernières années (déconversion), la référence sera conventionnelle.

Si la parcelle démarre la conversion en agriculture biologique lors de la première année du Projet (ou pendant le Projet), dans ce cas-là la référence est considérée en conduite conventionnelle.

Autres types d'agriculture (ACS, biodynamie, etc.)

2. Le type de succession culturale (séquences de cultures dominantes) :

La classification proposée résulte d'une analyse des successions aux échelles européenne et française, déclinée dans une approche régionale (Ballot, R., et al (2023)). Elle a été choisie ici dans un objectif de simplicité et pour sa couverture nationale. Elle n'a pas vocation à être exhaustive avec la description de l'ensemble des cultures mais bien d'identifier les cultures dominantes en termes de fréquence de présence dans la succession de culture.

- Céréales à paille (*Blé tendre, blé dur orge, avoine, triticale, seigle*)
- Colza et céréales à paille
- Prairies temporaires en rotation
- Maïs et céréales à paille
- Cultures industrielles (*Pomme de Terre et betterave à sucre*) et céréales à paille
- Tournesol et céréales à paille
- Légumineuses (*légumineuses secs - soja*) et céréales à paille
- Légumineuses fourragères (*luzerne et trèfle*) et céréales à paille

3. La fréquence des apports de MAFOR :

- Apport régulier depuis plus de 10 ans (normalement tous les 4 ans)

- Pas d'apport régulier historique

4. L'historique de changements notables de la stratégie culturale

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 intervenu dans les 10 dernières années avant la mise en place du Projet, sera renseignée et permettra de différencier des SdC même si les stratégies et conduites sont identiques au moment du lancement du Projet. Ces changements notables de stratégie culturale correspondent aux caractéristiques décrites ci-dessus, ce 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 MAFOR, etc.

5.2.3 Description de l'itinéraire technique

Afin d'éviter une définition alourdie et comme l'itinéraire technique de chaque culture sera décrit plus tard, nous considérons qu'en définissant le type d'agriculture et la succession culturale (étape précédente), la majorité des itinéraires techniques communs à ces principales stratégies sont déjà constitués. Pour cette raison, dans cette section, il sera uniquement demandé le type d'irrigation. On distinguera les situations suivantes :

- Accès à l'irrigation :
 - Non systématique : accès partiel, si la fréquence d'irrigation est égale ou inférieure à 1/3 des cultures sur la parcelle,
 - Systématique : accès à la quasi-totalité des cultures. Si la fréquence d'irrigation est supérieure à 1/3 des cultures sur la parcelle,
- Pas d'accès à l'irrigation.

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 culturales 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 culturales 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. **Si la superficie de l'exploitation a évolué au cours des trois dernières années, il est proposé d'effectuer une moyenne pondérée des surfaces.**

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 semi-générique ou 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 semi-générique ou générique peuvent être des options pertinentes. En effet, en réduisant le temps et le coût d'acquisition des données de référence, elles peuvent être une solution pour engager plus largement des exploitations agricoles.

Tableau 12 : Présentation et cas d'usage des références semi-générique et spécifique

	Scénario de référence semi-générique	Scénario de référence générique
Assolement	Basé sur l'assolement de l'exploitation sur les 3 dernières, à partir par exemple des données issues du RPG ou de données satellitaires.	Basé sur l'assolement moyen de la Région Agricole d'appartenance de l'exploitation.
Pratiques culturales	Basé sur les pratiques moyennes départementale, régionale ou nationale des cultures présentes dans l'assolement.	Basé sur les pratiques moyennes départementale, régionale ou nationale des cultures présentes dans l'assolement.
Cas d'usage	Cette référence peut être mobilisée dans le cas où l'assolement moyen est connu (cf. ligne Assolement) mais les pratiques ne sont pas connues.	Cette référence peut être mobilisée dans deux cas : <ul style="list-style-type: none"> • Si l'assolement moyen n'est pas connu (trou dans le RPG par exemple). OU <ul style="list-style-type: none"> • Si l'assolement moyen est connu, mais que les cultures présentes dans cet assolement n'ont pas d'itinéraire technique générique associé.

5.4.1. Scénario de référence semi-générique

Dans le cas du choix d'un scénario de référence semi-générique, seules les données d'assolement de l'exploitation sur les 3 années précédant le début du Projet devront être collectées. Les conduites culturales de référence (fertilisation minérale et organique, rendements, travail du sol...) devront être définies à partir de données de références proposées dans l'Annexe 3-1. Ces données sont issues de plusieurs sources :

- Les ITK des Grandes Cultures majoritaires sont issues du traitement des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures réalisées 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 ITK des autres cultures (fourrages, légumes de plein champ, etc) proviennent de sources diverses et, dans la mesure du possible, publiée (ex : Enquêtes AgroLuz pour la luzerne déshydratée) ou de sources reconnues (ex : données d'ITK utilisées dans la BDD Agribalyse pour le melon).

Les données d'assolement de l'exploitation couplées aux pratiques moyennes issues des enquêtes pratiques culturales 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 3-1. L'utilisation de l'Annexe 3-1 et les choix méthodologiques réalisés sont explicités dans les 2 premiers onglets.

Dans le cas de l'utilisation d'un scénario de référence semi-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 semi-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

Culture	Données à collecter			A calculer	
	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 carbone sol 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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol 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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol 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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires
Fréquence des cultures dérobées dans la rotation	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires
Biomasse moyenne produite par les cultures dérobées	Culture par département			RE Stockage carbone sol 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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol
Irrigation (mm/an)	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol RE Emissions : EGES combustibles irrigation
Fertilisation minérale apportée par culture	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol RE Emissions : QN org, Q org
Pratiques d'épandage,	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête	RE Emissions : Frac GAZM

d'enfouissement et délais			SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	
Amendements basiques	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	RE Emissions : Dp (dose CaCO3), 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 carbone sol RE Emissions : EGES combustibles engins
Type de sol	Région	Utiliser les critères de choix des sols pour sélectionner un type de sol	Bases de données sol, par exemple base sols Arvalis	RE stockage carbone sol

5.4.2. Scénario de référence générique

Dans le cas du choix d'un scénario de référence générique, aucune donnée d'assolement ou de pratique n'est à collecter à l'exploitation pour la construction du scénario de référence. L'assolement moyen de référence devra être défini à partir des données de références listées dans l'Annexe 3-2. Les données d'assolement sont définies par Région Agricole à partir d'une moyenne des données RPG sur 3 ans (2019-2020-2021). Le rattachement d'une exploitation à une RA est explicitée dans l'Annexe 3-2. Les conduites culturales de référence (fertilisation minérale et organique, rendements, travail du sol...) devront être définies à partir de données de références listées dans l'Annexe 3-1. Ces données sont issues de plusieurs sources :

- Les ITK des Grandes Cultures majoritaires sont issues du traitement des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures réalisées 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 ITK des autres cultures (fourrages, légumes de plein champ, etc) proviennent de sources diverses et, dans la mesure du possible, publiée (ex : Enquêtes AgroLuz pour la luzerne déshydratée) ou de sources reconnues (ex : données d'ITK utilisées dans la BDD Agribalyse pour le melon).

Les données d'assolement de l'exploitation couplées aux pratiques moyennes issues des enquêtes pratiques culturales 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 3-1. L'utilisation de l'Annexe 3-1 et les choix méthodologiques réalisés sont explicités dans les 2 premiers onglets.

Dans le cas de l'utilisation d'un scénario de référence semi-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 :

Recherche de l'assolement moyen de rattachement 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>	<i>A calculer</i>
Culture	Surfaces issues de l'Annexe 3-2 (années 2019-2021-2022) Exprimées en ha	Fréquence culture sur 5 ans
Blé tendre d'hiver	31696.00	2.10
Orge d'hiver	13280.33	0.88
Orge de printemps	11245.67	0.74
Tournesol	6448.00	0.43
Colza d'hiver	5329.00	0.35
Pois de printemps semé avant le 31/05	3553.33	0.24
Maïs	2059.00	0.14
Maïs ensilage	1910.33	0.13
Total	75521.66	

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	Agreste - Statistique Agricole Annuelle (SAA)	RE Stockage carbone sol

		3 dernières années		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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol 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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol 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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires
Fréquence des cultures dérobées dans la rotation	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol RE Emissions : QN résidus cultures intermédiaires
Biomasse moyenne produite par les cultures dérobées	Culture par département			RE Stockage carbone sol 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 Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol
Irrigation (mm/an)	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	RE Stockage carbone sol RE Emissions : EGES combustibles irrigation
Fertilisation minérale apportée par culture	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	RE Emissions : QN min, Q engrais simple
Type et dose de MAFOR apportés	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête	RE Stockage carbone sol

			SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	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 Annexe 3-1)	RE Emissions : Frac GAZM
Amendements basiques	Culture par département	Utiliser la donnée fournie	Extraction des données enquête SSP 2017 (voir Annexe 3-1)	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 carbone sol RE Emissions : EGES combustibles engins
Type de sol	Région	Utiliser les critères de choix des sols pour sélectionner un type de sol	Bases de données sol, par exemple base sols Arvalis	RE stockage carbone sol

5.5 Scénario de référence dans le cas d'un renouvellement de Projet

En cas de renouvellement de Projet, et quelques soit la référence choisie, 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.

Si l'outil le permet, et si le scénario de référence du premier Projet était en référence spécifique, les pratiques de référence du premier Projet peuvent être conservées pour les RE

stockage carbone sol.

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

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

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

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

Avec :

- *RE_{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 teqCO₂)
- *RE_{stockage carbone sol}*, les réductions d'émissions effectuées associées au stockage de carbone dans les sols par le Projet exprimée en tonnes équivalent CO₂ (en teqCO₂)
- *RE_{aval}*, les réductions d'émissions indirectes à l'aval de l'exploitation (réduction des émissions de GES liées au séchage des productions) (en teqCO₂)
- *f_{rabais}*, les rabais appliqués aux différentes RE, qui sont résumés en partie 6.5

Équation 1 : Calcul des réductions d'émissions

Les RE *stockage carbone sol* et les RE *émissions* peuvent être positives ou négatives et doivent dans tous les cas être calculées. Le calcul de RE *stockage carbone sol* + RE *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 *émissions*

Les RE *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).

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

Avec :

- *RE_{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_{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_{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
- *RE_{protéines}* : les réductions d'émissions directes et indirectes amont permises par l'augmentation de la fourniture en matières riches en protéines substituables aux tourteaux de soja importé
- *RE_{miscanthus}* : les réductions d'émissions associées aux parcelles concernées par la plantation de miscanthus

Équation 2 : Calcul des RE *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 *séchage stockage* comme nuls.

En revanche, les termes RE_{combustibles} et RE_{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 carbone sol** » 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_{N_2O} : le pouvoir réchauffant du N_2O (cf. table en Annexe 4)

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

➤ **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 N_2O-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 N_2O 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 :

1. Si l'indice de récolte (IR_j) de la culture j est référencé dans la table en Annexe 5, 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)

2. Si l'indice de récolte (IR_j) de la culture j n'est pas référencé dans la table en Annexe 5, alors : $AG_DM_j = RDT_{j,i,k} * PENTE_j + INTERCEPT_j$ (source : IPCC 2019) (voir tables en Annexe 5)

- $RDT_{j,i,k}$, 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 $RDT_{j,i,k} = RDT_réel_{j,i,k} * \%_MS_j$ où $\%_MS_j$ la

teneur en matière sèche de la culture j récoltée. Si %_MS_j n'est pas connue, alors on utilise les tables disponibles en Annexe 5, onglet CA_Référentiel, colonne « Teneur en matière sèche de la culture récoltée ».

- FRAC_export_j, la fraction des résidus aériens exportés de la culture j (table par culture disponible en Annexe 5). 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 5)

- RS_j, le ratio entre les résidus de cultures racinaires et la biomasse aérienne de la culture j (voir tables en Annexe 5)

- N_BG_j, la teneur en azote des résidus souterrains de la culture j, en % (voir tables en Annexe 5)

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

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

$$QN_résidus_CI_{i,k} = \sum_{j=1}^m [BIOM_{j,i,k} * (N_{AG_{j,i,k}} + R_{MSr/MSa_j} * \%N_{racine_j}) * 1000] * Surf_{j,i,k}$$

- 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 (cf. paramètre %MS dans l'Annexe 5, onglet CI_Référentiel).

Cas particulier des jachères : se référer à l'Annexe 5, onglet CI_Abaque biomasse pour l'estimation de la biomasse produite.

- 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 5

- R MSr/MSa_j, le ratio de matière sèche racinaire sur la matière sèche aérienne de l'espèce j (en %)

- %N Racines_j, le coefficient correcteur azote des racines pour l'espèce j (en %)

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

Cas particulier des jachères : les réductions d'émission liées à la gestion des résidus de culture des jachères sont à estimer à l'aide de l'équation QN_résidus_CI_{i,k}.

- QN_résidus_CD_{i,k} : 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 5, 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 5, alors : AG_DM_j = RDT_{j,i,k} x PENTE_j + INTERCEPT_j (source : IPCC 2019) (voir tables en Annexe 5)

- 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} * %_{MS}_j où %_{MS}_j la teneur en matière sèche de la culture j récoltée. Si %_{MS}_j n'est pas connue, alors on utilise les tables disponibles en Annexe 5, onglet CA_Référentiel, colonne « Teneur en matière sèche de la culture récoltée ».

- FRAC_{export}_j, la fraction des résidus aériens exportés de la culture dérobée j (table par culture disponible en Annexe 5).

- N_{AG}_j, la teneur en azote des résidus aériens de la culture dérobée j en % de la matière sèche (voir tables en Annexe 5)

- RS_j, le ratio entre les résidus de cultures racinaires et la biomasse aérienne de la culture dérobée j (voir tables en Annexe 5)

- N_{BG}_j, la teneur en azote des résidus souterrains de la culture dérobée j, en % (voir tables en Annexe 5)

- 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 carbone sol}. Dans ce cas, QN_{minéralisé}_{i,k} = QC_{minéralisé}_{i,k} * 1/R * 1000 (IPCC, 2019), avec QC_{minéralisé}(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} = 0,65 (d'après Pellerin *et al.*, 2013). L'abattement de 35% est issu de la méta-analyse Akiyama *et al.*, 2010 complétée par celle de Ruser *et al.*, 2015 basée sur l'analyse de 150 essais implantés entre 1984 et 2014. Ce taux d'abattement intègre l'incertitude associée à l'effet des inhibiteurs de nitrification sur la réduction des émissions de N₂O selon les contextes pédoclimatiques. EF1_{min}, le facteur d'émissions pour les sources d'azote minérales ; EF1_{min} = 0,016 kg N₂O-N/kg N
- EF1_{org}, le facteur d'émission pour les sources d'azote organiques ; EF1_{org} = 0,006 kg N₂O-N/kg N
- C_{chaulage}_{i,k}, le coefficient d'abattement des émissions directes de N₂O 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 calcul peut se faire pour un pHeau final atteint après le chaulage entre 6.4 et 6.8. Ce coefficient d'abattement devra être calculé selon la formule suivante :

$$C_{\text{chaulage}_{i,k}} = \text{Min}\left(1; 1 - \left[\frac{\min(\min(\text{pH}_{\text{final}}; 6.8) - \max(\text{pH}_{\text{initial}}; 6.4)); 0.4}{0.4} \right] \times (0.5 \times \exp^{-0.33 \times k_{\text{chaulage}}}) \right)$$

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

(Source : méthode Expert issue des travaux Hénault *et al.* 2019, revue en 2024)

Avec :

- k_{chaulage}, le nombre d'années après l'application de l'amendement basique. Le coefficient prenant la valeur de 0 l'année de l'application de l'amendement basique. Ce coefficient permet de prendre en compte un effet année et une diminution de l'efficacité de l'abattement des émissions de N₂O au cours du temps.
- pH_{initial}, le pHeau initial moyen des parcelles concernées par le chaulage, avant que le chaulage ne soit effectué. Cette valeur n'est pas réactualisée tant qu'il n'y a pas de nouveau chaulage. Dans le cas d'un pHeau initial > 6,8, le levier chaulage ne peut être mobilisé (il n'y a pas d'abattement des émissions de N₂O 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). Le pH final est celui obtenu après le chaulage, il n'est pas réactualisé tant qu'il n'y a pas de nouveau chaulage. Dans le cas d'un pHeau final < 6,4, il n'y a pas d'abattement des émissions de N₂O 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

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.

Pour calculer la dose d'amendement basique à apporter pour atteindre un pH_{eau} voulu, la formule de calcul de dose du COMIFER peut être utilisée (voir Annexe 6). La preuve que le pH_{eau} souhaité a été atteint peut être apportée de deux manières : soit par l'adéquation entre la dose calculée par la formule du COMIFER et la dose réellement apportée, soit par une mesure de pH l'année après l'apport, le pH_{eau} devant être mesuré sur la profondeur d'enfouissement de l'apport d'amendement.

- **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 7.
- 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/t). 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_i x (F_Volat_NH3_i + F_Volat_NOx_i) x FA_matériel/délais_i

Avec :

- TAN_i : teneur en azote ammoniacale de l'apport organique i (en kg N-NH₄/t)
- F_Volat_NH3_i, le facteur de volatilisation N-NH₃ de l'apport organique i de l'apport organique i (en kg N-NH₃/TAN)
- F_Volat_NOx_i, le facteur de volatilisation N-NO_x de l'apport organique i (en kg N-NH₃/TAN)
- FA_matériel/délais_i, le facteur d'abattement associé au mode d'épandage et au délai d'enfouissement réalisé de l'apport organique i (sans unité)

Les tables de références permettant le calcul des différents facteurs sont en Annexe 7

- 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_lxiviation_{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)
- 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 N₂O-N/kg N lessivé

➤ **CO2_directes_{i,k}** : émissions directes de dioxyde de carbone associées à la l'application de produits à base de CaCO₃ sur le système de culture i en année k, exprimées en kgeqCO₂ 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 (CaCO₃) 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 CaCO₃ équivalent à 36 % de la quantité de matière brute apportée.
- t_C le **taux de carbone du produit appliqué émis**, t_C = 0,75 (**synthèse entre IPCC et West et al. suggéré par IPCC 2019 = 2006**).
- FC_C-CaCO₃ le facteur de conversion de CaCO₃ en C, FC_C-CaCO₃ = 12/100
- FC_CO₂-C, le facteur de conversion du C en CO₂, FC_CO₂-C = 44/12

Le calcul des émissions de CO₂ directes associées à l'application de produits à base de CaCO₃ 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 CaCO₃ ne seront pas significativement modifiés entre la référence et le Projet.

➤ **CO2_urée_{i,k}** : émissions directes de dioxyde de carbone associées à la l'application d'urée sur le système de culture i en année k, exprimées en kgeqCO₂ et déterminées selon l'équation suivante :

$$CO2_urée_{i,k} = D_urée_{i,k} * EF_urée * FC_CO_2-C * F_EngrMoy$$

Equation 11 : Calcul des émissions de CO₂ directes au champ

(Source : GIEC, 2006)

Avec :

- D_urée_{i,k}, la dose d'urée (CO(NH₂)₂) appliquée sur le système de culture i en année k (en kg).

- EF_urée, le facteur d'émission de CO₂ liée à l'application de l'urée. EF_urée = 0.20 ce qui équivaut à la teneur en carbone de l'urée sur la base du poids atomique (Source : GIEC, 2006).
- FC_CO₂-C, le facteur de conversion du C en CO₂, FC_CO₂-C = 44/12
- F_EngrMoy, le facteur qui correspond à la part d'urée dans l'engrais azoté moyen. F_EngrMoy = 0.2112 si l'engrais azoté moyen est utilisé ; F_EngrMoy = 0 sinon.

Le calcul des émissions de CO₂ directes associées à l'application d'urée doit être utilisé dès lors qu'un apport d'urée est réalisé ou qu'un engrais apporté est rattaché à l'engrais azoté moyen, et ce que ce soit dans le scénario de Référence ou de Projet. Attention, dans le cas d'un rattachement à l'engrais azoté moyen, ce dernier n'étant pas composé à 100% d'urée, il est nécessaire d'appliquer en plus le facteur de 0.2112 qui correspond à la part d'urée dans l'engrais azoté moyen.

➤ **GES_amont_min_{ik}** : émissions associées à la fabrication des engrais minéraux et des amendements calcaires, de leurs matières premières et à leur transport, exprimées en kgeqCO₂ et déterminées selon l'équation suivante :

$$\text{GES_amont_min}_{i,k} = \sum_{l=1}^o [(Q_{\text{engrais_simple}}_{l,i,k} * FE_l) + (QN_{\text{engrais_bin}}_{l,i,k} * FE_{N_l}) + (QP_{\text{engrais_bin}}_{l,i,k} * FE_{P_l}) + (QK_{\text{engrais_bin}}_{l,i,k} * FE_{K_l}) + (Q_{VN_{l,i,k}} * FE_{VN_l})]$$

Equation 12 : 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 7).
- 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)
- 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 7)
- 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 7)
- 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 7) **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**
- Q_VN_{l,i,k}, la quantité de valeur neutralisante apportée 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 neutralisante 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 7)

Dans le cas où l'apport d'engrais minéral apporté par l'agriculteur n'est pas disponible dans le référentiel en Annexe 7 et si l'agriculteur connaît l'empreinte carbone du produit apporté et en mesure de la justifier (cf. Annexe 8), alors la possibilité est laissée au Porteur de Projet de spécifier la valeur du facteur d'émissions (FE, F_N, FE_P, FE_K et FN_VN) associé au produit.

➤ **GES_amont_org_{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 12 : 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_amont_org_{i,k}.

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

Equation 13 : 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_{PRO_l}, le facteur d'émission associé à l'engrais organique l par tonne ou m³ de produit brut (voir table en Annexe 7) issu d'Agribalyse v3.2 (basé sur les travaux d'Avadi et al., 2020)

Dans le cas où l'apport organique apporté par l'agriculteur n'est pas disponible dans le référentiel en Annexe 7 et si l'agriculteur connaît l'empreinte carbone du produit organique apporté et en mesure de la justifier (cf. Annexe 8), alors la possibilité est laissée au Porteur de Projet de spécifier la valeur du facteur d'émissions (FE_{PRO}) 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 14: 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 13 : 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 un tiers	0 %
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 :

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

Equation 15 : 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 9).

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 10.

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)

Equation 16 : 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 9 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)
- 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 9)
- FE_{GNR} , facteur d'émissions directes et indirectes du gazole non routier (teqCO₂/unité) (voir Annexe 9)

Et :

$$EGES_{combustibles_{irrigation}}(k) = \text{Conso irrigation i} \times \text{Volume eau i (k)} \times \frac{FE_i}{F_{kWh \rightarrow GNR}}$$

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 9.

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 m³ d'eau)

$F_{kWh \rightarrow GNR}$, le facteur de conversion de kWh vers des litres de GNR, égal à 10.

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

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 17 : 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_{énergie_{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 teqCO₂/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_{énergie_{Projet}}* : le facteur d'émission directes et indirectes de l'énergie utilisée pour le séchage des grains sur le Projet (en teqCO₂/unité d'énergie)

Équation 18: Calcul des RE_{séchage ferme}

Les RE_{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_{stockage ferme}, en teqCO₂.

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

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_{énergie 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 teqCO₂/unité d'énergie)
- tonnage séché_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_{énergie projet} : le facteur d'émissions directes et indirectes de l'énergie utilisée pour le stockage des productions sur le Projet (en teqCO₂/unité d'énergie)

Équation 19: Calcul des RE_{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} :

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

Équation 20: 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 :

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

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
- $\text{Conso}_{\text{séchage}_{ref j}}$: 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)
- $\text{Conso}_{\text{séchage}_{Projet j}}(k)$: 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)
- $\text{tonnage}_{\text{séchée}_j}(k)$: le volume de production séché de la culture j en année k du Projet (en tonnes humide)
- $FE_{\text{gaz naturel}}$: le facteur d'émissions directes et indirectes du gaz naturel (teqCO₂/kg gaz naturel) – voir table en Annexe 11

Équation 21: 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 :

$$\text{Conso}_{\text{séchage}_{ref j}} = \text{si } H_{ref j} > \text{Seuil}_{\text{séchage}_j}, \text{ alors } \left(\frac{H_{ref j} - H_{objectif j}}{100 - H_{objectif j}} \right) * \text{Conso}_{\text{séchoir}}, \text{ sinon } 0$$

$$\text{Conso}_{\text{séchage}_{Projet j}}(k) = \text{si } H_{Projet j} > \text{Seuil}_{\text{séchage}_j}, \text{ alors } \left(\frac{H_{Projet j} - H_{objectif j}}{100 - H_{objectif j}} \right) * \text{Conso}_{\text{séchoir}}, \text{ sinon } 0$$

Avec :

- $H_{ref j}$: 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 11
- $H_{objectif j}$: humidité du grain visée pour le stockage et la commercialisation pour la culture j (en %) – cf. Annexe 11
- $H_{Projet j}(k)$: 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 $\text{Conso}_{\text{séchoir}} = 80$ kg gaz naturel / tonne eau à évaporer

Équation 22 : 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 11. 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 11.

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

Les RE_{protéines} correspondent aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre indirectes permises par la production de matières premières riches en protéines (MRP) produites sur l'exploitation, substituables au tourteau de soja pour l'alimentation animale en aval de l'atelier grandes cultures. Les MRP sont caractérisées par une teneur en protéines supérieure à 15% de matière sèche et 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 par défaut selon le pourcentage moyen de l'utilisation française de la matière première récoltée).

L'équation qui permet de calculer la RE liée à la valorisation en protéines pour l'alimentation animale est la suivante :

$$RE_{protéines} = \sum_{k=1}^n RE_{protéines\ k}$$

Avec :

- k = année considérée, de 1 à 5 pour les 5 années du Projet

et :

$$RE_{protéines\ k} = \sum_{i=1}^n (\text{Delta}(R_i * \text{Surf}_i) * \text{RatioMRP}_i * Ft * (FET_{soja}/CEpi - FE_i))$$

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 MRPi sur l'année k, par rapport au scénario de référence (quantité de la culture i produite par an dans le scénario de référence) = Rdt_i_Projet*Surf_i_Projet - Rdt_i_ref*Surf_i_ref.

- Ratio MRPi : pourcentage du débouché de la culture récoltée i, qui est source de MRP pour l'alimentation animale

- Ft : facteur de transformation pour obtenir la part de MRPi produite à partir de la culture récoltée i

- CEpi = coefficient d'équivalence en protéine de la MRPi issue de la culture i de l'exploitation agricole par rapport au tourteau de soja moyen utilisé en alimentation animale, avec MRPi : 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

- FEi = Facteur d'émissions (en teqCO2/t) de la MRPi

- FET_{soja} = Facteur d'émissions (en teqCO2/t) du tourteau de soja importé utilisé en France

Équation 23 : Calcul des RE_{protéines}

L'Annexe 11bis fournit les références et valeurs nécessaires aux calculs des termes de l'équation précédente, avec les tableaux pour :

- Le CEpi qui est obtenu par l'équation suivante : CEpi = 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 (QNi) et pour le tourteau de soja (QNt_{soja}).
- Les valeurs de FEi et FET_{soja} sont les valeurs 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 et disponibles dans ECOINVENT (données mise à jour en 2023).

- 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 (dans ce cas, un rabais sera appliqué au RE_{protéines}, cf. partie 6.5).
- 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).

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

Prévu dans une mise à jour ultérieure de la Méthode.

6.3 Calcul des RE stockage carbone sol

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 carbone sol sont comptabilisées par la Méthode. Elles sont exprimées en teqCO₂.

L'objectif dans l'estimation des RE stockage carbone sol 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 carbone sol est la suivante :

$$RE_{\text{stockage carbone sol}} = \text{Delta_StockC} * a$$

Avec :

- RE_{stockage carbone sol}, la valeur des réductions d'émissions permise par le stockage de carbone dans les sols ; valeur positive ou négative, exprimée en teqCO₂

- Delta_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 24 : Calcul des RE stockage carbone sol

La méthode développée ci-dessous décrit comment estimer et comptabiliser ces écarts de stocks (Delta_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 impacteraient négativement le stockage du carbone dans les sols, le terme RE stockage carbone sol pourra être positif ou négatif.

6.3.1 Précision de certains choix méthodologiques

Un argumentaire complémentaire est disponible en Annexe 12.

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

Le calcul de la valeur de Delta_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 carbone sol est fournie en Annexe 13. Seuls les modèles listés dans cette annexe sont utilisables.

Les données d'entrée nécessaires sont indiquées dans les tableaux de l'Annexe 3. 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 carbone sol** 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 **au prévisionnel des pratiques à mettre en place lorsqu'il est réalisé en début de Projet ; puis** aux pratiques réellement mises en place durant la phase de Projet **pour le calcul effectué en fin de Projet. Dans les deux cas**, il inclut donc les leviers stockage **de carbone dans les sols** 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 carbone sol**, qui dépendent du mode de recueil des données et du besoin de précision de celles-ci sont précisés en partie 6.5.

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 13.

Les RE **stockage carbone sol** 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. **La description de ces deux variables** ne sont pas nécessaires dans la mise en œuvre des calculs ; elles sont donc définies à titre informatif en Annexe 12.

6.3.2 **Références génériques et spécifiques pour le stockage du carbone, 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, 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 d'autres sources de données, comme les enquêtes annuelles de Terres Inovia ou les enquêtes annuelles AgroLuz (cf. tables en Annexe 3-1).

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.

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.

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

Que l'on soit en phase de construction du Projet ou en phase de vérification en fin de Projet, pour évaluer les RE stockage carbone sol il faut effectuer 2 simulations d'évolution des stocks de carbone avec l'un des modèles listés en Annexe 13 :

- Une simulation avec les pratiques de la référence,
- Une simulation avec les pratiques mises en œuvre en phase de Projet (pratiques prévisionnelles pour le calcul en phase d'initialisation ; ou pratiques réelles en phase de vérification).

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 6.5.

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

Tableau 14 : 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 carbone 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 3-1
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 15 : 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 spatialisées par interpolation à partir des stations météo les plus proches de l'exploitation	Données météo moyenne, 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		
Autres données sol : densité apparente	Deux options : - Analyses de sol en début de Projet ou antérieure au Projet - Estimation à partir d'une fonction de pédotransfert (Annexe 14)		Bases de données sols
Rendement des cultures principales	Prélèvement, photos 57°, télédétection, etc.		Moyenne régionale
Biomasse des cultures intermédiaires et des cultures principales	Mesures de biomasse par prélèvement et pesée (voir Annexe 15), ou par télédétection.)		Abaques

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 pH_{eau} 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 Typterres 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 6.5.3.

En cas d'utilisation de station météo personnelle, une station sur l'exploitation convient, il n'est pas nécessaire d'avoir une station par parcelle ou système de culture.

6.3.3.3 Données à utiliser pour les simulations du Projet

Les données à utiliser pour les simulations du Projet sont listées dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Données à utiliser pour les simulations du Projet

Paramètres ou variables d'entrées	Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de carbone à l'initialisation du Projet	Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de carbone en fin de Projet
Pratiques culturales	Calcul de l'évolution du stock de carbone en utilisant les pratiques prévues pendant les 5 ans du Projet.	Calcul de l'évolution du stock de carbone en utilisant les pratiques réalisées au cours des 5 ans du Projet.

	Les pratiques prévues sont recueillies que l'on soit en référence spécifique ou générique.	Les pratiques réalisées sont recueillies que l'on soit en référence spécifique ou générique.
Pluviométrie	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence
Température	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence
Stock de carbone initial	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence
Autres données sol : pH, % argiles, CaCO ₃ , ratio C/N, densité apparente	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence	Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence
Rendement des cultures principales	Prélèvement, photos 57°, télédétection, etc.	Prélèvement, photos 57°, télédétection, etc.
Biomasse des cultures intermédiaires	Valeur obtenue par mesure (pesée (voir Annexe 15), télédétection ou couplage pesée/télédétection) ou par abaques (Annexe 5 Référentiel Cultures).	Valeur obtenue par mesure (pesée (voir Annexe 15), télédétection ou couplage pesée/télédétection) ou par abaques (Annexe 5 Référentiel Cultures).
Quantité de carbone des MAFOR et sa stabilité (K1_MAFOR)	Quantités prévues. Composition : Utiliser les mêmes données que celles utilisées pour la référence	Quantités réellement appliquées. 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 stockage **du carbone dans les sols** et émissions
- Systèmes de cultures avec des leviers LBC stockage **du carbone dans les sols** seuls
- Systèmes de cultures avec des leviers LBC émissions seuls
- Systèmes de cultures sans leviers LBC

Les évolutions de stock de Carbone devront être évalués et reportés dans le calcul des RE_{stockage carbone sol} pour l'ensemble des systèmes de cultures.

- **Les étapes de calculs :**

Pour aboutir à l'estimation de la variable Delta_stockC deux modélisations sont à effectuer avec les modèles listés en Annexe 13.

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

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 : $S_{fin_{ref\ i}}$

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

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 ($Sfin_i$) seront utilisées pour calculer $Delta_stockC$.

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, **en renseignant dans les outils les pratiques réelles de chacune des 5 années (voire davantage). La valeur de stock simulée au bout des 5 ans est utilisée pour calculer $Delta_stockC$.** Les outils **doivent** fournir des **valeurs de** 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.

Etape 3 : Calcul de Delta Stock C (équation 23, voir ci-dessus)

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

$$Delta_StockC = \sum_{i=1}^n (Sfin_i - Sfin_{ref\ i}) \times Surf_i$$

Avec :

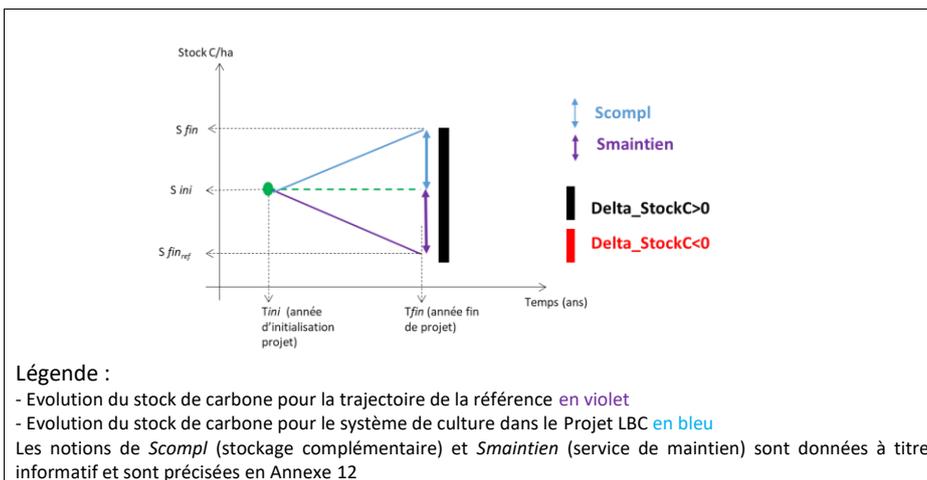
- $Delta_StockC$, évaluation de l'évolution du stock de carbone au regard de la référence (en tonnes de C)
- $Surf\ i$: la surface agricole utile du système de culture i en fin de Projet (en ha)
- n : le nombre de systèmes de culture de l'exploitation
- $Sfin_i$ = stock de carbone en fin de Projet pour 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 25 : Calcul de $Delta_StockC$

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

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

Figure 13 : Schémas représentant les différents cas de figure pouvant se présenter pour le calcul de Delta_StockC



6.4 Calcul des RE miscanthus

Le calcul des réductions d'émissions associées à la plantation de miscanthus se décompose en deux termes : les réductions d'émissions de GES classiques associées à l'utilisation des engrais et des carburants sur les 5 premières années de Projet et les réductions d'émissions anticipées sur 20 ans maximum (ou sur la durée restante du bail dans le cas où l'agriculteur n'est pas propriétaire des parcelles) liées au stockage de carbone dans les sols et la biomasse.

$$RE_{miscanthus} = RE_{émissions_{miscanthus}} + RE_{stockage\ carbone\ sol\ miscanthus}$$

Avec :

- $RE_{émissions_{miscanthus}}$: les réductions d'émissions effectuées associées aux émissions de GES sur les parcelles concernées par l'implantation de miscanthus sur les 5 années de Projet

- RE stockage carbon sol_miscanthus : les réductions d'émissions anticipées sur 20 ans ou sur la durée restante du bail (dans le cas où l'agriculteur n'est pas propriétaire des parcelles) associées au stockage de carbone dans les sols et la biomasse sur les parcelles concernées par l'implantation de miscanthus

Équation 26 : Calcul des RE_{miscanthus}

• Calcul des RE émissions_miscanthus

Le calcul des RE émissions miscanthus fait la différence entre les émissions de GES en situation de référence (3 années précédant le début du Projet) et les 5 années de Projet, sur le système de culture concerné par la plantation de miscanthus.

$$RE \text{ émissions}_{miscanthus} = \sum_{k=1}^5 \left[\left(Emissions_{ha_ferti_{ref} i} + Intensité_{comb ref} \right) - Emissions_{ha_{miscanthus}}(k) \right] * SAU_{plantation i}$$

Avec :

- k l'année de plantation du miscanthus (avec k pouvant aller de 1 à 3)
- 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, sur lequel le miscanthus sera implanté en Projet (teqCO₂/ha). Pour calculer ce terme, reprendre les équations 3 à 12 (partie 6.1.1).
- 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).
- Emissions_{ha_miscanthus}(k) : les émissions de GES moyennes associées à la fertilisation et aux combustibles fossiles utilisés pour la production de miscanthus en année k (teqCO₂/ha).

Avec :

$$Emissions_{ha_{miscanthus}}(k) = \frac{(EGES_{fertilisation}(k) + EGES_{combustibles}(k))}{SAU_{plantation}}$$

Détail des termes EGES_{fertilisation}(k) au 6.1.1. Equation 4. et EGES_{combustibles}(k) au 6.1.2. Equation 15.

Pour le calcul de QN_{residus} du miscanthus du terme EGES_{fertilisation}, les hypothèses suivantes devront être considérées :

$$QN_{residus_miscanthus}(k) = QN_{residus_aériens}(feuilles) + QN_{residus_aériens}(chaumes)$$

Avec

- QN_{residus_aériens}(feuilles) = 3,10 tMS/ha x 0,007 kgN/kg MS = 21,72 kgN/ha/an (source : Novabiom)
- QN_{residus_aériens}(chaumes) = 0,77 tMS/ha x 0,002 kgN/kg MS = 1,55 kgN/ha/an (source : Novabiom)
- SAU_{plantation i} : la surface concernée par la plantation de miscanthus sur le système de culture i (ha)

Équation 27 : Calcul des RE_{émissions_miscanthus}

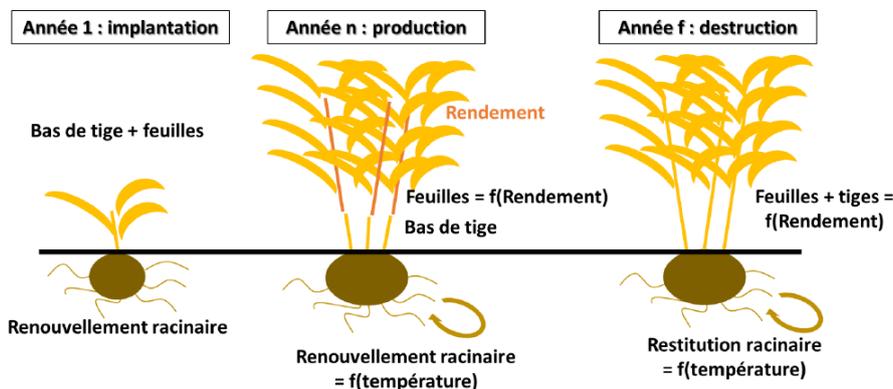
• Calcul des RE stockage carbone sol_{miscanthus}

Le stockage de carbone dans le sol permis sur 20 ans ou sur la durée restante du bail par la plantation de miscanthus sur les parcelles cultivées devra être modélisé avec le modèle AMG pour chaque exploitation qui active le levier. Le calcul du stockage de carbone dans le sol sera réalisé à partir de la température moyenne et du rendement estimé du miscanthus en phase de production et en phase de destruction.

Zoom sur le modèle AMG mis à jour pour le miscanthus

Le modèle AMG a été paramétré à partir des résultats de l'étude CE-CARB, porté par l'INRAE, dans laquelle les entrées de carbone du miscanthus en coupe tardive ont été paramétrées pour le modèle AMG (Clivot et al., 2019). (*)

Le modèle AMG considère 3 phases de développement de la culture de miscanthus : Implantation, Production, Destruction. Le schéma ci-dessous illustre les paramètres influençant les restitutions de carbone aériennes et racinaires lors des 3 phases de développement. **En complément des données climat et sol de la parcelle concernées par la plantation, seul le rendement intervient en saisie pour les entrées de carbone, les autres variables sont directement intégrées dans le modèle.**



Cette méthode considère un stock moyen de carbone sur les 20 ans de production de miscanthus en intégrant l'année d'arrachage en fin de Projet.

(*) Il est nécessaire de vérifier auprès des outils AMG qu'ils ont intégré le mode de calcul pour le miscanthus.

Les Réductions d'Emissions anticipées liées au stockage de carbone dans le sol sur 20 ans ou sur la durée restante du bail et permises par la plantation de miscanthus devront être calculées selon la formule suivante.

$$RE_{\text{stockage carbone sol}_{\text{miscanthus}}} = (S_{\text{fin}_{\text{miscanthus}_i}} - S_{\text{fin}_{\text{ref},i}}) * SAU_{\text{plantation}} * a$$

Avec :

- $RE_{\text{stockage carbone sol}_{\text{miscanthus}}}$: les réductions d'émissions associées à l'évolution du stock de carbone en écart à de la référence (en tonnes de C).
- $S_{\text{fin}_{\text{miscanthus}_i}}$: stock de carbone dans le sol à t+20 ans ou à t+X ans (avec X ans étant la durée restante du bail à partir de la notification dans le cas où l'agriculteur n'est pas propriétaire) pour le système de culture concerné par la plantation de miscanthus (tC/ha), modélisé avec le modèle AMG sur la base du rendement en miscanthus en phase de production et de la zone climatique.
- $SAU_{\text{plantation}}$: la surface concernée par la plantation de miscanthus (ha).
- $S_{\text{fin}_{\text{ref},i}}$: stock de carbone à t+20ans ou à t+X ans (avec X ans étant la durée restante du bail à partir de la notification dans le cas où l'agriculteur n'est pas propriétaire) obtenu par des simulations avec le modèle AMG en considérant un maintien des pratiques de la référence pendant la durée de comptabilisation et pour le système de culture i concerné par la plantation de miscanthus (tC/ha).
- a : facteur de conversion tonnes de C en $teqCO_2$; $a = \frac{44}{12}$ (IPCC, 2019).

Équation 28 : Calcul des $RE_{\text{stockage carbone sol}_{\text{miscanthus}}}$

Pour estimer le rendement à utiliser en donnée d'entrée pour estimer le stockage de carbone du miscanthus, le rendement utilisé pourra être le rendement de l'année 5 (ou à défaut de l'année 3 ou 4 en cas de problématiques liés au climat, aux ravageurs, etc. (liste non exhaustive) uniquement si plantation en année 1). Ce rendement pourra être considéré comme le rendement moyen sur toute la période de production du miscanthus jusqu'en année 20 ou a minima en fin de période de comptabilisation des RE anticipées.

6.5 Evaluation des incertitudes et calculs des rabais

6.5.1 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.

6.5.2 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 fourni 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).

6.5.2.1 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 N₂O 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 (Ecolinvent). 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.

6.5.2.2 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.

6.5.2.3 Evaluation des incertitudes des RE_{stockage carbone sol}

Pour les estimations des RE_{stockage carbone sol}, 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 13. Annexe 11 : 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	5	15
Soja	14	18
Colza	9	15
Tournesol	9	14

Références pour le calcul des RE_{protéines}

cf. pièces-jointes : LBC_Methode GC_Annexe11bis_referentiel RE_proteines.xlsx

Annexe 12 : Calculs des RE *stockage carbone sol*, 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 13. Les données d'entrée nécessaires sont indiquées dans le tableau de l'Annexe 3. 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 carbone sol* 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 carbone sol 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 13, 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 carbone sol**, qui dépendent du mode de recueil des données et du besoin de précision de celle-ci sont précisés en partie 6.5.

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 13.

- **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 la Figure 13 de la méthode permettent d'illustrer ces notions.

Le stockage complémentaire (Scmpl) 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 13 : 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 AMG-X intégrant le modèle et validés par le consortium AMG (*) .	V10.1.1	En attente publication et de la validation de l'outil
Cultures sur lesquelles le modèle est valide	146 cultures, contacter le consortium AMG pour le détail (Cultures Principales : 60, Couverts Intermédiaires : 45, Couverts dérobés : 25)	8 cultures principales : BTH, Colza, Tournesol, Maïs Grain et fourrage, Betterave, Pois de Printemps, Orge de printemps Féverole, Soja, Pomme de Terre, Lin oléagineux . 4 cultures intermédiaires : moutarde, RGI, avoine, vesce.	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 .	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	Utilisable
Equations consultables sur :	Clivot et al. (2019) Dataset des paramètres : https://doi.org/10.57745/MEQQIX https://github.com/inrae/AMG_base Projet Solébiom (2015-2018) Levasseur et al. (2020)	Description du modèle : http://doi.org/10.35690/978-2-7592-3679-4 Téléchargement du modèle : https://stics.inrae.fr/telechargement	A venir

(*) Les outils AMG-X validés par le consortium AMG ont reçu de la part du consortium un document décrivant les performances de l'outil mettant en œuvre le modèle AMG.

Annexe 14 : Méthode d'estimation de la densité apparente par fonction de pédotransfert (équation)

La densité apparente est une donnée indispensable pour calculer la quantité de carbone stockée dans le sol. La mesure au champ peut être source de variation d'autant plus lorsque les mesures sont réalisées en conditions suboptimales ou si la teneur en éléments grossiers est mal estimée.

Afin de s'affranchir de ces biais, il est possible d'estimer la densité apparente grâce à une équation de pédotransfert. De nombreuses équations existent, celle retenue pour la méthode Label Bas Carbone est celle publiée en 2018 par COUSIN et al. Issue du formalisme de Keller et al. (2010), elle a été optimisée et validée pour les sols de France métropolitaine. Elle est reconnue pour pouvoir être appliquée sur tout le territoire.

Cette méthode est considérée, au même titre que les simulations, comme moins précise qu'une mesure *in situ*. En outre, elle ne prend pas en compte les changements de pratiques culturales, alors qu'il est couramment admis que ces derniers peuvent avoir une influence sur ce paramètre (Chaplain et al., 2011, Alletto et al., 2022).

$$\begin{aligned} \text{Densité apparente}_{\text{estimée}} &= 1.437 + (0.007690) \times \text{Argile} + (0.003881) \times \text{Sable} - (0.0001494) \\ &\times \text{Argile}^2 - (0.00001991) \times \text{Sable}^2 - (0.0008799) \times \text{Limon} \\ &\times \text{Matière organique} - (0.001211) \times \text{Sable} \times \text{Matière organique} \end{aligned}$$

Où :

- Argile : le pourcentage d'argile du sol (%).
- Limon : le pourcentage de limon du sol, équivalent à la somme limon fin + limon grossier (%).
- Sable : le pourcentage de sable du sol, équivalent à la somme sable fin + sable grossier (%).
- Matière organique : le taux de matière organique du sol (%).

La granulométrie est réalisée sans décarbonatation.

Exemple :

Argile	17.5 %
Limon	77 %
Sable	4 %
Matière organique	1.7 %

$$\begin{aligned} \text{Densité apparente}_{\text{estimée}} &= 1.437 + (0.007690) * 17.5 + (0.003881) * 4 - (0.0001494) * 17.5^2 \\ &- (0.00001991) * 4^2 - (0.0008799) * 77 * 1.7 - (0.001211) * 4 * 1.7 \end{aligned}$$

$$\text{Densité apparente}_{\text{estimée}} = \mathbf{1.404}$$

Source :

Alletto et al., 2022. Chaplain et al., 2011. Cousin et al., 2018. Keller et al., 2010.

Annexe 15 : Mode opératoire pour la mesure de la biomasse des couverts intermédiaires par prélèvement et pesée

L'objectif de ce mode opératoire est de proposer une méthode de prélèvement et de mesure de la biomasse des couverts intermédiaires sur des parcelles agriculteurs. Cette mesure de biomasse, exprimée en tonne de matière sèche par hectare permettra d'estimer les émissions de N₂O lors de la décomposition des couverts et les restitutions de carbone au sol pour tenir compte de l'effet des couverts intermédiaires sur le stockage de carbone dans les sols. Ce mode opératoire propose plusieurs options. Un tableau récapitule le niveau de précision des différentes options. Il est accompagné d'une fiche de saisie qui permet de justifier que la mesure a bien été effectuée.

Principe général : Prélèvements par coupe directe des plantes et mesure de la biomasse fraîche a minima pour chaque placette.

Matériel nécessaire :

- 1 cadre de 50cm x 50cm ou 1m x 1m, ou bien un cerceau de diamètre connu
- Cisailles, Cutter ou tondeuse à main
- Sacs, étiquettes, feutres
- Feuille de saisie
- Balance d'une portée de 1 à 3 kg, graduée à 0,01 ou 0,02 g
- Optionnel :
 - Etuve ventilée lente
 - Paniers à étuve

Echantillonnage :

- Conditions de prélèvement du couvert :
 - Réaliser les prélèvements sur un couvert sec ou ressuyé : absence de rosée ou de pluie. Préférer des prélèvements entre 11h et 17h.
 - Réaliser la mesure peu de temps avant la destruction du couvert afin d'être au plus proche de la biomasse restituée au sol.
- Repérage des placettes de prélèvement :
 - Repérer l'hétérogénéité de la parcelle en termes de biomasse du couvert. Celle-ci peut être repérée visuellement sur le terrain ou à l'aide de cartes d'indices de végétation issue d'images satellites. Ces cartes permettent de repérer l'hétérogénéité et n'estiment pas nécessairement la biomasse du couvert. Si elles sont utilisées elles devront être conservées en cas d'audit de l'exploitation. On peut par exemple (mais pas exclusivement) utiliser des sites gratuits présentant des indices de végétation comme Copernicus Browser. Sur ces sites, choisir la date la plus récente d'image.
 - Exclure les zones de bordures de champ.
 - Prélever au moins 3 zones hétérogènes de la parcelle.
 - Prendre une photo de chacune des zones à prélever : ces photos seront à conserver et à présenter en cas d'audit.
 - Prélever dans chacune de ces zones une placette d'une surface de votre choix. Le plus souvent elle est d'environ 1m².

- **Prélèvements**

- Couper toutes les plantes au ras du sol sans prélever de terre. Attention, pour les plantes pour lesquelles la racine sort de terre seule les feuilles sont à prélever : couper juste au-dessus du collet, cela peut être le cas du radis, de la rave par exemple.

- **Gestion des couverts multi-espèces :**

Que ce soit pour les espèces du couvert végétal, ou des adventices ou repousses, c'est au préleveur de décider s'il fait certains regroupements d'espèces avant les pesées en frais, en fonction de l'espèce de couvert définie via les tables des annexes 05 de la méthode LBC-GC V2. En effet, il est parfois chronophage et imprécis de peser de très faibles quantités de biomasse. Une solution consiste donc à regrouper plusieurs espèces présentes en faible quantités.

Des espèces très peu représentées peuvent être regroupées par famille (exemple graminées ; légumineuses...), dans ce cas les valeurs de la famille seront ensuite utilisées. Il est aussi possible de peser l'ensemble des espèces d'un couvert multi-espèces.

Méthode de pesée :

- Peser et noter les poids de la biomasse fraîche de chaque groupe pesé en gramme sur la feuille de saisie de notation. Cette feuille de notation sera à conserver et présenter en cas d'audit.
- Passer de la biomasse aérienne verte à la biomasse sèche : 2 méthodes existent pour passer de la biomasse verte à la biomasse sèche :
 - Sécher l'échantillon en étuve, cette méthode est la plus précise. Constituer alors un sous-échantillon représentatif de la masse verte de chaque échantillon par grappillage au sein de l'échantillon complet (un échantillon est soit le prélèvement complet s'il n'y a pas eu de séparation par espèces, soit chacun des groupes d'espèce). Peser immédiatement ce sous-échantillon frais. Le mettre à l'étuve avec un séchage soit de 80°C pendant 48h soit de 105°C pendant 24h (cette 2^{ème} option ne permet pas d'analyse de composition complémentaire au labo si elles sont souhaitées pour d'autres objectifs que la mesure de biomasse). Peser l'échantillon en sortie d'étuve.
 - Utiliser des abaques. Deux méthodes sont possibles :
 - Utiliser le calculateur en ligne de la méthode MERCI : [Calculateur \(methode-merci.fr\)](http://methode-merci.fr) pour les espèces pures ou les espèces en mélange pesées séparément. En renseignant la biomasse verte, le calculateur fournira la biomasse sèche en se basant sur des abaques.
 - Utiliser l'abaque disponible dans l'annexe 05 « Référentiel cultures ».

Expression des résultats :

La biomasse utilisée pour les calculs d'émission de N2O et de stockage de carbone sont exprimés en tonne de matière sèche par hectare (tMS/ha).

Si les échantillons ont été séchés en étuve :

$$\begin{aligned}
 & \text{Biomasse (tMS/ha)} \\
 &= \left(\frac{\text{Biomasse fraiche totale de l'échantillon (g MF)}}{\text{Surface (m}^2\text{)}} \right) \\
 & \times \frac{\text{poids du sous échantillon sec (g MS)}}{\text{poids du sous échantillon humide (g MF)}} \times 100
 \end{aligned}$$

Si la biomasse en matière sèche est obtenue à l'aide d'abaque :

$$\begin{aligned}
 & \text{Biomasse (tMS/ha)} \\
 &= \frac{\text{Biomasse fraiche totale de l'échantillon (g MF)} \times \%MS (MF \rightarrow MS)}{\text{Surface (m}^2\text{)}} \\
 & \times 100
 \end{aligned}$$

La biomasse finale en tMS/ha est obtenue en moyennant la biomasse en tMS/ha des 3 zones de prélèvement.

Comparaison des options :

Opération concernée	Option moins précise	Option plus précise
Repérage de l'hétérogénéité sur la parcelle	Visuelle avec photo	Coupler le repérage visuel et celui à l'aide de cartes issues d'images satellites
Pesée des espèces	Peser le mélange	Séparer les espèces et peser individuellement chaque espèce
Estimation de la biomasse	-	Pesée
Passage de la biomasse verte à la biomasse sèche	Utilisation d'abaques	Mesure en étuve

Feuille déclarative de présence du couvert et de saisie des mesures

Déclaration de la présence du couvert :

Nom de la parcelle :

Type de couvert (choix dans la liste annexe 05) :

Semences achetées

Semences de ferme

Date de semis :

Date de destruction :

Le couvert n'a pas levé

Le couvert a levé

La biomasse est estimée par :

L'abaque biomasse des cultures intermédiaires fournie en annexe 5

Télé-détection

Une mesure au champ

Date de mesure :

Hétérogénéité de la parcelle :

Cocher l'option choisie :

Visuelle

Coupler le repérage visuel et celui à l'aide de cartes issues d'images satellites

Fournir les photos (appareil photo, drone, etc.)

Fournir la carte issue des images satellites

Le couvert a-t-il levé de manière homogène ou hétérogène ?

Cas de l'estimation de la biomasse par l'abaque « biomasse » des cultures intermédiaires fournie en annexe 5

Biomasse à la parcelle (tMS/ha) :

Cas de l'estimation de la biomasse par télé-détection

Biomasse à la parcelle (tMS/ha) :

Cas de l'estimation de la biomasse par une mesure au champ

Surface de prélèvement

- Zone 1 =m²
- Zone 2 =m²
- Zone 3 =m²

Fournir les photos ou images satellites de chacune des zones de prélèvement.

Pesée de la matière fraîche des espèces

<input type="checkbox"/> Pesée du mélange	<input type="checkbox"/> Séparation des espèces et pesée individuelle de chaque espèce
---	--

Noter les poids en matière fraîche en grammes :

Espèces	Poids Zone 1 (g MF)	Poids Zone 2 (g MF)	Poids Zone 3 (g MF)

Passage de la biomasse verte à la biomasse sèche

<input type="checkbox"/> Utilisation d'abaques	<input type="checkbox"/> Mesure en étuve
--	--

Noter les poids en matière sèche en gramme de MS :

Espèces	Poids Zone 1 (g MS)	Poids Zone 2 (g MS)	Poids Zone 3 (g MS)

Moyenne de la biomasse à la parcelle (tMS/ha) :

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 carbone sol** (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 carbone sol**. A partir de la littérature scientifique, l'Annexe 16 fournit des informations complémentaires sur les évaluations des différents modèles d'évaluation de stocks de carbone sélectionnés.

6.5.3 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** incertitudes donnees **stockage carbone sol** :

En fonction du mode de recueil des données choisi et de leur précision différents niveaux de rabais sont associés au terme RE **stockage carbone sol** :

Tableau 17 : Rabais associés aux incertitudes du mode de recueil des données pour le calcul des RE stockage carbone sol

Rabais associés au mode de recueil de la donnée		

Paramètres ou variables d'entrées	Effet des incertitudes sur la différence de stock de C à 5 ans (Yogo et al. 2020)	Mesures In Situ	Simulations ou équations	Utilisations de données moyennes
Pluviométrie	Faible	Rabais ($r_{\text{météo}}$) = 0%	Rabais ($r_{\text{météo}}$) = 0%	Rabais ($r_{\text{météo}}$) = 2.5%
Température	Moyen			
Stock de carbone initial	Faible	Rabais (r_{Cinitial}) = 0%	Rabais (r_{Cinitial}) = 2%	Rabais (r_{Cinitial}) = 3% (5% si BDAT)
Autres données sol : pH, ratio C/N, ou autre donnée servant à calculer le C/N (comme Norganique)	Moyen	Rabais ($r_{\text{autres données sol}}$) = 0%		Rabais ($r_{\text{autres données sol}}$) = 3% (5% si BDAT)
Autre données sol : Densité apparente	Faible	Rabais ($r_{\text{autres données sol}}$) = 0%	Rabais (r_{Cinitial}) = 2%	
Autres données sol : argiles, CaCO ₃	Moyen	Rabais ($r_{\text{autres données sol}}$) = 0%		
Rendement des cultures principales	Elevé			
Biomasse des cultures intermédiaires	Elevé	Rabais (r_{biomasse}) = 2.5% dans le cas de mesure par prélèvement ou télédétection Rabais (r_{biomasse}) = 0% dans le cas d'un couplage mesure par prélèvement et télédétection		Rabais (r_{biomasse}) = 7%
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 carbone sol* sont alors issus de la formule suivante :

$$Rabais_{\text{incertitude données stockage carbone sol}} = \text{moyenne} (Rabais(r_{\text{stockage carbone sol}}))$$

Avec :

- $Rabais_{\text{incertitude données stockage carbone sol}}$ = rabais moyen à appliquer au terme RE *stockage carbone sol*
- $Rabais(r_{\text{stockage carbone sol}})$ = rabais liés aux choix de recueil des données, avec
- $r_{\text{météo}}$ = rabais lié au choix des données météo ; 0 ou 2.5 %

$r_{C\ initial}$ = rabais lié au choix des données de stock de C initial ; 0 à 5 %
 $r_{autres\ données\ sol}$ = rabais lié au choix des autres données sol (pH, CaCo3, argile, C/N, *Densité apparente*) ; 0 à 5 %
 $r_{biomasses}$ = rabais lié au choix des données de biomasses des cultures principales ou intermédiaires ; 0 à 5 %
 r_{MAFOR} = rabais lié au choix des données de quantités et composition des MAFOR ; 0 ou 5 %

Équation 29 : Calcul du rabais stockage carbone sol lié au choix du mode de recueil de données d'entrée

Concernant les rabais liés à l'incertitude des données d'entrées (**Rabais_{incertitude_données combustibles}** et **Rabais_{incertitude_données stockage carbone sol}**) pour lesquels les paramètres d'entrées ($r_{biomasses}$, r_{MAFOR} par exemple) peuvent varier en fonction des parcelles, des systèmes de cultures et des années, il est demandé de réaliser le calcul de la façon suivante :

1. Pour chaque paramètre, chaque système de culture et chaque année (si plusieurs valeurs pour un même paramètre au sein d'un système de culture), **retenez le rabais le plus représentatif de l'ensemble des parcelles du système de culture** (ex : mesures de biomasse des couverts réalisées sur 2/3 des parcelles du système de culture A en année 1 de Projet donc rabais de 2% pour le SDC A en année 1).
2. Pour chaque paramètre et chaque année, **calculez la moyenne pondérée à l'échelle de l'exploitation** à partir des paramètres calculés pour chaque système de culture (ex si, en année 1 de Projet, rabais biomasse de 2% pour SDC A (50 ha) et rabais de 0% pour le SDC B (20 ha), alors rabais biomasse de 1,4% en année 1 à l'échelle de l'exploitation).
3. Pour chaque paramètre, **calculez la moyenne interannuelle** (3 années de références et 5 années de Projets) des paramètres annuels calculés à l'échelle de l'exploitation (ex : si rabais biomasse de 5% pour les 3 années de référence et de 1,4% pour les 5 années de Projet, alors rabais biomasse moyen à considérer pour l'exploitation est de 2,75%)

6.5.4 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 dans les sols" 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 **stock de carbone dans le sol** 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 carbone sol}, ramené à 10% dans le cas d'un renouvellement de Projet visant à maintenir les leviers permettant du stockage de carbone dans les sols. Que le Projet soit renouvelé ou pas, il n'y aura pas de rabais lié au risque de non-permanence appliqué sur la partie RE _{émissions} et RE _{aval}.

Cas spécifique des Projets avec plantation de miscanthus

Pour prendre en compte le risque de non-permanence lié à l'aléa humain (arrêt d'exploiter de l'exploitant ou du propriétaire, décès de l'exploitant...) sur la période de comptabilisation des RE anticipées pouvant aller jusqu'à 20 ans et qui pourrait générer un retournement des parcelles plantées en miscanthus prématurément, un rabais de 3 % devra être appliqué au **RE stockage carbone sol miscanthus** (RE anticipées).

6.5.5 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% sera appliqué à la totalité des RE 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'Énergie (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 à la somme des RE calculées, après applications de leurs rabais spécifiques (voir équation 25, en 6.4.6).

- **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.

Si l'agriculteur a déjà engagé une conversion à l'AB en période de référence et avant le début du Projet, l'aide à la conversion à l'AB éventuellement perçue sur la période du Projet ne doit pas être déclarée dans les financements perçus

- **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}.

6.5.6 Récapitulatif des rabais

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

Tableau 18 : 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 6.5.1)	10% dans le cas d'une référence générique ou semi-générique , 0% dans le cas d'une référence spécifique	RE _{émissions} + RE _{stockage carbone sol} + RE _{aval}
Rabais _{nonPerm} : Prise en compte d'un risque de non permanence (cf. partie 6.5.4)	20% en cas de non-renouvellement du Projet au bout de la période de 5 ans 10% en cas de renouvellement du Projet à l'identique, avec maintien des leviers Stockage de Carbone du sol mis en œuvre dans le premier Projet	RE _{stockage carbone sol}
Rabais _{incertitude_données combustibles} : Prise en compte de l'incertitude des données utilisées en entrée des modèles de calcul des RE _{combustibles} (cf. partie 6.5.3)	5% si méthode B ou C choisie pour le calcul de la consommation de carburant 0% si méthode A choisie	RE _{combustible}
Rabais _{incertitude_volume_concerné} : dans le cas d'une absence de contrat certifiant la vente à un fabricant d'aliments du bétail (cf. partie 6.5.2)	5% en cas d'utilisation des références nationales par défaut de la Ferme France	RE _{protéines}
Rabais _{incertitude_données stockage carbone sol} : Prise en compte de l'incertitude des données utilisées en entrée des modèles chiffrant les RE _{stockage} (cf. partie 6.5.3)	moyenne (Rabais($r_{\text{stockage carbone sol}}$)). Avec Rabais($r_{\text{stockage carbone sol}}$) = rabais liés aux choix de recueil des données $r_{\text{météo}}$ = rabais lié au choix des données météo; 0 ou 2.5 % $r_{\text{C initial}}$ = rabais lié au choix des données de stock de C initial; 0 à 5 % $r_{\text{autres données sol}}$ = rabais lié au choix des autres données sol (pH, CaCo3, argile, C/N); 0 à 5 %	RE _{stockage carbone sol}

	<p>$r_{\text{biomasses}}$ = rabais lié au choix des données de biomasses des cultures principales ou intermédiaires ; 0 à 7 %</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 17 : Rabais associés aux incertitudes du mode de recueil des données.</p>	
Rabais $r_{\text{non_perm_miscanthus}}$: risque de retournement des parcelles en miscanthus avant la fin de période de comptabilisation lié à l'aléa humain	3%	RE stockage miscanthus
Rabais r_{nda} : Non-démonstration de l'additionnalité dans le cas l'obtention de financements (publics ou privés) pour la mise en œuvre des leviers de la méthode LBC Grandes Cultures <i>(cf. partie 6.5.5)</i>	20% si l'additionnalité économique n'est pas démontrée, 0% sinon	Le rabais s'applique à la somme des RE calculées, après applications de leurs rabais spécifiques (voir équation 25, en 6.4.6)

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.

L'équation de calcul des Réductions d'Emissions RE certifiables est la suivante :

$$RE_{\text{certifiable}} = [(RE_{\text{stockage carbone sol}} * (1 - rabais_{\text{incertitude_données stockage carbone sol}}) * (1 - rabais_{\text{nonPerm}})) + [RE_{\text{fertilisation}} + (RE_{\text{combustibles}} * (1 - rabais_{\text{incertitude_données combustibles}}))] + RE_{\text{séchage/stockage}} + RE_{\text{séchage OS}} + [RE_{\text{protéines}} * (1 - rabais_{\text{incertitude_volume_concerne}})] + [(RE_{\text{émissions_miscanthus}} + RE_{\text{stockage carbone sol_miscanthus}} * (1 - rabais_{\text{non_perm_miscanthus}}))] * (1 - rabais_{\text{Référence}}) * (1 - rabais_{\text{nda}})]$$

Équation 30 : Calcul des RE certifiable

Remarques :

- Les rabais ne sont appliqués que sur les termes dont la valeur est strictement positive. Dans le cas où la valeur d'une RE sur laquelle s'applique le rabais est négative alors la valeur du rabais concerné est de 1.
- Il peut y avoir plusieurs motifs de « non-démonstration de l'additionnalité » (nda), dans tous les cas le rabais ne s'appliquera qu'une seule fois même si deux motifs la justifient.

Le rabais global peut se calculer de la façon suivante et par différence entre la valeur absolue initiale de RE avant rabais et la valeur de RE certifiable :

$$Rabais_{\text{global}} = [(RE_{\text{stockage carbone sol}} + RE_{\text{émissions}} + RE_{\text{aval}} + RE_{\text{miscanthus}}) - RE_{\text{certifiable}}] / (RE_{\text{stockage carbone sol}} + RE_{\text{émissions}} + RE_{\text{aval}} + RE_{\text{miscanthus}})$$

Équation 31 : 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 **émissions**, 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 **ne sont pas comptabilisés en RE et ils** sont cependant des arguments **supplémentaires** 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 (cf. Tableau 19).

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 19 : 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	Optionnel
Consommation en eau	Obligatoire en cas d'irrigation
Pressions par l'usage des produits phytopharmaceutiques	Obligatoire
Biodiversité	Optionnel
Demandes sociétales	Optionnel
Dynamique territoriale	Optionnel

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 la variation de l'indicateur en début et en fin de Projet qui est à considérer.

7.1 Evaluation des co-bénéfices du Projet par rapport à la Référence

Les co-bénéfices se calculent différemment selon qu'ils s'évaluent à l'échelle du Système de Culture ou à l'échelle de l'exploitation entière :

Si le Co-bénéfice j se calcule à l'échelle du Système de Culture :

$$\text{Cobénéfice}_j = \text{Moyenne}_{i=1 \text{ à } n} [\text{Moyenne}(\text{Cobénéfice}_{j_Projet_i_années 1 \text{ à } 5}) - \text{Moyenne}(\text{Cobénéfice}_{j_Réf_i_années 1 \text{ à } 3})]$$

Si le Co-bénéfice j se calcule à l'échelle de l'exploitation :

$$\text{Cobénéfice}_j = \text{Moyenne}(\text{Cobénéfice}_{j_Projet_années 1 \text{ à } 5}) - \text{Moyenne}(\text{Cobénéfice}_{j_Réf_années 1 \text{ à } 3})$$

Avec :

- j : l'indicateur de co-bénéfice calculé (ex : érosion, émissions d'ammoniac, etc).
- i : le système de culture i
- $\text{Cobénéfice}_{ref_i}$: la valeur du co-bénéfice j du scénario de référence par hectare de SAU du système de culture i de l'exploitation (unité du co-bénéfice/ha) pour chacune des 3 années de la référence
- $\text{Cobénéfice}_{Projet_i(j,i,k)}$: la valeur du co-bénéfice j du scénario Projet par hectare de SAU du système de culture i de l'exploitation (unité du co-bénéfice/ha) pour chacune des 5 années de Projet
- n : le nombre de systèmes de culture de l'exploitation

Équation 32 : Calcul de l'évolution des co-bénéfices par rapport à la référence

Tableau 20 : Liste des impacts et co-bénéfices, interprétation de l'équation de calcul et unité.

Enjeu	Critère	Impact ou Co-bénéfice	L'enjeu est amélioré si le résultat du calcul Cobénéfice_j est	Unité du co-bénéfice à utiliser pour présenter les résultats du Projet
Pressions sur les ressources physiques	Erosion des sols	Impact	< 0	Sans unité
	Consommation d'énergie non renouvelable	Impact	< 0	MJ/ha/an
	Qualité de l'air (émission d'ammoniac)	Impact	< 0	kg N-NH3/ha/an
	Qualité de l'eau (lixiviation de nitrate)	Impact	< 0	kg N-NO3/ha/an
	Consommation en eau	Impact	< 0	m3/ha/an
	Consommation du phosphore	Impact	< 0	kg P2O5/ha/an
Biodiversité	Pressions par l'usage des produits phytopharmaceutiques (IFT)	Impact	< 0	Sans unité /ha/an
	Biodiversité	Impact	Voir Document complémentaire X	Voir Document complémentaire X

Enjeux socio-économiques et demandes sociétales	Potentiel nourricier	Co-bénéfice	> 0	Nombre de personnes/an
	Production de protéines végétales	Co-bénéfice	> 0	Tonnes de MRP supplémentaire/ha/an
	Contribution à réduire la déforestation importée	Co-bénéfice	> 0	eqCO2kg/ha/an (ou tonnes supplémentaires de MRP/ha/an)
	Contribuer à alimenter des filières de bioénergie ou de biomatériaux	Co-bénéfice	> 0	Soit production supplémentaire de la culture-source Soit quantité potentielle de bioénergies et biomatériaux
	Implication sociale	Co-bénéfice	N/A	Non quantifiable
	Autonomie et valorisation des ressources locales	Co-bénéfice	N/A	Non quantifiable
	Contribution à l'emploi	Co-bénéfice	> 0	Nombre d'emploi/ha/an
	Revenu disponible (en Euros par UTANS)	Co-bénéfice	> 0	€/UTANS
	Temps de traction	Co-bénéfice	> 0	heure/ha/an
	Equilibre de la charge de travail	Co-bénéfice	> 0	heure/ha/an
Conditions de travail de l'agriculteur	Co-bénéfice	N/A	Non quantifiable	

(*) Les co-bénéfices non quantifiables sont laissés à l'appréciation du Porteur de Projet.

Dans le cas d'un Projet collectif, le calcul des co-bénéfices se fait à l'échelle de chaque exploitation et à l'échelle du Projet. A l'échelle du Projet, les co-bénéfices se calculent comme la moyenne pondérée par la surface de chaque exploitation.

7.2 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 œuvre 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 21 : Effets des leviers sur la pression sur les ressources physiques et recommandations de mise en œuvre

Leviers préconisés pour la RE	Effets positifs ou négatifs selon la mise en œuvre 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 œuvre 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 agricoles ou usages des intrants)	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 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 	Favoriser les exportations ou enfouissements de résidus de culture. 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.). 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).

	important (sols et importance de la lame drainante)	Travailler les solutions pour éviter les pertes azotées après les cultures de légumineuses fourragères pluriannuelles. Respecter les délais de retour des cultures dans la succession culturale pour limiter les pressions des stress biotiques.
--	---	---

7.2.1 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 cantons (Voir Annexe 17).

Si la valeur d'aléas est ≥ 3 soit en hiver soit au printemps pour le canton 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) :

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

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 33 : 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 :

- $C_{\text{travail du sol}} = \text{Flavour} \times 1 + \text{Ftravail_réduit} \times 0.35 + \text{Fnon_travail} \times 0.25$, où Flavour est la proportion des surfaces des cultures (ou couverts) implantées après labour avec retournement, Ftravail_réduit est la proportion de surfaces des cultures (ou couverts) implantées en travail réduit du sol et Fnon_travail la proportion des surfaces des cultures (ou couverts) implantées en non-travail du sol ($\text{Flavour} + \text{Ftravail_réduit} + \text{Fnon_travail} = 1$).
- $C_{\text{résidus}} = (0.88 \times \text{Frésidus}) + (1 - \text{Frésidus})$, où Frésidus 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). Frésidus est compris entre 0 et 1.
- $C_{\text{couvert}} = (0.80 \times \text{Fculture_couvert}) + (1 - \text{Fculture_couvert})$, où Fculture_couvert est la proportion des surfaces du(des) systèmes de culture sur laquelle des cultures ou couverts sont présents durant la période hiver/printemps. Fculture_couvert est compris entre 0 et 1.

Équation 34 : Calcul du facteur C_{pratique}

Tableau 22 : 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
Maïs	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)

7.2.2 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 réglementaires 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 FAO disponibles (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)
- $Surf_{i,j}$: la surface de la culture j dans le SdC i (en ha)
- $E_{eau_théo_j}$: l'empreinte eau unitaire théorique de la culture j (en m^3/t), selon le référentiel FAO (cf. Annexe 18)

Équation 35 : Calcul de l'évolution comparée de l'empreinte eau théorique vs. réelle

Tableau 23 : 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 GES'TIM+ (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 en $kg N - NH_3$ $= \sum_{l=1}^o [((QN_{min_{l,i,k}} + QN_{inhib_{l,i,k}}) * Frac_{GAZF_l}) + (Q_{org_{l,i,k}} * Frac_{GAZM_l})]$
Qualité des eaux	Lixiviation de nitrate	Voir terme intermédiaire de l'équation 9 en 6.1.1 en $kg N - NO_3$ $= (QN_{min_{i,k}} + QN_{inhib_{i,k}} + QN_{org_{i,k}} + QN_{résidus_{i,k}} + QN_{minéralisé_{i,k}}) * Frac_{LESS}$
Quantité d'eau d'irrigation utilisée	Quantité d'eau d'irrigation utilisée ≤ quota autorisée	Voir critères d'éligibilité Voir équation 28 (utilisation de références Agribalyse)

	Evolution comparée de l'empreinte eau théorique vs. réelle	
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	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 faibles ≤ 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>

7.3 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 **majeur à l'échelle locale et planétaire**. En plus de l'aide à la compréhension des éléments clés agissant sur la biodiversité, **l'évaluation de ce cobénéfice** 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 services **environnementaux**. **Les entreprises sont de plus en plus en recherche de Projets favorables à la biodiversité pour répondre aux exigences réglementaires françaises ou européennes**. Cependant, il n'existe pas de méthode d'évaluation universelle qui soit adaptée à toutes les finalités.

7.3.1 Processus à l'origine des effets sur la biodiversité

Le terme de "biodiversité" désigne la diversité du vivant (végétaux, animaux, bactéries, champignons, etc.) à toutes les échelles (du gène à l'écosystème). La biodiversité peut se décliner en différentes dimensions liées à la composition, à la structure et à la fonction. Ce terme englobe des organismes très variés qui peuvent répondre à des déterminants différents.

En contexte agricole, où l'échelle spatiale de la parcelle ou de l'exploitation agricole est privilégiée, ce sont en particulier les capacités de dispersion de ces organismes qui vont déterminer les processus les plus importants. Les organismes qui se dispersent peu comme les vers de terre, les acariens, les nématodes, etc., sont susceptibles de répondre fortement aux pratiques agricoles de la parcelle dans laquelle ils résident (voir par exemple Bouthier *et al.* 2014 ou la revue de Klavivko 2001 pour les effets du travail du sol sur divers organismes du sol). Inversement les organismes qui ont de fortes capacités de dispersion, comme les oiseaux

ou la plupart des insectes, sont susceptibles de répondre à l'occupation du sol et aux modes de gestion à une échelle qui dépasse la parcelle ou même l'exploitation agricole : on parle alors d'échelle paysagère (Fahrig *et al.* 2011, Figure 14), à laquelle les organismes peuvent ou non trouver les habitats nécessaires à leur reproduction, à leur alimentation, et circuler par le biais de "continuités écologiques" pour se disperser et échanger leurs gènes.

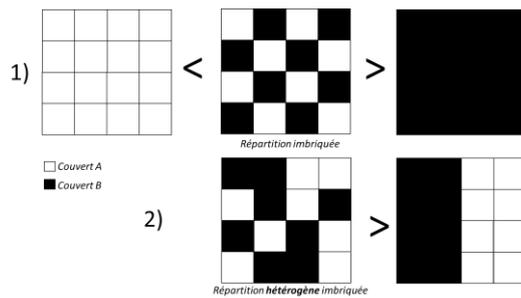


Figure 14 : Les liens entre biodiversité et paysage dépendent (i) de la surface occupée par chaque type d'occupation du sol (« composition ») et de la répartition spatiale de ces types d'occupation du sol (« configuration »). D'après Fahrig *et al.*, 2011.

Selon les organismes, les leviers modifiant l'occupation du sol (cultures, intercultures) peuvent s'avérer très efficaces. Les leviers concernant la conduite des cultures (utilisation des intrants, amendement, irrigation, travail du sol, restitution des résidus de culture) peuvent jouer un rôle, mais souvent dans une moindre mesure (voir notamment Martin *et al.*, 2020). Il est à noter que l'usage de produits phytopharmaceutiques peut avoir un effet direct (toxicité) ou indirect (par exemple chute de populations d'oiseaux suite à la suppression d'insectes nécessaires au nourrissage des oisillons) et ceci est vrai pour d'autres pratiques.

7.3.2 Préconisations

Un paysage qui est favorable à la biodiversité est généralement un paysage hétérogène, à la fois en termes de composition (diversité de cultures, diversité de milieux semi-naturels) et en termes de configuration (parcelles de taille réduite, imbriquées avec des milieux semi-naturels, favorisant des linéaires importants de lisières entre habitats différents). Cette hétérogénéité doit permettre d'offrir des ressources abondantes, diversifiées, au bon moment, en particulier pour les insectes qui sont eux-mêmes 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.

7.3.3 Indicateurs de suivi

Il est attendu que les indicateurs soient simples et rapides à obtenir, possiblement sur une quantité d'exploitations agricoles très importante. Dans ce contexte proposer des indicateurs de biodiversité mesurés (*i.e.* impliquant des suivis de terrain de faune et de flore) n'est pas possible pour des raisons de coûts mais aussi de sensibilité à des changements de pratiques à court terme. Ce sont donc avant tout des indicateurs de cause (Bockstaller *et al.* 2019, Chao

et al. 2014) qui sont proposés ici. Ces indicateurs couvrent une diversité de leviers, allant des pratiques sur les parcelles à l'implantation ou au maintien d'infrastructures agroécologiques en bordures. Il est important de garder en tête que ces indicateurs estiment un **potentiel** de biodiversité mais qu'ils ne sont pas parfaitement corrélés avec la biodiversité effective, sur le terrain. Ils donnent de grandes tendances, mais ne remplacent en aucun cas des suivis sur certains organismes d'intérêt pour les agriculteurs ou leurs conseillers. Ils ne constituent pas un cadre d'action définitif et suffisant. Ils permettent néanmoins d'évaluer une stratégie générale qui peut être affinée et personnalisée selon les spécificités du territoire (faune flore et enjeux locaux, pratiques agricoles et paysagères...)

L'impact du Projet vis-à-vis de la biodiversité (positif ou négatif) sera évalué par la progression des indicateurs. 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.

Comme la biodiversité ne peut se limiter à un de ses compartiments ou un des processus écologiques qu'elle comprend, il est nécessaire de **suivre de façon simultanée des indicateurs sur plusieurs de ces composantes**. Neuf indicateurs sont proposés, regroupés selon les compartiments ou processus écologiques qu'ils renseignent.

- **Groupe 1** : quatre indicateurs concernant la composition du paysage, c'est-à-dire la diversité des ressources et des habitats : 1/ diversité des cultures (y compris prairies temporaires); 2/ de prairies temporaires plurispécifiques (graminées légumineuses); 3/ pourcentage de cultures avec cultures intermédiaires ; 4/ pourcentage d'espèces végétales implantées favorables aux insectes floricoles;
- **Groupe 2** : un indicateur concernant la configuration du paysage, c'est-à-dire l'accessibilité des ressources et la dispersion des organismes : 5/ indice de taille des parcelles ;
- **Groupe 3** : quatre indicateurs concernant le degré de perturbation liée au mode de gestion des parcelles et de leurs abords : 6/ pourcentage de surface semi-naturelle ; 7/ pourcentage de surfaces non traitées ; 8/ Indice de Fréquence de Traitement (IFT) ; 9/ Indice de perturbation du sol.

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 le cobénéfice biodiversité est considéré dans un Projet LBC-GC alors il est nécessaire de suivre l'ensemble des indicateurs du **Tableau 24**. Tous les éléments nécessaires au calcul sont fournis par les annexes associées.

Méthode de calcul des indicateurs

Les indicateurs proposés peuvent connaître des fluctuations interannuelles **sans aucun changement de gestion de l'exploitation, mais simplement en lien avec la redistribution des cultures entre parcelles d'une année à l'autre**, 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 3 ans **avant le Projet et de calculer la valeur des indicateurs pour la moyenne des 3 dernières années** (afin de se focaliser sur la continuité des améliorations et non les tendances de début de Projet).

La valeur de référence est donc : $MOY(I_{k-1}, I_{k-2}, I_{k-3})$ où I_k est la valeur de l'indicateur en année k (année durant laquelle le dossier est constitué).

La valeur du Projet est $MOY(I_{k+2}, I_{k+3}, I_{k+4})$.

Le Projet sera considéré comme apportant un cobénéfice biodiversité dans les conditions suivantes observées pour la moyenne considérée du Projet par rapport à la référence :

- Aucun des 9 indicateurs ne s'est dégradé ;
- Au moins un des 4 indicateurs du groupe 1 s'est amélioré ;
- L'indice « Taille des parcelles » du groupe 2 s'est maintenu ou amélioré ;
- Au moins un des 4 indicateurs du groupe 3 s'est amélioré.

On parle de dégradation de l'indicateur si l'objectif de maintien indiqué dans le tableau 24 n'est pas respecté. On parle d'amélioration de l'indicateur si l'objectif d'amélioration est atteint, ce qui correspond à une augmentation du potentiel de biodiversité.

Cependant il est nécessaire de s'assurer que l'évolution de l'indicateur est substantielle, et est susceptible de se traduire réellement en impact sur la biodiversité. Nous proposons un seuil de 15% (pour les objectifs d'amélioration et parfois les objectifs de maintien, qui sont précisés dans le tableau 24) pour permettre de s'extraire de la variabilité « naturelle » des indicateurs concernés liée notamment aux aléas de l'année (climat et culture). Dans certains cas, les objectifs intègrent des caractéristiques liées au type de l'indicateur ou à des ambitions en lien avec les transitions exigées. L'utilisation de ces objectifs correspond aussi à une autre manière de formuler l'incertitude autour de l'indicateur, qu'on ne peut pas ici caractériser de manière aussi détaillée que ce qui est fait précédemment dans le document sur le calcul des RE faute de références bibliographiques solides. Ce seuil est arbitraire et pourrait être revu avec un retour d'expérience sur des données de Projets LBC-GC.

Tableau 24 : Liste des indicateurs de co-bénéfices renseignant la pression sur la biodiversité

Enjeux/type	Indicateur	Calcul	Références	Objectif d'amélioration	Objectif de maintien
Biodiversité / 1_composition paysage	1. 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 A de l'Annexe 19 répond 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 et Chao et al. 2014	Augmentation d'au moins 15%	Sans diminution de plus de 15%
Biodiversité /1_composition paysage	2. Pourcentage de prairies temporaires plurispécifiques (graminées légumineuses)	$\%PP = \sum p_i / S$ avec p_i : surface en prairie temporaires plurispécifique (légumineuses/graminées) (prairie de moins de 5 ans) sur la parcelle i	Plantureux et al. 2012	Augmentation d'au moins 15%.	Sans diminution de plus de 15%.

		S : surface totale des grandes cultures			
Biodiversité / 1_composition paysage	3. Pourcentage de cultures avec cultures intermédiaires	$\%CI = \sum Ci_i / S$ avec Ci_i : surface de la parcelle i si la culture est précédée d'une culture intermédiaire S : surface totale des grandes cultures	Beillouin et al. 2019	Augmentation d'au moins 15%.	Sans diminution de plus de 15%.
Biodiversité / 1_composition paysage	4. Pourcentage d'espèces végétales implantées favorables aux insectes floricoles	On considère les cultures (y compris les prairies temporaires) et également les couverts semés (même s'il ne sont pas récoltés) du moment qu'ils arrivent à floraison ² : couverts d'intercultures ou bandes fleuries. $\%FLO = (\sum Ai * Si) / S$ Avec : Ai = estimation du potentiel d'attractivité de chaque espèce végétale = somme de l'intérêt pour ses ressources florales (nectar et pollen de la fleur), chacun variant de 0 à 3, multipliée par la floribondité, également selon une échelle de 0 à 3. (voir définition ci-dessous et références en Tableau A en Annexe 19). Si : surface de l'espèce végétale, ou la surface divisée par le nombre d'espèces pour le cas des espèces en mélange : associations de culture, bandes fleuries multi-espèces, couverts multi-espèces. S : surface totale des parcelles en grandes cultures engagées et des bandes fleuries.	Le Conte Y. et al. 2022 pour l'attractivité Et intégration dans un indicateur %FLO par le GT Biodiversité pour le CoRedac LBC-GC.	Augmentation d'au moins 15%.	Sans diminution de plus de 15%.
Biodiversité/ 2_configuration du paysage	5. Indice de taille des parcelles	$ITP = \sum Si * Ci / S$ Avec $Ci = 1 / (1 + e^{-0.3(Si-6)})$ Si : surface de la parcelle i (une parcelle étant définie comme une surface contiguë occupée par la même culture sans séparation par une structure semi-naturelle) S : surface totale des grandes cultures Ci : coefficient de la parcelle i	Adapté par le GT-Biodiversité du CoRedac, à partir de Bockstaller et Girardin (2010)	Diminution d'au moins 15%.	Sans augmentation aucune.

² Remarque : le nectar extra-floral n'est hélas ici pas pris en compte, contrairement à la version 2021 de la méthode.

Biodiversité /3_ absence de perturbation	6. Pourcentage surface semi naturelle	$\%SN = \sum sn_i / S$ avec sn_i : surface de l'élément semi-naturel i qui est au sein ou attenant des parcelles de grandes cultures, en utilisant les facteurs de conversion du Tableau C en Annexe 19. S : Surface totale des grandes cultures.	Adaptation s à partir de BIOTEX 4.0	Augmentation d'au moins 15%.	Sans diminution aucune.
Biodiversité /3_ absence perturbation	7. 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 des grandes cultures		Augmentation d'au moins 15%.	Sans diminution aucune.
Biodiversité /3_ absence perturbation	8. Indicateur sur l'usage des produits phytosanitaires <i>(reprendre ici la valeur disponible puisqu'il s'agit d'un indicateur d'impact à suivre obligatoirement dans les Projets LBC-GC)</i>	$\Sigma(IFT_i * Si) / S$ IFT_i : IFT total de la parcelle i (<i>IFT : Indicateur de Fréquence de Traitements phytopharmaceutiques, Total : IFT semences, IFT champ : insecticides-acaricides, herbicides, fongicides-bactéricides, autres</i>) $IFT =$ (surface traitée/surface parcelle) * (dose produit/dose de référence), avec dose de référence : minimum des doses homologuées pour les différents bioagresseurs https://alim.agriculture.gouv.fr/ift/ Si : surface de la parcelle i S : surface totale des grandes cultures		Diminution d'au moins 25%.	Sans augmentation de plus de 15%.
Biodiversité /3_ absence perturbation	9. Note de perturbation de la biodiversité des organismes du sol <i>(en lien avec les pratiques agricoles sur l'atelier grandes cultures)</i>	$Np_k = \sum (Np * \%Sp * Fq * \%Sc)$ Avec : Np_k : note de perturbation totale des parcelles engagées en année k Np : niveau de perturbation de l'équipement utilisé (valeur indiquée par intervention) $\%Sp$: pourcentage de la parcelle qui est touché par le travail de l'intervention (par défaut 100% ou moins dans le cas où le travail ne concerne qu'une partie de la surface du sol) $\%Sc$: pourcentage que représentent les parcelles de grandes cultures concernées en année k c'est-à-dire sur lesquelles l'outil de travail du sol est appliqué		Diminution d'au moins 15%.	Sans augmentation de plus de 15%.

		Fq : fréquence d'utilisation du type de travail du sol au cours de la campagne culturale.			
		Quand Np_k augmente, l'intensité de travail du sol diminue et la biodiversité potentielle augmente.			

Explications pour les indicateurs FLO, ITP et Np :

Indicateur 4 : %FLO, Pourcentage d'espèces végétales implantées favorables aux insectes floricoles

(i) Signification de l'indicateur : L'intérêt des cultures pour les insectes floricoles dépend de leur potentiel de production de nectar et de pollen et de leur capacité à attirer différentes catégories d'insectes floricoles en lien avec l'accessibilité des ressources produites. Cependant, les termes potentiels nectarifères et pollinifères masquent en réalité une grande disparité d'objets d'études et des méthodologies assez disparates entre les études. En effet, derrière cette notion de potentiel, plusieurs éléments peuvent être mesurés en fonction des études :

- La quantité de nectar et de pollen prélevés directement dans les plantes par micro-capillarité pour le nectar ou battage pour le pollen ;
- La quantité de nectar et de pollen prélevés sur des insectes butineurs au retour du butinage ou au cours du butinage ;
- La quantité de miel minimale/maximale produite à partir de la culture par l'abeille mellifère, ou/et la quantité de pollen prélevé en trappes devant des ruches ;
- L'abondance et la diversité des insectes comptés sur les cultures.

De ce fait, il n'existe pas de liste officielle indiquant les potentiels nectar et pollen des différentes espèces végétales qui fasse consensus. Cependant il est proposé de se baser sur le tableau de l'attractivité de certaines cultures associées aux travaux d'un collectif (Le Conte et al. 2022) utilisé lors de la réponse à une demande de l'ANSES (Avis 2022 de ANSES)³.

Les notes nectar et pollen ainsi que la floribondité donnent des indications sur le potentiel de l'espèce à fournir des ressources pour les insectes floricoles. Avec une note de 8, le tournesol, par exemple possède un bon potentiel de production de nectar et de pollen couplé à un bon niveau de floribondité. Ce potentiel est atteint lorsque le tournesol parvient au stade floraison ce qui est généralement le cas lorsqu'il est semé au printemps en tant que culture de rente et atteint le stade floraison en été. Cependant, dans certaines situations et notamment le semis du tournesol pendant la période d'interculture, le stade de floraison peut ne pas être systématiquement atteint. L'atteinte de ce stade, est sous l'influence, notamment de la date de semis et des conditions climatiques. Le tournesol est une espèce à floraison "tardive" comparativement à d'autres espèces comme le sarrasin ou la moutarde blanche. En effet, il exige environ 1200 °CJ pour atteindre le stade floraison. Aussi, dans la partie Nord de la France, les conditions climatiques ne permettent généralement pas au tournesol semé en interculture d'accumuler suffisamment de sommes de températures pour parvenir à fleurir. De plus, les sécrétions de nectar étant sous la dépendance des températures chez cette

³ AVIS en 2022 de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'identification de mesures de compensation visant à améliorer la protection des pollinisateurs face aux épandages de produits - Avis de l'Anses sur la saisine 2020-SA-0167

espèce, on peut faire l'hypothèse que même s'il venait à atteindre le stade floraison avant l'hiver, les quantités de nectar produites seraient inférieures à celles d'un peuplement fleurissant en été.

La conduite d'expérimentations permettrait d'acquérir des références nécessaires pour déterminer le potentiel nectarifère/pollinifère des espèces implantées pendant la période d'interculture. En attendant qu'elles soient mises en place, il est proposé, pour permettre le calcul de l'indicateur, de retenir les 5 espèces les plus précoces à floraison identifiées dans le cadre du Projet CASDAR Interapi. Il s'agit du sarrasin, de la cameline, de la moutarde blanche, du radis fourrager et de la féverole de printemps. Seules ces espèces seront considérées comme capables de fleurir et donc de fournir des ressources pendant la période d'interculture.

(ii) Mode de calcul de l'indicateur :

$$\%FLO = (\sum Ai * Si) / S$$

Avec :

- **Ai** : estimation du potentiel d'attractivité chaque espèce végétale = somme de l'intérêt pour ses ressources florales (nectar et pollen de la fleur), chacun variant de 0 à 3, multipliée par la floribondité, également selon une échelle de 0 à 3. Attention, pour le cas des couverts d'interculture, seules les espèces suivantes peuvent être prises en compte dans le calcul de l'indicateur (car espèces à floraison précoces) : sarrasin, cameline, moutarde blanche, radis fourrager et féverole.
- **Si** : surface de l'espèce végétale, ou la surface divisée par le nombre d'espèces pour le cas des espèces en mélange : associations de culture, bandes fleuries multi-espèces, couverts multi-espèces (*par exemple si 3 espèces alors affecter 1/3 pour chacune * surface de la parcelle ou de la bande*).
- **S** : surface totale des parcelles en grandes cultures engagées et des bandes fleuries.

Les références à ce jour sont reprises dans le tableau A de l'Annexe 19.

https://agricoconnaissances.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/204_Eve-Agricoconnaissances/cobra-oacaapi/Documents/Abeille_et_pollinisation/Ab_Agir/Volet_ressources/Outil_choix_des_espèces_melliferes.xlsx

Par exemple, l'attractivité de la phacélie est calculée de la façon suivante : (3+1) x 3=12, car Intérêt du nectar pour les insectes pollinisateurs = 3, Intérêt du pollen pour les insectes pollinisateurs = 1, Floribondité : 3).

Cette base de calcul est une proposition à faire évoluer par la suite, étant donné qu'elle est soumise aux incertitudes liées aux indices de confiance utilisés pour estimer l'intérêt du pollen et du nectar de la plante concernée ainsi que la floribondité. La floribondité représente le nombre de fleurs 'matures' par unité de surface à l'instant t produit par et présent sur une culture (Farjon et al., 2019 ; Zhang et al., 2020, Janssens et al., 2006). Les classes de floribondités proposées sont données à dire d'experts dans le tableau de référence et sont sujettes à modifications.

Ainsi, même en utilisant cet indicateur, il est indispensable de **souligner les limites de cette approche de calcul de l'indicateur** quand on veut être en cohérence avec les processus complexes en jeu. Ces limites sont résumées ici : la diversité des insectes pollinisateurs en dehors de l'abeille domestique alors que celle-ci est souvent la référence étudiée; importance

de l'accès aux ressources et non seulement de la quantité disponible (lien avec la morphologie des insectes et des fleurs); absence de la prise en compte de la variabilité de l'attractivité selon la variété de la culture (car peu de données disponibles même pour les espèces mellifères de grandes cultures) ; la pertinence non évidente de l'estimation issue de l'application de l'équation vu l'absence de complétude des références (manque de références pour couvrir mieux l'ensemble des espèces végétales et l'ensemble des pollinisateurs) ; la nécessité d'agréger des expertises non rassemblées à ce jour pour pouvoir élargir la gamme de références sur les espèces végétales pour les insectes).

Les références liées aux indicateurs devront donc évoluer avec l'acquisition des connaissances. Depuis 2023, sous la coordination de l'ITSAP, un travail est en cours pour rassembler les informations sur les traits biologiques des plantes, dont le nectar et le pollen, au sein d'une base de données, afin de les détailler et les homogénéiser afin à terme de rendre publique une BDD sur plusieurs centaines d'espèces végétales françaises.

(iii) Recommandations de gestion :

Pour que ce levier soit efficace pour la biodiversité, il faut prévoir des semis précoces et des modalités de gestion qui assurent une bonne levée. Par ailleurs il faut limiter le traitement sur les couverts végétaux attractifs au minimum et suivre les recommandations en vigueur afin de ne pas en faire des pièges écologiques.

Indicateur 5 : ITP, Indice de la taille des parcelles

(i) Signification de l'indicateur :

Une parcelle est définie comme une surface contiguë occupée par la même culture sans séparation par une structure semi-naturelle.

Comme expliqué plus haut, un paysage favorable à la biodiversité soit être hétérogène, à la fois en termes de composition et aussi de configuration. Ainsi sur la sole des parcelles cultivées, la taille de celle-ci a une forte incidence sur la biodiversité. La faune circule plus facilement lorsqu'il y a des nombreuses frontières entre différentes occupations du sol. Si une majorité d'un territoire donné (ici la sole d'une exploitation agricole) est au sein de parcelles de grande taille alors la circulation des organismes est davantage entravée. Une grande proportion de sols au sein de parcelles de grande taille crée finalement des ruptures de la continuité des corridors écologiques. Le fait d'avoir des tailles de parcelle plus réduites sur l'exploitation agricole facilite le rétablissement des trames vertes et bleues et la circulation de nombreuses composantes de la biodiversité.

L'effet de la taille des parcelles est significatif lorsque les parcelles font moins de 6 ha et majeur pour des parcelles inférieures à 2,8 ha.

Ainsi, le moyen le plus efficace d'améliorer l'indicateur est de subdiviser des grandes parcelles pour réduire la part de surfaces en grandes parcelles sur l'exploitation agricole.

(ii) Méthode de calcul de l'indicateur

$$ITP = \sum Si * Ci / S$$
$$\text{Avec } Ci = 1 / (1 + e^{-0.3(Si-6)})$$

Si : surface de la parcelle i

S : surface totale des grandes cultures

Ci: coefficient de la parcelle i qui suit une fonction logistique sigmoïde variant d'une valeur proche de 0 (petites parcelles, favorables à la biodiversité) à une valeur proche de 1 (grandes parcelles, défavorables) centrée sur une surface de 6 ha en deçà de laquelle la biodiversité est favorablement impactée (Sirami et al., 2019).

Cette fonction en « S » vise à éviter un effet de seuil brutal entre petite et grande parcelle. Le paramètre lambda de la sigmoïde est fixé arbitrairement à 0.3.

Indicateur 6 : Np, Note de perturbation de la biodiversité des organismes des sols (en lien avec les pratiques agricoles sur l'atelier grandes cultures)

(i) Signification de l'indicateur :

Afin de mieux appréhender les impacts des pratiques liées aux productions végétales de grandes cultures sur la biodiversité souterraine (et aérienne), il est nécessaire de prendre en compte les perturbations du compartiment sol dans toutes ses dimensions : chimique, physique et biologique.

Les pratiques de gestion des sols agricoles sont impactantes pour la biodiversité souterraine et également pour les insectes pollinisateurs puisque 60% des pollinisateurs ont un stade de vie dans le sol. Les insectes et larves d'insectes sont impactés par la pollution des sols et les passages mécaniques perturbateurs, tout comme d'autres êtres vivants du sol.

Les carabes et les vers de terre, comme les nématodes et collemboles, sont très sensibles aux perturbations du sol, en surface ou en profondeur, tout au long de l'année (même si l'effet peut être variable selon la période du travail du sol pour la culture concernée, du fait de la phénologie des carabes et des vers de terre notamment).

C'est pourquoi il est ici proposé d'utiliser un « proxy » lié à un groupe taxonomique donné, les carabes, afin d'estimer le niveau de perturbation de la biodiversité des organismes du sol (qui vivent dans ou sur le sol)⁴ sur la base de références récemment établies par type de travail du sol (Muneret et al., 2023), ce qui permet d'être moins contexte-dépendant.

(ii) Méthode de calcul de l'indicateur

Note de perturbation totale des parcelles engagées en année k :

$$Npk = \sum(Np * \%Sp * Fq * \%Sc)$$

Avec :

- Np : niveau de perturbation de l'outil utilisé (valeur indiquée par intervention)
- %Sp : pourcentage de la parcelle qui est touché par le travail de l'intervention (par défaut 100% ou moins dans le cas où le travail ne concerne qu'une partie de la surface du sol)
- %Sc : pourcentage que représentent les parcelles de grandes cultures concernées en année i c'est-à-dire sur lesquelles la stratégie de travail du sol est appliquée
- Fq : fréquence d'utilisation du type de travail du sol au cours de la campagne culturale.

Le tableau B de l'Annexe 19 indique les références et facilite la saisie pour le calcul de l'indicateur lié à la biodiversité des sols, en se basant sur le niveau de perturbation de la stabilité physique de l'habitat des organismes du sol selon les équipements utilisés (plus le travail est animé et profond, plus le niveau de perturbation est élevé).

7.4 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

⁴ Cet indicateur, qui est plus directement corrélé à l'effet sur la biodiversité, remplace donc l'estimation de l'énergie dépensée pour le travail du sol, indicateur initialement proposé dans la version 2021 de la méthode.

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).

7.4.1 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** (ou performance nourricière) de l'exploitation agricole, à savoir le nombre de personnes potentiellement nourries par an par les denrées agricoles produites **par cette ferme (voire par l'ensemble des exploitations agricoles d'un territoire donné dans le cadre d'un Projet collectif)**. En effet, certains des leviers d'atténuation 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 aux apports d'azote réduits) ou une substitution des débouchés alimentaires par du non alimentaire (production de biomasse énergie par exemple)⁵.

Le **potentiel nourricier** permet de rapporter les valeurs nutritionnelles (en énergie ou en protéines) des 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 par an. 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 donc d'appliquer la méthode de calcul de PerfAlim remise à jour en 2024 et décrite sur le site (également explicitée Annexe 20 pour information). Afin de garantir la fiabilité des résultats sur cet indicateur, les calculs devront se faire à partir du site PerfAlim, directement sur le site internet ou via appel d'une API développée par le CÉRÉOPA.

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 5 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

⁵ 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'une part et protéiques d'autre part) pour tous les produits exportés par l'exploitation agricole.

$PN = \text{somme (QMPA} \times \text{VNMPA)} / (\text{Besoin nutritionnel moyen quotidien d'un individu} \times 365)$

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, QMPA 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) : $\text{VNMPA} = (\text{somme } Q_v \times \text{VN} - \text{somme } Q_a \times \text{VN})$, avec : Q_v : quantité de produits vendus et Q_a : quantité de produits achetés.

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 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, et voire de séquestrer du carbone sur le long terme**. 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 25 : 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.	Méthode PerfAlim développée par le Céréopa : https://www.perfalim.com
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 (le cas de 52% des tourteaux importés en France)	Voir équation ci-dessous (et annexe 21).

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 21).
-------------------	--	---	---

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 MRPi 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

- $MRPi$: 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 MRPi produite à partir de la culture récoltée i

- $CEpi$ = coefficient d'équivalence en protéine de la MRPi issue de la culture i de l'exploitation agricole par rapport au tourteau de soja moyen utilisé en alimentation animale.

L'Annexe 21 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 Surfj)* : 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 21 fournit les références des paramètres nécessaires aux calculs.

7.4.2 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 26 : 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	

7.4.3 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 27 : 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>)	<p>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).</p> <p>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)</p>	<p>Méthode calcul des indicateurs SYSTERRE®, version de juin 2018</p> <p>Description de la méthode d'interprétation : Toqué <i>et al</i>, 2014</p>
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 22) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Complexité des interventions culturales/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

Définitions :

Porteur de Projet : personne physique ou morale qui a la capacité juridique de mettre en œuvre le Projet. Il peut être par exemple le propriétaire des terres, l'exploitant, une entreprise exerçant l'activité qui fera l'objet du label, etc.

Mandataire : représente un ou plusieurs Porteurs de Projet dans le cas de Projets collectifs. Le Mandataire est le seul interlocuteur de l'Autorité compétente pour la durée de validité du Projet, sauf dénonciation du mandat, dûment notifiée à l'Autorité compétente.
Les relations entre le Mandataire et ses mandants sont définies par convention entre eux.

8.1 Dates clés d'un Projet

8.1.1 Dates de début et date de fin de quantification des RE

La date de début de comptabilisation des RE est définie par le Porteur de Projet. Elle doit comprise entre la date de notification et un an après la date de notification.

La date de fin de comptabilisation des Réductions d'Emissions est fixée à un maximum de 5 ans après la date de début de comptabilisation des Réductions d'Emissions, soit :

$$\text{Date de fin} = \text{Date de début} + (4 \times 365 + 366 \text{ jours}).$$

La durée du Projet peut-être plus courte, par exemple en cas d'arrêt anticipé. Dans ce cas, les Réductions d'Emissions sont calculées sur la durée effective du Projet.

Dans le cas de projet Collectif, il est possible d'avoir des dates de début de comptabilisation des Réductions d'émissions différentes selon les agriculteurs.

8.1.2 Dates des scénarios de référence et de Projet

Afin de faciliter la phase de diagnostic initial, le Porteur de Projet peut choisir de mobiliser le principe d'année blanche. L'année correspond à une année culturale non comptabilisé dans le calcul des Réductions d'Emissions. Cette année blanche ne peut être imputée qu'avant la date de début de comptabilisation des Réductions d'Emissions.

Tableau 28 : Dates des scénarios de référence et de Projet, avec le cas d'un début de comptabilisation des RE courant de l'année culturale 202n.

Scénario de référence sans année blanche	Scénario de référence avec année blanche	Scénario de Projet
3 années complètes (3*365 jours) avant la date de début de comptabilisation des RE, avec une date de fin du scénario de Référence courant de l'année culturale 202n	3 années complètes (3*365 jours) avant la date de début de comptabilisation des RE, avec une date de fin du scénario courant de l'année culturale 202n-1	5 années complètes maximum à partir de la date de début de comptabilisation des RE, avec une date de début courant de l'année culturale 202n et une date de fin courant de l'année culturale 202n+5

8.2 Vie d'un Projet

8.2.1 Procédure et vie d'un Projet

La vie d'un Projet est jalonnée de procédures que le Porteur de Projet ou le Mandataire 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.

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

Tableau 29 : Procédure et vie d'un Projet

	Pourquoi ?	Comment ?	Qui ?
1.1 Notification du Projet <i>Année 0</i>	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, cf. chapitre 8.1 Dates clés d'un Projet 	Porteur de Projet ou Mandataire
1.2 Demande de labellisation du Projet <i>Dans un délai de 1 après la notification</i>	Démontrer la conformité du Projet au LBC et à la Méthode	<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, critères d'éligibilité...) • Calcul des RE générables par le Projet (dont application des rabais) et estimation des co-bénéfices induits 	Porteur de Projet ou Mandataire
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 du respect de l'additionnalité, des critères d'éligibilité 	Autorité à la demande du Porteur de Projet ou Mandataire
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

<p>2. Suivi du Projet</p> <p><i>Année 1 à 5</i></p>	<p>Evaluer l'impact climatique et environnemental du Projet</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte annuelle de l'ensemble des données nécessaires au calcul des RE et indicateurs de co-bénéfices • Réalisation des calculs de RE et des indicateurs de co-bénéfices possible annuellement par le Porteur de Projet, obligatoire en fin de Projet • Synthèse des données du Projet dans le fichier de suivi de Projet (cf trame en annexe 23) • Synthèse des données individuelles des exploitations du Projet dans les fichiers de suivi individuels (cf trame en annexe 23) 	<p>Porteur de Projet ou Mandataire</p>
<p>3.1 Vérification du suivi du Projet</p> <p><i>Année 3 et en fin de Projet (le Porteur de Projet ou Mandataire dispose d'un délai de 1 an après la date de fin de Projet pour adresser une demande de vérification auprès d'un auditeur indépendant)</i></p>	<p>Apporter les garanties sur le suivi du Projet (à minima en fin de Projet)</p>	<p>En année 3 du Projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Audit du Porteur de Projet ou Mandataire <p>En fin de Projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demande auprès d'un organisme certificateur agréé d'audit du Projet (dans un délai de 1 an après la fin du Projet) • Transmission par le Porteur de Projet ou Mandataire de la liste des exploitations du Projet à l'auditeur • Sélection par l'auditeur de l'échantillon d'exploitations à auditer selon la formule d'échantillonnage détaillée au 8.4 • Audit des exploitations échantillonnées (selon plan de contrôle en Tableau 32) • Audit complémentaire dans le cas de non-conformité constatées • Rapport final de vérification précisant les RE certifiables du Projet 	<p>Auditeur à la demande du Porteur de Projet ou Mandataire</p>
<p>3.2 Reconnaissance des RE par l'administration</p> <p><i>Le Porteur de Projet ou Mandataire dispose d'un délai de 2 ans après la date de fin de Projet pour faire la</i></p>	<p>Pouvoir communiquer sur l'impact réel des Projets</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Demande formelle de reconnaissance des RE à partir des fichiers de suivi et du rapport de vérification de l'auditeur et de tout élément utile permettant de justifier de l'indépendance, de l'impartialité et de la compétence de l'auditeur choisi • Désignation du Financier, qui bénéficiera des RE, s'il y en a un 	<p>Autorité à la demande du Porteur de Projet ou Mandataire</p>

demande formelle de reconnaissance des RE auprès de l'administration)		<ul style="list-style-type: none"> Reconnaissance des RE matérialisée par l'inscription dans le fichier de suivi en ligne ^(*) 	
---	--	---	--

(*) : www.ecologique-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.

8.2.2 Cas de l'évolution de la surface des exploitations en cours du projet LBC GC

L'agriculture française est en pleine mutation, cela conduira à que la surface des exploitations agricoles actuelles évolue fortement au cours des prochaines années. Ainsi, il est possible de faire évoluer la surface de l'exploitation engagée dans un projet Label Bas Carbone - Grandes Cultures (« LBC-GC ») déjà existant. Cette évolution est probablement due à une augmentation (acquisition, location ou fermage, héritage, ...) ou réduction de la taille de l'exploitation (vente, expropriation, transmission ...).

Augmentation de la surface de l'exploitation

1. Si la(les) nouvelle(s) parcelle(s) est destinée à être intégrée dans le projet en cours

Les conditions suivantes sont à respecter :

- La (les) nouvelle(s) parcelle (s) doit répondre aux critères d'éligibilité d'un projet LBC GC (cf. Partie 3)
- Les exploitations devront par ailleurs utiliser un outil de calcul avec un module de suivi qui permet de modifier la superficie de l'exploitation.
- Cette augmentation de surface doit être signalée et démontrée par le document téléPAC qui sera fourni à la fin de l'audit.
- Les réductions d'émissions seront calculées seulement sur les années où les parcelles ont été effectivement cultivées par l'agriculteur.

Modalités possibles d'ajout de la nouvelle surface :

- a) Vérification (avec le conseiller et/ou porteur du projet en cours) si la nouvelle parcelle(s) est *équivalente** à un système de culture « x » déjà défini au début du projet. Après vérification -et si l'outil de diagnostic le permet- le facteur d'émission de référence du système "x" peut être affecté à la nouvelle surface.

* La nouvelle surface peut être considérée comme équivalente si elle présente à minima une situation pédoclimatique, un type d'agriculture et de succession de cultures similaires au système de culture "x".

- b) Si la nouvelle surface ne correspond pas à un système de culture présent dans le projet en cours, tout comme pour le démarrage d'un nouveau projet, un ou plusieurs systèmes de culture doivent être définis et le scénario de référence spécifique associé doit alors être calculé. Les surfaces finales sont adaptées.
- c) Si l'historique des dernières années de la nouvelle surface à ajouter n'est pas connu, il pourra alors être possible d'utiliser, de façon exceptionnelle, une référence générique (avec son rabais correspondant).

2. Si la (les) nouvelle(s) parcelle(s) ne fait pas partie du projet en cours (application des leviers)
Il est possible d'agrandir l'exploitation et que cette nouvelle surface ne soit pas prise en compte pour l'application des leviers, mais pour éviter les fuites de carbone dans l'ensemble de l'exploitation, la nouvelle surface devra être intégrée dans le suivi du projet.

Réduction de la surface de l'exploitation

1. Si la réduction concerne toute la surface d'une ou quelques exploitations du projet LBC GC existant

- Dans le cas d'un projet individuel, l'audit final est avancé juste avant la réduction de la surface de l'exploitation, qui signe la fin du projet (il faut dans ce cas que l'outil utilisé soit capable de calculer sur le temps du projet restreint).
- Dans le cas où le sous-projet individuel fait partie d'un projet collectif : Il est possible pour le porteur de projet de faire seulement le diagnostic final et le calcul des réductions d'émissions associées, puis la demande de vérification des réductions d'émissions seulement dans le cadre de l'audit et la demande de vérification globale du projet collectif. Si l'audit individuel est réalisé en même temps que la suppression de la parcelle(s), et la demande de vérification des réductions d'émissions dans la foulée, tous les exploitants devront être audités individuellement et faire des demandes individuelles de vérification puis de reconnaissance des réductions d'émissions.

2.2 Si la réduction ne concerne qu'une partie du parcellaire

Les calculs étant effectués à l'échelle du système de culture, deux possibilités se présentent :

1. Si la réduction de la surface concerne la totalité d'un système(s) de culture(s) défini au début de projet, ce système est retiré du projet et la surface de l'exploitation est adaptée.
2. Si la réduction de la surface ne concerne qu'une partie d'un système(s) de culture(s), la surface de(s) SdC en question est réduite, son bilan de référence et projet sont mises à jour :
 - Les mêmes conditions sur la temporalité de la réalisation de l'audit et de la demande s'appliquent et le projet peut continuer sur le reste des parcelles.
 - Le diagnostic de fin du projet est fait sur les parcelles qui restent.

2.3 Cas spécifique d'une transmission

S'il n'y a pas de reprise du projet :

Même cas que pour la réduction de toute la surface de l'exploitation (audit anticipé).

S'il y a une reprise de projet :

- **Si le périmètre du projet ne change pas** : Déclaration sur l'honneur que celui qui récupère l'exploitation continue le projet, dans ce cas il n'y a pas de changement. Nouveau mandat sera rédigé et l'audit vérifiera que le projet a effectivement été poursuivi.
- **Si le périmètre du projet change** : Déclaration sur l'honneur que celui qui récupère l'exploitation continue le projet et inclut l'ensemble des surfaces de son exploitation dans le projet une fois la transmission effectuée, en appliquant la règle définie au paragraphe précédent (augmentation surface).

La personne reprenant le projet devra être en possession de tous les justificatifs lors de l'audit.

Cas des structures juridiques particulières (SEP, SCL)

La méthode n'est pas ouverte aux SEP et SCL.

8.3 Suivi d'un Projet

Dans le cas de Projets collectifs ou individuels, le Porteur de Projet ou Mandataire est responsable de l'enregistrement annuel des pratiques de l'ensemble des exploitations qui le compose et du calcul des RE et des indicateurs de co-bénéfices du Projet en fin de Projet.

Le Porteur de Projet ou Mandataire doit s'assurer que les exploitations **enregistrent annuellement toutes leurs pratiques** et que les pratiques déclarées sont **conformes aux documents justificatifs** définis par la méthode. Il est recommandé au Porteur de Projet ou Mandataire d'enregistrer au fur et à mesure du Projet les pièces justificatives des agriculteurs nécessaires à l'audit en fin de Projet.

Pour chaque exploitation, le Porteur de Projet ou Mandataire doit compiler, a minima en fin de Projet, au sein des **fichiers de suivi individuels EXPLOITATION** (cf trame en Annexe 23), l'ensemble des éléments administratifs déclarés au moment de la labellisation (informations générales, leviers envisagés, additionnalité), les données d'entrées et pratiques renseignées pour la référence et les 5 années de Projet et les résultats de RE et les indicateurs de co-bénéfices obtenus en fin de Projet. Il doit s'assurer à minima en fin de Projet, que les exploitations utilisent un outil conforme à la méthode LBC-GC en vigueur (v2.0 pour les Projets notifiés postérieurement à la date xx/xx/xx et V1 BIS ou V2.0 pour les Projets antérieurs à la date xx/xx/xx) pour calculer les RE à l'échelle de leur exploitation et les indicateurs de co-bénéfices. Plusieurs outils peuvent être utilisés au sein d'un même Projet.

Les données d'entrées à enregistrer annuellement par le Porteur de Projet sont détaillées dans le fichier de suivi. Elles peuvent être saisies manuellement ou être directement exportées d'un outil de calcul qui dispose d'un module de suivi. Le format proposé pour l'enregistrement des données d'entrées annuelles n'est pas restrictif. Ces données doivent être collectées pour les 3 années de références et sur les 5 années de Projet.

Le Porteur de Projet ou Mandataire doit compiler, en fin de Projet, les résultats individuels des exploitations (RE et indicateurs de co-bénéfices) dans le **fichier de suivi PROJET** et calculer les RE totales du Projet (cf trame en Annexe 23)

8.4 Vérification et audit

Les auditeurs devront être accrédités par le COFRAC, indépendants et impartiaux au regard des normes NF EN ISO/CEI 17065 (certification de produits et de services) ou NF EN ISO/CEI 17020 (inspection) et compétents dans le secteur ou la filière de la méthode. Dans le cas de Projets Collectifs, ils doivent être habilités pour l'évaluation de structures collectives.

Dans la méthode Grandes Cultures, un ou deux audits auront lieu, selon que le Projet soit collectif ou non : un audit intermédiaire du Porteur de Projet (uniquement dans le cas de Projets collectifs) et un audit des Réductions d'Emissions générées par le Projet. Les points à contrôler, documents et enregistrements, type de vérification à réaliser par l'auditeur, et l'impact si un manquement est constaté sont définis dans les deux sous-chapitres suivants.

Commenté [NL1]: Date à renseigner une fois la méthode validée

Commenté [NL2]: Date à renseigner une fois la méthode validée

8.4.1 Audit intermédiaire du Porteur de Projet

Dans le cas de Projets collectifs uniquement, un audit intermédiaire du Mandataire devra être réalisé aux frais du Mandataire. Cet audit pourra être réalisé entre l'année 3 de Projet et la fin du Projet.

Cet audit a pour objectif de vérifier que le Porteur de Projet a mis en place les moyens humains et techniques pour réaliser un suivi annuel des pratiques mises en place par les exploitations du Projet (démonstration de moyens). Le plan d'audit à suivre pour la réalisation de cet audit du Porteur de Projet est décrit dans le tableau ci-dessous :

Tableau 30 : Plan de contrôle pour l'audit du Mandataire

N°	Points à contrôler	Modalité de contrôle	Documents/enregistrements	Type de vérification	Impact si manquement constaté
1	Enregistrement des documents de labellisation	Vérifier que le Mandataire dispose de l'ensemble des documents mis à disposition de l'administration pour la labellisation de Projet (liste à jour des agriculteurs du Projet, nom des structures juridiques, résumé de l'engagement collectif, récépissé de l'administration sur la validation du Projet, fichiers individuels détaillant l'engagement, pièces justificatives des agriculteurs pour justifier des critères d'éligibilité)	Organisation mise en place par le Mandataire (moyens humains, canaux de récupération des documents, et des données, coordonnées des exploitations disponibles en cas de problème identifié, mode de stockage des documents, nom des outils utilisés par les agriculteurs, accès aux outils de calcul ...)	Documentaire	Non-conformité : complément à apporter à l'auditeur à la suite de l'audit pour lever la non-conformité
2	Enregistrement des fichiers de suivi annuel des exploitations	Vérifier que le Mandataire s'est organisé pour récupérer les pratiques des exploitations du Projet sur la référence et les 2 premières années de Projet		Documentaire	Non-conformité : complément à apporter à l'auditeur à la suite de l'audit pour lever la non-conformité
3	Mise en place d'un process d'audit interne	Vérifier que le Mandataire a mis en place un process de contrôle interne (complet ou par échantillonnage) pour vérifier la cohérence des pratiques renseignées par les agriculteurs pour la référence et le Projet avec les données des pièces justificatives	Moyen humains mis en place par le Mandataire, process de contrôle interne rédigé et documenté, document de suivi renseigné par exploitation des vérifications réalisées et des non-conformités constatées	Documentaire	Non-conformité : complément à apporter à l'auditeur à la suite de l'audit pour lever la non-conformité

L'audit en année 3 devra avoir lieu en présentiel chez le Mandataire. Il donnera lieu à un rapport d'audit mettant clairement en évidence les non-conformités éventuellement constatées chez le Mandataire. Le Mandataire devra proposer un plan d'action pour lever les non-conformités constatées dans un délai de 3 mois à compter de la date d'audit.

Le rapport d'audit du Mandataire devra être annexé au rapport de vérification des Réductions d'Emissions du Projet réalisé en fin de Projet, lui-même transmis à l'administration pour la reconnaissance des Réductions d'Emissions.

8.4.2 Audit des Réductions d'Emissions générées par le Projet (en fin de Projet)

A l'issue des 5 ans du Projet, le Projet fait l'objet d'un audit par un organisme Auditeur agréé. 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 Mandataire ou Porteur de Projet. Pour ce faire, il 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 indépendant, mandaté aux frais du Mandataire ou du Porteur du Projet.

Audit des Projets collectif

Dans le cas de Projets collectifs, l'audit des Réductions d'Emissions générées par le Projet en fin de Projet devra être réalisé par l'auditeur selon les étapes suivantes :

1. Audit du Mandataire selon plan de contrôle détaillé Tableau 30 (si non déjà réalisé en cours de Projet)
2. Audit du Projet et des réductions d'émissions :
 - Transmission par le Porteur de Projet de la liste des exploitations du Projet à l'auditeur
 - Sélection par l'auditeur de l'échantillon d'exploitations à auditer selon la règle suivante :

$$\text{Nombre d'exploitations auditées} = 0,5 \times \sqrt{n}$$

Avec n, le nombre d'exploitations du projet.

Sur sa demande, le Porteur de Projet pourra demander à étendre le nombre d'exploitation auditées du Projet.

Tableau 31 : Formule d'échantillonnage selon le nombre d'exploitation du Projet.

Nombre d'exploitations du projet (n)	Echantillon pour la vérification (0.5 √n)
10	2
100	5
1 000	16
10 000	50

- Audit des exploitations échantillonnées (selon plan de contrôle des exploitations, voir tableau suivant).
3. Audit complémentaire dans le cas de non-conformité constatées. Toutes les non-conformités constatées seront à nouveau auditées.
 4. Rapport final d'audit précisant les RE certifiables du Projet.

Audit des Projets individuels

Dans le cas de Projets individuels, l'audit des Réductions d'Emissions générées par le Projet en fin de Projet devra être réalisé par l'auditeur selon les étapes suivantes :

1. Audit de l'exploitation du Projet (selon plan de contrôle des exploitations, voir tableau suivant).
2. Audit complémentaire dans le cas de non-conformité constatées
3. Rapport final d'audit précisant les RE certifiables du Projet.

Plan de contrôle

Pour réaliser **l'audit des exploitations échantillonnées** ou de **l'exploitation du Projet**, les auditeurs devront suivre le plan de contrôle détaillé dans le tableau suivant.

En début d'audit, le Porteur de Projet devra mettre à disposition de l'auditeur :

- Le fichier complété de suivi du Projet (selon trame de fichier disponible en annexe 23)

Et pour chaque exploitation auditée :

- Le fichier de suivi par exploitation auditée (selon trame de fichier disponible en annexe 23) renseigné pour la référence et les 5 années de Projet.
- L'ensemble des documents justificatifs.
- Un accès à l'outil de calcul utilisé pour réaliser le calcul des RE.

En effet, l'auditeur devra avoir accès à l'outil de calcul certifié utilisé par l'exploitation agricole afin de pouvoir vérifier pour chaque point de contrôle si :

- Les pratiques saisies dans l'outil sont conformes aux documents justificatifs
- Les résultats fournis par l'outil sont conformes aux données renseignées dans le fichier de suivi de l'exploitation

Tableau 32 : Liste des points de vérification pour les exploitations échantillonnées

	Points à contrôler	Modalité de contrôle	Documents/enregistrements*	Type de vérification	Impact si manquement constaté
1	<u>Critères d'éligibilité 2 respecté</u> "Utilisation d'un outil certifié conforme (par un organisme indépendant) à la méthode LBC Grandes Cultures pour la réalisation des calculs des RE"	Vérification que l'exploitation a bien été diagnostiquée et suivie avec un outil conforme à la version de la méthode LBC Grandes Cultures en vigueur au moment de l'audit	<ul style="list-style-type: none"> - Attestation nominative d'utilisation de l'outil par l'exploitation - Attestation de conformité de l'outil à la méthode Label bas-carbone Grandes Cultures en vigueur au moment de la labellisation de Projet délivrée par un organisme certificateur (indiquant la version de l'outil certifiée et la version de la méthode Label bas-carbone Grandes Cultures) 	Documentaire	Aucune RE certifiable sur l'exploitation, arrêt de l'audit de l'exploitation
2	<u>Critère d'éligibilité 3 respecté</u> : Respect de la conditionnalité PAC du domaine « environnement, changement climatique et bonnes conditions agricoles des terres » (inclut le respect de la directive Nitrates) sur la période du Projet	Vérification de la présence des pièces justificatives (lettre de fin d'instruction) pour les 5 années de Projet et l'exploitation contrôlée	Lettre de fin d'instruction TelePac sur l'attribution des aides du 1er pilier pour les 5 années du Projet	Documentaire	Aucune RE certifiable sur l'exploitation, arrêt de l'audit de l'exploitation
3	<u>Critères d'éligibilité 4 respecté</u> "Mise en place de leviers permettant d'améliorer le bilan net de l'atelier grandes cultures"	Vérifier que l'exploitation a bien mis en œuvre au moins un des leviers indiqué dans l'onglet "Leviers" du fichier de suivi par le contrôle de l'évolution des indicateurs de suivi du leviers sur les 5 années de Projet	"Fichier de suivi_exploitation" renseigné en fin de Projet	Documentaire	Aucune RE certifiable sur l'exploitation, arrêt de l'audit de l'exploitation

		Les indicateurs de suivi des leviers (précisés dans l'annexe 24 de la méthode) mobilisés par l'exploitation sont à recalculer par l'auditeur selon les données d'entrées des 5 années de Projet et des 3 campagnes de référence			
4	<i>(optionnel, uniquement dans le cas de la mobilisation du levier plantation de miscanthus)</i> Critères d'éligibilité 5 respecté " « Maîtrise de la perte de surface de l'exploitation en grandes cultures au profit du miscanthus »	Vérifier que l'exploitation n'a pas diminué sa surface en grandes cultures au profit du miscanthus de plus de 20% entre la référence et la moyenne des 5 années de Projet	Déclaration PAC de l'exploitation en référence et après plantation du miscanthus (année 1 à 5 du Projet)	Documentaire	Aucune RE miscanthus certifiable
5	Vérification des aides touchées en 1ère année de Projet et de leur conformité à <u>la démonstration de l'additionnalité</u> déclarée lors de la labellisation	Vérifier que les financements touchés par l'exploitation en 1ère année de Projet ont bien été déclarées lors de la démonstration de l'additionnalité pour la labellisation	« Fichier de suivi_exploitation » onglet « Additionnalité » cohérent avec les aides publiques touchées par l'agriculteur en année 1 de Projet et déclarées dans l'onglet « (DDP) Additionnalité »	Documentaire	Correction à apporter sur les rabais à appliquer et audit complémentaire
6	Vérification de la SAU de l'exploitation incluse dans le Projet LBC	Déclaration conforme aux surfaces en grandes cultures déclarées dans les déclarations PAC	Déclarations PAC des 5 années du Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
7	Vérification des données météo renseignées	Si données moyennes départementales : département choisi conforme à la localisation majoritaire des parcelles de l'exploitation Si données spécifiques :	Déclaration PAC indiquant la localisation des parcelles de l'exploitation (si utilisation de données spécifiques) extraction des indicateurs calculés par la station météo sur une période	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire

		valeur ETP, pluvio et T° moyenne conforme aux relevés de la station météo de l'exploitation	de 10 à 20 ans (qui précède le Projet ou incluant les 5 ans de Projet)		
8	Vérification des données sol renseignées	Pour chaque type de sol caractérisé, vérifier que les caractéristiques renseignées (teneur en argile, calcaire, pH, Carbone organique (ou matière organique), azote total ou organique ou C/N, profondeur) sont conformes aux éléments de l'analyse de sol associée. Si certains paramètres ont été définis selon une base de données, vérifier la source utilisée et la conformité des données renseignées	Analyses de sols de l'exploitation (si utilisées) sources et bases de données utilisées si paramètres manquants	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
9	Surface des systèmes de cultures	Selon les parcelles affectées à chaque système de culture, vérification de la surface des systèmes de culture selon les surfaces des parcelles déclarées à la PAC	Déclarations PAC des 3 années précédant le Projet des 5 années du Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
10	Surface des cultures par système de culture	Vérification des surfaces de chaque culture déclarée par parcelle et agrégées par système de culture Vérifier les rattachements	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire

		réalisés si la culture n'est pas définie dans les listes de l'Annexe 5 – Référentiel Cultures (Onglets CA_CD_Corres AMG-Référentiel et/ou CA_CD_Corres EDI-Référentiel)			
11	Rendements des cultures principales	Vérification des rendements de chaque culture par parcelle et valeurs moyennes calculées à l'échelle du système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
12	Gestion des résidus des cultures principales	Vérification du mode de gestion des résidus (exportation/restitution) de chaque culture par parcelle et valeurs moyennes calculées à l'échelle du système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
13	Dose engrais minéraux (types d'engrais, doses et surfaces)	Vérification des doses et types d'engrais minéraux apportés sur chaque culture par parcelle et agrégées par système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet Pièce justificatives complémentaires pour justifier de l'appellation inhibiteur de nitrification, inhibiteur d'uréase... (voir publication du journal officiel de l'UE)	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
14	Effluents organiques (surface, dose, type)	Vérification des doses et types d'engrais organiques apportés sur chaque culture par parcelle et agrégées par système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire

15	Caractéristiques des apports organiques (teneur en N, teneur en N minéral, teneur en C)	- Vérification des teneurs en azote total des effluents épandus par rapport aux éléments du cahier d'épandage - (optionnel) vérification des teneurs en N minéral et teneur en C des effluents épandus selon les analyses des effluents de l'agriculteur si les valeurs par défaut n'ont pas été utilisées	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet Analyses des effluents réalisées	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
16	<i>(optionnel – si utilisation de facteurs d'émissions spécifique)</i> Facteurs d'émissions spécifiques des engrais minéraux ou organiques	Vérifier que les facteurs d'émissions spécifiques renseignés pour un ou plusieurs engrais minéraux ou organiques sont conformes aux données transmises par le fournisseur et aux attentes méthodologiques de la méthode Label bas-carbone Grandes Cultures	Rapport d'ACV du ou des engrais concernés par le fournisseur + Revue critique par un tiers (auditeur) du calcul réalisé (cf. Annexe 8).	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
17	Surfaces des cultures intermédiaires et espèces associées	Vérification des surfaces de cultures intermédiaires par parcelle et des surfaces totales couvertes pas une culture intermédiaire calculées à l'échelle du système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet ou Déclarations PAC (hors zones vulnérables aux nitrates)	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
18	Biomasse des cultures intermédiaires et méthode d'évaluation	- Si l'agriculteur a utilisé <u>une abaque</u> pour estimer les biomasses produites à partir de l'espèce, région et	<u>Dans tous les cas :</u> Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet (pour justifier de la présence du	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire

		<p>des dates de semis/destruction : vérification espèces, date de semis et date de récolte dans cahier d'épandage et conformité de la valeur de biomasse utilisée avec la valeur donnée par l'abaque</p> <p>- Si l'agriculteur a réalisé des <u>mesures au champs</u> : vérification de la valeur utilisée avec les données renseignées dans la fiche déclarative + de saisie de pesée</p> <p>- Si l'agriculteur a utilisé une valeur spécifique pour estimer les biomasses à partir de <u>modèles de télédétection</u> (à partir de LAI) ou modèles de cultures/croissance (corrigé ou non par télédétection) : vérifier la valeur utilisée avec les valeurs définies par les rapports écrits ou informatiques des modèles</p>	<p>couvert et des dates de semis/destruction)</p> <p>Et</p> <p><u>Si mesures aux champs</u> : Fiche de relevé de mesure de biomasse terrain renseignée selon protocole (cf. Annexe 15)</p> <p><u>Si modèles/télédétection</u> : Rapports des modèles de télédétection ou de croissance des couverts végétaux basés ou non sur la télédétection</p>		
19	Surfaces des cultures dérobées et espèces associées (cultures dérobées fourragères et cultures intermédiaires à vocation énergétique)	Vérification des surfaces de cultures dérobées par parcelle et des surfaces totales couvertes pas une culture dérobée calculées à l'échelle du système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire

20	Irrigation	Vérification de l'irrigation apportée par parcelle et par culture selon le cahier d'épandage et des doses moyennes (en mm) apportées à l'échelle du système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
21	(optionnel - dans le cas de l'activation du levier "Chaulage des sols acides") Amendements basiques	Vérification des amendements basiques apportés par parcelle et par culture (types et doses) selon le cahier d'épandage et des doses moyennes (en mm) apportées à l'échelle du système de culture	Cahier d'épandage pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet ou factures des achats d'amendements si non renseignés dans le cahier d'épandage	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
22	Consommation d'énergie pour les interventions et l'irrigation	Vérification de la consommation d'énergie (GNR, fioul, électricité) à l'échelle de l'atelier grandes cultures de l'exploitation pour les engins et le fonctionnement de l'irrigation (si présente)	Facture d'énergie ou extraction des bilans comptables pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet ou si calcul des consommations selon interventions culturales : cahier de traçabilité des interventions culturales pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
23	(optionnel - si présence d'installations de séchage et/ou de stockage) Consommation d'énergie pour le stockage et le séchage	Vérification de la consommation d'énergie (GNR, fioul, électricité, biomasse) consommée à l'échelle de l'atelier grandes cultures de l'exploitation pour les installations de séchage et de stockage (si présente)	Facture d'énergie ou extraction des bilans comptables pour les 3 années de référence et les 5 années de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire

24	(optionnel – si mise en place du levier plantation de miscanthus) Surface plantée, durée de bail restante, interventions, rendement miscanthus	<p>Dans le cas où l'agriculteur n'est pas propriétaire des parcelles, vérifier que la durée du bail restante correspond à la durée sur laquelle ont été calculées les RE stockage miscanthus anticipées.</p> <p>Vérification de la surface des parcelles concernées par la plantation de miscanthus, de leurs caractéristiques (climat renseigné), de l'année de plantation, des interventions réalisées entre l'année 1 à 5, du rendement obtenu en année 5 et de la présence de la culture en année 5 sur les parcelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Attestation de propriété des parcelles concernées ou bail rural écrit avec date d'échéance - Facture liée à la prestation de plantation et/ou à l'achat des plants de miscanthus - Déclarations PAC de l'exploitation avant Projet (année n-3 à n-1) et en phase de Projet (n à n+5) - Cahier de traçabilité des interventions (travail du sol, fertilisation, plantation, récolte...) - Document fourni par l'acheteur de la biomasse du miscanthus (si utilisation du rendement réel en année 5) - Photographie aérienne attestant de la présence d'une culture en année 5 ou rapport d'expert et photographie associée attestant d'une bonne implantation du miscanthus en année 5 (fournie par le prestataire en charge de la plantation par exemple) 	Documentaire	<p>Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire</p> <p>L'absence de fourniture d'une photographie aérienne en année 5 permettant de visualiser la présence de la culture impliquera l'impossibilité de valoriser les RE stockage miscanthus.</p>
25	Vérification des RE totales avant rabais	<p>Vérification que les données renseignées dans le fichier "Fichier_suivi_exploitation" sont conformes aux RE totales sur 5 ans calculées</p>	<p>"Fichier de suivi_exploitation" (onglet "Suivi_resultats") renseigné en fin de Projet</p>	Documentaire	<p>Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire</p>

		avant rabais par l'outil utilisé par l'exploitation			
26	Vérification des rabais considérés	Vérification que les rabais utilisés pour le calcul des RE certifiables sont bien conformes aux données utilisées par l'exploitation pour les calculs	"Fichier de suivi_exploitation" (onglet "Suivi_resultats") renseigné en fin de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
27	Vérification des RE certifiables	Recalculer les RE certifiables après application des rabais et vérifier la conformité avec les RE certifiables du fichier "suivi_exploitation"	"Fichier de suivi_exploitation" (onglet "Suivi_resultats") renseigné en fin de Projet	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire
28	Indicateurs de co-bénéfices	Vérifier que les indicateurs de cobénéfices renseignés dans le fichier "Fichier_suivi_exploitation" sont conformes aux valeurs calculées par l'outil certifié utilisé pour le calcul des indicateurs de cobénéfices Et Pour les données d'entrées permettant le calcul de l'IFT, vérifier la source des données renseignées (issues de sources fiables)	"Fichier de suivi_exploitation" (onglet "Suivi_resultats") renseigné en fin de Projet Sources des données renseignées dans l'outil de calcul pour l'IFT	Documentaire	Correction à apporter sur les données renseignées et audit complémentaire

L'audit des exploitations échantillonnées pourra avoir lieu chez le Porteur de Projet ou à distance (audit documentaire).

Il donnera lieu à un rapport d'audit mettant clairement en évidence :

- Les non-conformités éventuellement constatées sur les exploitations de l'échantillon
- Dans le cas de non-conformités constatées importantes sur une ou plusieurs exploitations échantillonnées, une demande formulée au Mandataire de procéder à une analyse de l'étendue de l'écart sur les exploitations non échantillonnées
- Les corrections et calculs à corriger par le Porteur de Projet ou Mandataire dans un délai de 3 mois à compter de la date d'audit.
- Les RE certifiables, dans le cas où aucune non-conformité n'a été constatée

Suite à la réalisation des corrections par le Porteur de Projet et à l'analyse de l'étendue de l'écart réalisée par le Mandataire, un audit complémentaire permettra de vérifier les corrections effectuées. Dans le cas où l'auditeur a formulé une analyse de l'étendue de l'écart, l'audit complémentaire permettra d'évaluer les vérifications entreprises par le Mandataire et d'évaluer si l'étendue de l'écart nécessite ou non l'élargissement de l'échantillon audité. Selon l'étendue de l'écart, l'auditeur pourra ainsi demander à procéder à un nouvel échantillonnage d'exploitations du Projet.

Pour chaque exploitation audité, l'auditeur synthétisera dans son rapport l'écart entre les RE calculées par le Porteur de Projet (avant audit) et les RE recalculées (suite aux corrections demandées par l'auditeur et à l'audit complémentaire). Dans son rapport final et selon les RE recalculées par le Mandataire/Porteur de Projet après l'audit complémentaire, l'auditeur indiquera les RE certifiables du Projet.

Cette même démarche pourra être appliquée aux indicateurs de co-bénéfices.

8.5 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. Les auditeurs devront être accrédités par le COFRAC, indépendants et impartiaux au regard des normes NF EN ISO/CEI 17065 (certification de produits et de services) ou NF EN ISO/CEI 17020 (inspection) et compétents dans le secteur ou la filière de la méthode.

Les outils seront certifiés conformes à une version donnée de la méthode. A chaque nouvelle mise à jour du présent document, le Porteur d'Outil doit renouveler la certification de son Outil. Pour être reconnu conforme à la méthode Grandes Cultures, l'Outil doit mettre en œuvre, à minima, les équations et références de la dernière version publiées de la méthode Grandes Cultures. Les mises à jour des équations de la méthode Grandes Cultures étant rétroactives, les Porteurs d'Outils ne pourront pas maintenir la v1 de la méthode Grandes Cultures dans leur outil. Ils devront mettre à jour les équations de calcul mais pourront conserver deux jeux de base de données (disponible dans les Annexes) différents : les bases de données de la v1 et les bases de données de la v2. Si les Porteurs d'Outil souhaitent maintenir une version de l'outil avec les anciennes bases de données, ils devront auditer les deux outils : un audit pour la version « v1 bis » (équations de la v2 et annexes de la v1) et un audit pour la « v2 » (équations de la v2 et annexes de la v2).

L'auditeur contrôlera que :

- Les formalismes utilisés sont conformes à ceux décrits dans la Partie 6 du présent document. Pour cela, le porteur d'outil devra faire tourner un cas-type dont les résultats de Réductions d'Emissions et de Co-bénéfices obligatoires sont connus.
- Les tables de paramétrage utilisées sont conformes aux Annexes.

L'audit doit porter sur l'ensemble des postes des RE totales et des co-bénéfices obligatoires. La conformité des outils est certifiée sur chacun des postes du tableau 33 :

Tableau 33 : Modalités de certification pour la conformité des outils de calcul des RE

		Formalismes	Tables de paramétrage
RE émissions	RE _{fertilisation}	Partie 6.1.1	Annexes 3, 4, 5, 7 et 9
	RE _{combustibles}	Partie 6.1.2	
	RE _{séchage/stockage}	Partie 6.1.3	
RE aval	RE _{séchage OS}	Partie 6.2.1	Annexe 11
	RE _{protéine}	Partie 6.2.2	Annexe 11b
RE stockage C dans le sol	RE _{stockage carbone sol}	Partie 6.3	Annexe 3, 5 et 7
RE miscanthus (*)	RE _{émissions miscanthus}	Partie 6.4	-
	RE _{stockage carbone sol miscanthus}	Partie 6.4	-
Rabais global	f _{rabais(RE)}	Partie 6.5	-
Calcul des co-bénéfices obligatoires		Partie 7	Annexe 17

(*) Si intégré dans l'outil

Afin de garantir que chaque outil labellisé met en œuvre les formalismes de la méthode Grandes Cultures, les auditeurs devront suivre un plan de contrôle défini comme suit. Le contrôle de l'outil se fera comme suit :

- Le Porteur d'Outil demande au Comité de Rédaction de lui fournir les données d'entrées d'un cas-type. Le Porteur d'Outil devra renseigner ces données dans son outil et calculer les Réductions d'Emissions.
- Le Porteur d'Outil donne accès à l'Auditeur à la ou les simulations du cas-type pour qu'il puisse vérifier les données d'entrées renseignées et les résultats de Réductions d'Emissions intermédiaires et finales (cf. Plan de plan fichier Excel).
- L'Auditeur demande au Comité de Rédaction de lui fournir les données d'entrées et les résultats de Réductions d'Emissions « étalons » du cas-type. Ces résultats « étalons » ont été calculés au préalable par le Comité de Rédaction.
- L'Auditeur :
 - Compare les données d'entrées de l'Outil par rapport aux données d'entrée du Cas-Type fourni par le Comité de Rédaction.

- Compare les résultats obtenus pour les différents postes entre les résultats « étalons » et les résultats obtenus avec l’Outil (cf. Tableau 33).
- Vérifie que le Porteur d’Outil a apporté les précisions nécessaires dans l’Outil afin que l’utilisateur sache exactement comment saisir et adapter et/ou agréger ces données, et qu’il n’y ait pas d’ambiguïté dans la saisie.
- A la suite de ces échanges entre le Porteur d’Outil et l’Auditeur, l’Outil est labélisé :
 - Si les données d’entrée renseignées dans l’Outil correspondent aux données d’entrées fournies par le Comité de Rédaction. Si les données d’entrées ne correspondent pas, le Porteur d’Outil devra justifier auprès de l’Auditeur des adaptations et/ou agrégations réalisées sur les données d’entrées du cas-type.
 - S’il renvoie les mêmes résultats que les résultats de Réductions d’Emissions « étalons », avec un écart toléré de 5% sur le calcul des RE_émissions et RE_stockage de Carbone. Cet écart prend en compte les variations potentielles entre les modèles de simulation de stockage de Carbone, mais aussi des variations de résultats liés à des choix de modélisation (ex : arrondi des valeurs, etc...).
 - Si un écart supérieur à 5% est constaté sur la valeur de ces Réductions d’Emissions, le Porteur d’Outil identifie et documente la façon dont les équations ont été codées et communique à l’auditeur les causes de l’erreur et les ajustements à réaliser pour corriger l’écart. Le Porteur d’Outil corrige les erreurs de calcul, et un audit complémentaire doit être organisé.
 - S’il renvoie les mêmes résultats que les résultats « étalons » des co-bénéfices obligatoires (à l’exception du co-bénéfice IFT qui peut être calculé avec un autre outil comme : <https://alim.agriculture.gouv.fr/ift/>). L’écart constaté doit être inférieur ou égal à 5% pour le calcul des co-bénéfices obligatoires.
- Afin de clôturer l’audit de l’Outil, l’auditeur :
 - Fournit un rapport d’audit qui intègre les erreurs identifiées et les corrections apportées, et qui certifie la conformité de l’Outil à la méthode Grandes Cultures en précisant la ou les versions certifiées.
 - Fait suivre le rapport d’audit au Comité de Rédaction.

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

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).
- Alletto, L., Cueff, S., Bréchemier, J., Lachaussée, M., Derrouch, D., Page, A., Gleizes B., Perrin P. & Bustillo, V. (2022). Physical properties of soils under conservation agriculture: A multi-site experiment on five soil types in south-western France. *Geoderma*, 428, 116228.
- Arvalis - Institut du végétal, Terres Inovia, ITB, et ACTA. « Méthode de calcul des indicateurs SYSTERRE », 2018
- Ballot, R., Guilpart, N., & Jeuffroy, M. H. (2023). The first map of crop sequence types in Europe over 2012–2018. *Earth System Science Data*, 15(12), 5651-5666.
- Akiyama, H., Yan, X., Yagi, K. (2010). Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global change biology* (16)
- 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., Girardin, P., 2010. Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode Indigo®. Colmar. Document INRA-ARAA, 119 p.
- 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
- Bouthier, A., Pelosi, C., Villenave, C., Peres, G., Hedde, M., Ranjard, L., ... & Piron, D. (2014). Impact du travail du sol sur son fonctionnement biologique. *Faut-il travailler le sol*, 85-108.
- 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>
- Chaplain, V., Défossez, P., Richard, G., Tessier, D., & Roger-Estrade, J. (2011). Contrasted effects of no-till on bulk density of soil and mechanical resistance. *Soil and Tillage Research*, 111(2), 105-114.
- Chao A., Chiu C.-H., L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through hill numbers, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 45:297-324.
- 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., Vertès, 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.

- Cousin, I., Ly, A., Duparc, P. B., Champolivier, L., & Bernicot, M. H. (2018). Evaluating pedotransfer functions for the estimation of soil bulk density on cultivated fields. In International Soil Tillage Research Organization (ISTRO). 2018 ISTRO Conference.
- 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
- FERCHAUD Fabien, BOISSY Joachim, MOUNY Jean-Christophe, DUPARQUE Annie, MARSAC Sylvain, CHENU Claire, 2022. Projet CE-CARB : cultures énergétiques et stockage de carbone dans les sols. Synthèse du rapport final. 17 pages.
- Farjon G., Krikeb O., Hillel A.B., Alchanatis V., 2019. Detection and counting of flowers on apple trees for better chemical thinning decisions. *Precision Agriculture* 21, 503-521.
- Janssens X., Bruneau E., Lebrun P., 2006. Prédiction des potentialités de production de miel à l'échelle d'un rucher au moyen d'un système d'information géographique. *Apidologie* 37, 351–365.
- Générmont, S. et al. (2019). Diagnostiquer : inventorier, surveiller et évaluer, in: Bedos, C., Générmont, 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 AGRICULTURE Méthode de suivi des réductions d'émissions en élevages bovins et de grandes cultures conforme au Label Bas Carbone.
- Keller, T., & Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154(3-4), 398-406.
- Kladvik, E. J. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research* 61, 61–76 (2001).
- Koch, P., & Salou, T. (2016). AGRIBALYSE® : Rapport méthodologique Version 1.3. In Ademe.
- Le Conte Y., Allier F., Béguier V., Cerrutti N., Chauvel B., Decourtye A., Duroueix F., Gallois P., Jezequel S., Schatz B., Huyghe C. (2022). Identification de mesures de compensation pour améliorer la protection des pollinisateurs face aux épandages de produits phytosanitaires pendant la floraison des cultures. [O] INRAE. 2022, pp.36. hal-03719258
- 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., Duparc 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.
- 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.
- Martin, A. E., Collins, S. J., Crowe, S., Girard, J., Naujokaitis-Lewis, I., Smith, A. C., Lindsay, K., Mitchell, S., & Fahrig, L. (2020). Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—Or even larger than—The effects of farming practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 288, 106698. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106698>
- Mulder V.L., 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
- Muneret, L., Ricci, B., Vialatte, A., Aviron, S., Ducourtieux, C., Biju-Duval, L., & Petit, S. (2023). Carabid beetles have hump-shaped responses to disturbance and resource gradients within agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 60-4, 581-591. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14357>

- 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
- 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. Consultable sur : <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, France de la préservation du bilan de carbone organique des sols à long terme- Appel à Projé– 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.
- Ruser, R., Schulz, R. (2015). The effect of nitrification inhibitors of the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils – a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci* (178).
- 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>
- 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.
- Tailleur A. et Gac A. (2020). GES'TIM+ Référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air. Version 1.2. 517p
- 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
- Zhang C., Craine W.A., McGee R.J., Vandemark G.J., Davis J.B., Brown J., Hulbert S.H., Sankaran S., 2020. Image-Based Phenotyping of Flowering Intensity in Cool-Season Crops. *Sensors* 20, 5, 1450.

Annexes techniques

Annexe 1 : Périmètre des Cultures Principales, Dérobées et Intermédiaires dans le périmètre de la méthode Grandes Cultures

cf. pièces-jointes : LBC_Methode GC_Annexe01_Périmètre méthode GC.xls

Annexe 2 : Rétroactivité des mises à jour de la méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures version 2.0

Cette annexe recense l'ensemble des mises à jour de la méthode Grandes Cultures v2.0 et précise si ces mises à jour ont un effet rétroactif ou non. Les mises à jour rétroactives s'appliquent sur l'ensemble des Projets déposés depuis la validation de la méthode Grandes Cultures v1.0 par les Autorités compétentes. Les mises à jour non rétroactives s'appliquent pour les Projets notifiés après la date de validation de la méthode Grandes Cultures v2.1 par les Autorités compétentes.

Corps de la méthode

Partie de la méthode	Description de la mise à jour	La mise à jour est-elle rétroactive ?
1.2 Promoteur de la Méthode Grandes Cultures	Modification de la Figure « Structuration du consortium LBC Grandes Cultures »	Non
1.4.1. Périmètre de comptabilisation	Ajout de nouvelles cultures dans le périmètre de la méthode LBC-GC (miscanthus, légumes de plein champ, etc.)	Oui
	Ajout des jachères non semées dans le périmètre de la méthode	Oui
1.4.2 Maille de calcul	Changement du périmètre de la méthode pour prendre en compte tout l'atelier Grandes Cultures (à l'exclusion des systèmes de culture avec des cultures hors périmètre en rotation)	Non
	Modification de la figure « Définition des systèmes de culture et principe de suivi »	Non
	Rajout d'un cas spécifique pour les Projets mobilisant le levier « Plantation de miscanthus »	Oui
1.4.3 Réduction d'émissions couvertes	Modification de la figure « Réductions d'émissions couvertes par la Méthode »	Oui
	Rajout des RE aval « Valorisation de biomasse pour la production de matières riches en protéines à faible intensité Carbone »	Oui
	Rajout des RE anticipées pour le levier « Plantation de Miscanthus »	Oui
1.5 Durée des Projets	Rajout d'un cas spécifique pour les Projets mobilisant le levier « Plantation de miscanthus »	Oui

1.7.1 Articulation avec la Méthode CarbonAgri v1	Mise à jour du texte et de la figure	Oui
1.7.2 Articulation avec la Méthode Haies v1	Mise à jour du texte et de la figure	Oui
1.7.3. Articulation avec la Méthode Plantation de Vergers v1	Ajout de paragraphe	Oui
1.7.4. Articulation avec la Méthode Sobac'Eco-TMM v1	Mise à jour du texte et de la figure	Oui
1.7.5. Articulation avec la Méthode Ecométhane v1	Ajout de paragraphe	Oui
1.8 Mise à jour des référentiels et de la Méthode	Modification du principe de rétroactivité des mises à jour : les équations de calcul sont rétroactives, mais pas les modifications des annexes. La rétroactivité, ou non, d'une mise à jour est précisée dans l'Annexe 2.	Oui
2. Les bénéfices des Projets pour l'économie bas-carbone	Mise à jour du premier paragraphe du chapitre	Oui
2.1 La diminution des émissions de GES associées à la fertilisation azotée	Rajout d'un potentiel de RE pour le levier « Chaulage des sols acides »	Oui
2.3 Le stockage de carbone dans le sol	Ajout d'un potentiel de RE pour le levier « Implantation de miscanthus sur des parcelles assolées »	Oui
3. Les critères d'éligibilité des Projets	Critère d'éligibilité 1,2,3 (atelier grandes cultures, outil certifié, respect conditionnalité PAC) – précisions sur les pièces justificatives	Oui
	Nouveaux critères d'éligibilité 4 et 5	Non
4.1.2 Leviers permettant de stocker du carbone dans les sols	Ajout du paragraphe sur le levier Miscanthus	Oui
4.3 Démonstration de l'additionnalité dans le cadre d'un renouvellement de Projet	Cadrage de l'additionnalité d'un renouvellement de Projet	Oui

5. Le scénario de référence	Distinction de deux types de références : semi-générique et générique	Oui
5.2 Définition des systèmes de culture	Mise à jour du guide pour définir les Systèmes de Culture	Non
5.4 Scénario de référence semi-générique ou générique	Rajout des cas d'usage de la référence semi-générique ou générique	Non
5.4.1. Scénario de référence semi-générique	Rajout d'une explication sur l'utilisation de la référence semi-générique	Oui
5.4.2. Scénario de référence générique	Mise à jour de l'explication sur l'utilisation de la référence semi-générique	Oui
5.5 Scénario de référence dans le cas d'un renouvellement de Projet	Ajout de paragraphe pour cadrer le choix d'un scénario de référence dans le cadre d'un renouvellement de Projet	Non
6.1 Calcul des RE émissions	Ajout du poste RE _{miscanthus} dans l'équation RE _{émissions}	Oui
6.1.1 Calcul des RE fertilisation	Modification de l'équation de calcul QN _{résidus_Ci,j,k} (quantité d'azote contenu dans les résidus des cultures intermédiaires). Cette MAJ est associée à une MAJ de l'annexe 05 Cultures.	Non
	Modification des facteurs d'abattements des inhibiteurs de nitrification	Non
	Apport de précision sur l'équation C _{chaulage}	Oui
	Apport de précision sur l'équation CO2 _{directes} des amendements basiques : <ul style="list-style-type: none"> • Correction de l'intitulé de F_C en "taux de carbone du produit appliqué émis" • Explication de la source de la valeur 	Oui
	Ajout de l'équation CO2 _{urée i,k}	Non
	Définir une méthode pour réaliser le rattachement des engrais minéraux et PRO non répertoriés.	Non
	Ajout de la possibilité d'utiliser des facteurs d'émissions amont minéraux et organiques	Oui

	spécifiques sous réserve de suivre les règles définies en Annexe 8	
6.1.2.3 Méthode C : Consommation estimée sur la base de déclarations d'interventions	Modification de l'équation $EGES_{combustibles_irrigation} (k)$	Oui
6.2.2 Calcul de RE protéines : valorisation des biomasses en protéines pour l'alimentation animale	Ajout du poste « RE_protéine »	Oui
6.3.1 Précision de certains choix méthodologiques	Ajout de précisions dans le paragraphe « Delta_StockC : un différentiel de stock entre deux scénarios de pratiques »	Oui
6.3 Calcul des RE stockage carbone sol	Renommage des « RE stockage » en « RE stockage carbone sol » pour éviter la confusion avec les « RE séchage/stockage »	Non
6.3.2 Références génériques et spécifiques pour le stockage du Carbone, choix des pratiques	Rajout de précision dans le paragraphe « Pour une référence générique »	Non
6.3.3 Données à utiliser pour effectuer les simulations de stockage de carbone	Rajout de précision dans le chapitre	Non
6.3.3.2 Données à utiliser pour les simulations d'une référence spécifique	Modification de la source de données pour certaines variables	Non
	Rajout d'une précision sur les stations météos	Oui
6.3.3.3 Données à utiliser pour les simulations du Projet	Modification de la source de données pour certaines variables	Non
6.3.4 Description des calculs des évolutions du stock de carbone	Restructuration du paragraphe	Non
6.4.RE Miscanthus	Ajout du levier « implantation de Miscanthus »	Oui
6.5.3 Evaluation des incertitudes des données d'entrée	Modification des rabais pour la densité apparente du sol et la biomasse des cultures intermédiaires	Non

	Explicitation du calcul des moyennes de rabais liés à l'incertitude des données d'entrées	Non
6.5.4 Risque de non-permanence	Mise à jour du rabais sur la permanence du stockage de Carbone dans les sols	Non
6.5.6 Récapitulatif des rabais	Mise à jour du tableau récapitulatif	Non
	Modification de l'équation de calcul des rabais	Oui
7.1 Evaluation des co-bénéfices du Projet par rapport à la Référence	Ajout du paragraphe pour expliciter comment évaluer les co-bénéfices d'un Projet par rapport à la référence	Non
7.2.1 Prévenir l'érosion des sols (et améliorer leur stabilité structurale)	Modification de l'échelle d'évaluation du risque d'érosion : échelle du canton, à la place de petite région agricole	Non
8 Vie d'un Projet et modalités de vérification des réductions d'émissions	Rajout d'une définition des termes « Porteur de Projet » et « Mandataire ».	Non
8.1 Dates clés d'un Projet	Rajout d'un chapitre sur les dates clés d'un Projet	Non
8.2 Vie d'un Projet	Mise à jour du tableau	Non
	Ajout d'une précision sur les cas d'évolution de la surface des exploitations en cours du projet LBC GC	Oui
8.3. Suivi d'un Projet	Le Porteur de Projet ou Mandataire doit s'assurer que les exploitations enregistrent annuellement toutes leurs pratiques et que les pratiques déclarées sont conformes aux documents justificatifs définis par la méthode	Non
	Pour chaque exploitation, il doit compiler, <u>a minima en fin de Projet</u> , l'ensemble des données au sein des fichiers de suivi individuels EXPLOITATION	Non
	Il doit compiler, <u>en fin de Projet</u> , les résultats individuels des exploitations (RE et indicateurs de co-bénéfices) dans le fichier de suivi PROJET	Non
8.4. Vérification et audit	Rajout de la mention « Les auditeurs devront être accrédités par le COFRAC, indépendants et impartiaux au regard des normes NF EN ISO/CEI 17065 (certification de produits et de services) ou NF EN	Non

	ISO/CEI 17020 (inspection) et compétents dans le secteur ou la filière de la méthode. Dans le cas de Projets Collectifs, ils doivent être habilités pour l'évaluation de structures collectives. »	
	8.4.1. Audit intermédiaire du Porteur de Projet entre l'année 3 et la fin du Projet	Non
	8.4.2. Audit des réductions d'émissions générées par le Projet (en fin de Projet) :	Oui
	A l'exception du point de contrôle n°18 sur la biomasse des cultures intermédiaires	Non
	8.4.2. - Point de contrôle n°18 sur la biomasse des cultures intermédiaires	Non
8.5 Conformité des outils de calcul des RE	Modification du paragraphe	Non

Annexes

Annexe	Description de la mise à jour	La mise à jour est-elle rétroactive ?
Annexe 1 : Périmètre des Cultures Principales, Dérobées et Intermédiaires dans le périmètre de la méthode Grandes Cultures	Création d'annexe	Non
Annexe 2 : Rétroactivité des mises à jour de la méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures version 2.0	Création d'annexe	Cf. cette annexe
Annexe 3 : Données nécessaires pour établir les RE à l'initialisation des Projets et en fin de Projet et éléments de vérification	Mise à jour de l'annexe	Non
Annexe 3, fichier Excel : « LBC_Méthode GC_Annexe03-1_Référence générique_Pratiques culturales »	Mise à jour de l'annexe	Non
Annexe 3, fichier Excel : « LBC_Méthode GC_Annexe03-2_Référence générique_Assolement moyen »	Création d'annexe	Non
Annexe 4, fichier Excel : « LBC_Méthode GC_Annexe04_Référentiel PRG »	Mise à jour des PRG	Non

Annexe 5 : « LBC_Methode GC_Annexe05_Référentiel cultures »	Mise à jour de l'annexe	Non
Annexe 6 : Méthode de calcul de dose d'amendement basique	Création d'annexe	Non
Annexe 7, fichier Excel : « LBC_Methode GC_Annexe07_Référentiel engrais »	Mise à jour de l'annexe	Non
Annexe 8 : Intégration de facteurs d'émissions amont spécifiques provenant de fournisseurs d'engrais dans la méthode label bas carbone Grandes Cultures.	Création d'annexe	Non
Annexe 9 : « LBC_Methode GC_Annexe09_Référentiel combustibles »	Mise à jour de l'annexe	Non
Annexe 10 : Méthode de calcul de la consommation de carburant attribuée à chaque atelier	Pas de mise à jour	-
Annexe 11, Fichier Excel : « LBC_Methode GC_Annexe11b_Referentiel_RE_aval »	Création d'annexe	Non
Annexe 12 : Calculs des RE stockage carbone sol, précisions sur certains choix méthodologiques	Pas de mise à jour	-
Annexe 13 : Liste des modèles de bilan humique utilisables et domaines de validité	Mise à jour de l'annexe	Non
Annexe 14 : Méthode d'estimation de la densité apparente par fonction de pédotransfert (équation)	Création d'annexe	Non
Annexe 15 : Mode opératoire pour la mesure de la biomasse des couverts intermédiaires par prélèvement et pesée	Ajout d'annexe	Non
Annexe 16 : Evaluations des modèles AMG et STICS	Mise à jour de l'annexe	Non
Annexe 17 : Valeur des aléas d'érosion & Fichier Excel « LBC_Methode GC_Annexe17_Aléas érosion cantons »	Mise à jour du texte dans le corps de la méthode et ajout de précisions dans le fichier Excel.	Non
Annexe 18 : Références pour le calcul de l'indicateur Empreinte Eau	Initialement dans l'Annexe 04 de la v1, déplacé dans une Annexe à part pour plus de lisibilité	Non

Annexe 19 : Références pour le calcul des indicateurs de biodiversité	Mise à jour de l'annexe et création d'un fichier Excel	Non
Annexe 20 : Méthodologie et données nécessaires au calcul des composantes du pouvoir nourricier	Mise à jour de l'annexe et ajout d'un pdf qui explicite la méthode	Non
Annexe 21 : Références pour le calcul des indicateurs de contribution positive sur des enjeux sociétaux	Pas de mise à jour	-
Annexe 22 : Mode de calcul des indicateurs de conditions de travail de l'agriculteur	Pas de mise à jour	-
Annexe 23 : Documents pour le suivi des Projets	Création d'annexe	Non
Annexe 24 : Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des leviers	Pas de mise à jour	-
Annexe : « Données de vérification en cas de coexistence de systèmes de culture dans et hors Projet sur une exploitation »	Suppression de l'annexe par rapport à la v1	Non

Annexe 3 : 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 (semi-)générique sont disponibles en pièce jointe (cf. *LBC_Méthode GC_Annexe03-1_Référence générique_Pratiques culturales.xlsx* et *LBC_Méthode GC_Annexe03-2_Référence générique_Asolement moyen.xlsx*) : les pratiques majoritaires pour des exploitations en agriculture biologique ou conventionnelle. Il est conseillé de consulter les onglets « A lire » et « PKGC_Prérequis&Sources données » pour utiliser ces fichiers.

Données climatiques :

Les modèles de bilan humique utilisent des données climatiques. Généralement les modèles de bilan humique fonctionnent en étant associés à des bases de données météo, les données seront à minima établies au niveau du département.

Les données météos doivent être récupérées sur une durée de 10 ans et ceci afin de lisser la variabilité climatique. Le Porteur de Projet a le choix de mobiliser :

- Soit les données météos des 10 années avant le Projet pour représenter la météo pour les 3 ans de la référence et les 5 ans du premier Projet
- Soit les données météos des 5 ans avant le Projet et des 5 années de Projet.

En cas de renouvellement de Projet, la série de données météo sera à actualiser.

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			
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
Biomasse des jachères	X			X	Se référer à l'Annexe 05 Référentiel cultures pour la valeur de biomasse des jachères.		
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	Mesure par prélèvement et pesée ou par télédétection, ou utilisation de l'abaque disponible en Annexe 5 « Référentiel Cultures ».	Hétérogénéité d'implantation (doit être estimée) : Photos (appareil photo, drone) ou image satellite. Biomasse : Il n'existe pas de moyen de vérification sur les niveaux de

							production des couverts.
--	--	--	--	--	--	--	-----------------------------

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)	Emissions 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)

	Composition 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), Spécification 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 exploitant	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			
% CaCO3	0-30cm	0-30cm	0-30cm	0-30 cm			
pHeau	0-30cm	0-30cm	0-30cm	0-30 cm			

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 à 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 exploitants	<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 4 : Pouvoir de Réchauffement Global des gaz à effet de serre

cf. pièce joint : *LBC_Méthode GC_Annexe04_Référentiel PRG.xlsx*

Annexe 5 : Références nécessaires liées aux cultures

cf. pièces-jointes : *LBC_Methode GC_Annexe05_Référentiel cultures.xlsx*

Annexe 6 : Méthode de calcul de dose d'amendement basique

Préambule : Cette annexe est fournie à titre d'aide aux agriculteurs, et n'a aucun caractère obligatoire. Dans cette annexe, l'écriture « pH » correspond au « pHeau ».

Cette annexe donne des indications pour calculer la dose d'amendement basique à apporter. On calcule une valeur neutralisante à épandre (VN) qui est ensuite à appliquer au produit épandu pour en connaître la dose par hectare. Il est possible d'utiliser les formules ci-dessous ou les tableaux de calculs de dose.

Méthode de calcul de dose VN

D'après la brochure *Le chaulage, des bases pour le raisonnement*, COMIFER, 2009 (Accessible via le lien suivant : [Brochure chaulage MAJ 2012.pdf](#))

En situation de redressement de pH, le COMIFER a référencé deux formules de calcul de dose d'amendement à apporter pour atteindre un pH souhaité. Pour ce calcul, il faut prendre en compte le pouvoir tampon du sol, le différentiel de statut acido-basique (souhaité – actuel = final - initial) et la quantité de terre concernée. La quantité de terre dépend de la densité apparente, de la teneur en cailloux et de la profondeur de sol à amender, en lien avec les itinéraires de travail du sol pratiqués. On prend en compte la profondeur de sol sur laquelle l'amendement est enfoui, cela ne correspond pas nécessairement à la profondeur de sol utilisée pour le calcul des stocks de carbone. Le pouvoir tampon pour le calcul du besoin en bases, peut être estimé par la CECMetson ou par une relation établie pour un milieu donné incluant l'argile, la matière organique, voire l'aluminium pour les sols à pH inférieur à 5,5.

Formule de calcul de besoin en stratégie de redressement avec le pH

Modèle non linéaire pour une base de 4000 tonnes de terre :

$$\text{BEBr} = 0,22 \times [A + (5 \times \text{M.O.})] \times [\exp^{(\text{pH souhaité}/1,5)} - \exp^{(\text{pH actuel}/1,5)}] \quad (\text{Equation 1})$$

Avec :

- BEBr Besoin en bases pour effectuer le redressement de pH, exprimé en unités de VN par ha. Le besoin en base correspond à la quantité de VN à apporter par ha.
- 0,22 : Coefficient pour les sols de l'Aisne sur une base de 4000 t de terre / ha.
- A : Teneur en argile en ‰.
- M.O. : Teneur en matière organique en ‰.
- pH souhaité : pH final que l'on souhaite obtenir après le chaulage.
- pH actuel : pH initial, pH de la parcelle avant l'application du levier chaulage des sols acides.

Exemple d'application : pour passer d'un pH de 5.8 à 6.3 dans un sol à 15% d'argile et 2% de matière organique :

$$\begin{aligned} \text{BEBr} &= 0,22 \times [150 + (5 \times 20)] \times [e^{(6,3/1,5)} - e^{(5,8/1,5)}] \\ &= 0,22 \times [150 + (5 \times 20)] \times [66,68 - 47,78] \\ &= 1\,040 \text{ unités de VN par ha} \end{aligned}$$

Formule de calcul de besoin en stratégie de redressement avec le pH avec le taux de saturation

$$\text{BEBr} = \text{CEC} \times [S/\text{CEC}_{\text{souhaité}} - S/\text{CEC}_{\text{actuel}}] \times 0,0028 \times \text{Dens} \times \text{Prof} \times \text{TF} \quad (\text{Equation 2})$$

Avec :

- BEBr : Besoin en bases de redressement exprimé en unités de VN par ha.
- CEC : CEC Metson exprimée en cmol+ / kg.
- S/CEC : Taux de saturation exprimé en %.
- 0,0028 : Coefficient de passage de masse en charge pour les équivalents CaO.
- Dens : Densité apparente (en général de 1,2 à 1,8).
- Prof: Profondeur en cm.
- TF : Pourcentage de terre fine (moins de 2 mm).

Exemple d'application :

$$\begin{aligned} \text{BEBr} &= 10 \times [80 - 70] \times 0,0028 \times 1,5 \times 25 \times 95 \\ &= 998 \text{ unités de VN par ha} \end{aligned}$$

Tables de doses

Les deux premiers tableaux sont établis à partir des formules citées ci-dessus, et les résultats sont arrondis à la dizaine inférieure.

Tableau de calcul équation 1

Besoin En Bases (BEB) exprimé en unités de Valeur Neutralisante (VN) par ha (Equation 1, base 4000 tonnes de terres) :

Modification de pH recherchée : passer de à		Valeur de A + 5 MO (en %)					
		150	200	250	300	350	400
pH 5,5	pH 6,0	510	680	850	1 020	1 190	1 360
pH 6,0	pH 6,5	710	950	1 180	1 420	1 660	1 900
pH 6,5	pH 7,0	990	1 320	1 650	1 990	2 320	2 650
pH 7,0	pH 7,5	1 380	1 850	2 310	2 770	3 230	3 700

Ne pas oublier le cumul éventuel de différentes lignes si l'augmentation recherchée est supérieure à 0.5 points de pH.

Tableau 1 : Besoin En Bases en fonction du pH eau, de la teneur en argile et en matière organique.

Tableau de calcul équation 2

Besoin En Bases (BEB) exprimé en unités de Valeur Neutralisante (VN) par ha pour remonter le taux de saturation de 10 points (par exemple de 70 à 80 %) :

Profondeur en cm	Quantité de terre équivalente pour une densité de 1,5 (*) et 0 % de cailloux	CEC _{Metson} (en cmol+ / Kg)					
		7	10	12	15	20	30
15	2250 tonnes par ha	440	630	750	940	1 260	1 890
20	3000 tonnes par ha	580	840	1 000	1 260	1 680	2 520
25	3750 tonnes par ha	730	1 050	1 260	1 570	2 100	3 150
30	4500 tonnes par ha	880	1 260	1 510	1 890	2 520	3 780

Tableau 2 : Besoin En Bases pour augmenter le taux de saturation de 10 points. Pour une augmentation de 20 points au lieu de 10, il faut doubler ces chiffres. (*) La densité apparente peut varier de 1,2 à 1,8 dans les sols français.

Tableau basé sur des références locales

Regroupement de 20 essais issus du Sud-Ouest, Centre et Ouest de la France, cité et édité par l'ITCF dans « Chaulage et fertilisation magnésienne » (Paillard et al. 1997). Ces références fournissent des doses plus élevées qu'avec les formules de calcul présentées ci-dessus, dans la mesure où ces dernières font l'hypothèse que l'efficacité du chaulage est de 100 %, ce qui n'est pas exactement le cas sur le terrain.

Besoin En Bases (BEB) exprimé en unités de Valeur Neutralisante (VN) par ha :

Modification de pH recherchée : passer de à		CEC _{Metson} (en cmol+ / Kg)		
		5	10	15
pH 5,0	pH 5,5	500	1 000	1 300
pH 5,5	pH 6,0	700	1 300	1 700
pH 6,0	pH 6,5	1 000	1 900	2 800

Ne pas oublier le cumul éventuel de différentes lignes si l'augmentation recherchée est supérieure à 0.5 points de pH.

Tableau 3 : Besoin En Bases en fonction du pH eau et de la CEC

Définition de la valeur neutralisante

La valeur neutralisante (VN) d'un produit, en particulier d'un amendement basique, s'exprime par la masse (en kg) d'oxyde de calcium (CaO) qui a la même capacité de neutralisation que 100 kg de produit. On la mesure par action d'un acide fort (HCl). Un amendement titrant à 54% de CaO a une valeur neutralisante de 54. La valeur neutralisante est une mesure chimique conventionnelle qui exprime la capacité potentielle d'un amendement basique à neutraliser l'acidité d'une terre. L'expression de ce potentiel dépend des conditions de milieu, et le cas échéant, de la finesse et de la dureté des particules d'amendement.

Pour connaître la quantité d'amendement à apporter, il faut diviser le nombre d'unités neutralisantes nécessaires par la valeur neutralisante du produit, précisée sur son étiquette.

$$\text{Dose de produit/ha} = (\text{Dose de VN/ha}) / (\text{VN}/100)$$

Avec,

- Dose de produit : la dose d'amendement basique à apporter en kg/ha.
- Dose de VN : la quantité de valeur neutralisante ou d'équivalent kg CaO/ha.
- VN : la valeur neutralisante.

Par exemple, pour apporter 1500 kg VN/ha avec un amène calcaire cru ayant une VN de 55, il faudra apporter 1500/0.55 soit 2720 kg de produit par ha.

Annexe 7 : Références nécessaires liées aux engrais minéraux et organiques

cf. pièces-jointes : *LBC_Methode GC_Annexe07_Référentiel engrais.xlsx*

Annexe 8 : Intégration de facteurs d'émissions amont spécifiques provenant de fournisseurs d'engrais dans la méthode label bas carbone Grandes Cultures.

La méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures autorise l'utilisation de deux types de facteurs d'émission amont :

- Les facteurs d'émission génériques pour les engrais & amendement minéraux et les produits résiduels organiques listés dans l'Annexe 07 « Référentiel engrais ».
- Des facteurs d'émission spécifiques, calculés pour un engrais minéral ou organique, sur la base du cadre méthodologique défini comme suit.

Afin d'intégrer un FE provenant de fournisseurs d'engrais privés dans la méthode Label Bas Carbone Grandes Cultures, il faut que ce dernier ait réalisé un calcul d'empreinte carbone de son/ses produits selon la méthode d'Analyse de Cycle de Vie, conformément à la norme ISO 14040:2006, réalisé à minima sur l'impact Changement Climatique avec la méthode de caractérisation Environnemental FootPrint v3.1 (ou versions supérieures), et soumise à une revue critique par un cabinet externe expert en Analyse du Cycle de Vie qui doit valider les critères définis dans le tableau ci-dessous. Il est également demandé au fournisseur d'engrais, une fois le processus d'ACV et de revue critique finalisé, de transmettre les documents et rapports au Comité de Rédaction de la méthode Label bas-carbone Grandes Cultures.

Lors de l'audit de fin de Projet, si l'exploitation, qui a utilisé un facteur d'émissions spécifique pour caractériser l'empreinte carbone de l'un de ses engrais, est concerné (exploitation échantillonnée dans le cadre de la vérification de Projets collectifs), alors l'auditeur du Projet vérifiera les éléments suivants :

- La conformité du facteur d'émission utilisé dans les calculs de RE au dixième de décimal près à minima, au résultat d'ACV fourni par le fabricant
- Qu'une revue critique a bien été réalisée par le fabricant et que les conclusions de la revue critique confirment que l'ACV a respecté les exigences de cette Annexe 8 (détaillée dans le tableau suivant)
- Que le fabricant d'engrais a bien transmis les documents (résultat d'ACV et rapport de revue critique) au Comité de Rédaction avec la valeur du Facteur d'Emission et l'ACV.

Le calcul de l'empreinte carbone du produit devra suivre le cadre suivant :

Critères	Méthode LBC-GC v2
Unité fonctionnelle	Engrais minéraux : <ul style="list-style-type: none"> • kg eqCO₂/kgN • kg eqCO₂/kgP₂O₅ • kg eqCO₂/kgK₂O • kg eqCO₂/kgVN Engrais organiques : tCO ₂ eq/t ou m ³ de produit
Périmètre d'étude	<u>Engrais minéraux</u> : de l'extraction des matières premières, de la fabrication des engrais, et du transport dans le pays concerné jusqu'à l'exploitation <u>Engrais organiques</u> : Au maximum : Du premier transport de la matière résiduelle, jusqu'à son transport à la ferme en prenant en compte

	<p>l'ensemble des étapes de traitement, transformation, transport et éventuel stockage intermédiaire</p> <p>à A noter : le périmètre final sera défini après application de la règle méthodologique du GIS REVALIM, cf. ligne ci-dessous</p>
<p>Méthode de gestion de la fin de vie de la matière organique/minérale utilisés comme matière première par les engrais</p>	<p>Se baser sur la méthode définie par le GIS REVALIM et décrite dans le rapport Produits Résiduaire Organiques (PRO) en ACV - La librairie ADEME (Chapitre 7. Recommandation finale du GIS REVALIM).</p> <p>La méthode retenue est une coupure intermédiaire sur le cycle de vie entre le processus de production de la matière résiduaire et le transport final du Produit Résiduaire Organique vers l'exploitation où il sera épandu. La coupure se fait à une étape du cycle de vie appelé « procédé bascule ». Les étapes d'avant & l'étape du procédé bascule est affecté à la matière résiduaire. Les étapes d'après sont affectées au Produit Résiduaire Organique.</p> <p>Les étapes de coupures à utiliser doivent être les mêmes que celles définies dans la méthode du GIS REVALIM.</p>
<p>Méthode d'allocation pour gérer la multifonctionnalité de certains processus de production des engrais</p>	<p><u>Engrais minéraux</u> : A gérer au cas par cas en fonction des co-produits générés par les procédés.</p> <p>La norme ISO14044 privilégie les allocations massiques aux allocations économiques.</p> <p><u>Engrais organiques</u> : Se baser sur les recommandations d'Agribalyse selon le type de matière première concernée (e.g., : allocation économique pour le biogaz/digestat)</p>
<p>Données d'activité obligatoires</p>	<p>Données propres au fabricant d'engrais :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formulation du produit et composition en matières premières - Emissions de GES du site de production (scope 1) : consommation d'énergie lié au process (électricité, gaz...) - Dans la mesure du possible, données spécifiques des fournisseurs pour les matières premières (MP) les plus prépondérantes dans le mix, jusqu'à représenter 80 % de la composition totale du produit (ex : si MP 1 = 35 %, MP2 = 28 % ; MP3=7% ; MP4= 5% alors les MP 1 et 2 doivent être, dans la mesure du possible, caractérisées selon des données spécifiques aux fournisseurs). Dans le cas où l'accès aux données des fournisseurs n'est pas possible, recherche de facteurs d'émissions génériques dans les bases de données recommandées. - Données spécifiques des fournisseurs pour les matières premières prépondérantes dans le mix jusqu'à représenter 80 % de la composition totale du produit, et non répertoriées dans les bases de données ACV <p>Données en provenance de bases de données ACV :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Matières premières non prépondérantes dans le mix du produit - Production d'énergie - Process de fabrication en amont - Transport

Degré de qualité de la donnée minimale acceptée	<p>Le producteur de l'étude doit fournir une note de qualité du FE basé sur le DQR (cf. règles méthodologiques définies dans la Base de Données Agribalyse).</p> <p>Notation de 1 (meilleure note) à 5 (pire note)</p> <p>Pour certifier la donnée dans le dispositif LBC, la note de DQR doit être inférieur ou égal à 3.</p> <p>Les critères pour qualifier la qualité de la donnée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fiabilité/précision (niveau de confiance dans les données utilisés) - Complétude (Intégration totale ou partielle des flux du périmètre considéré) - Représentativité temporelle (Niveau d'ancienneté des données utilisées) - Représentativité géographique - Représentativité technologique (Niveau de cohérence technologique entre les ICV utilisés et les processus étudiés)
Bases de données utilisables	<p>Données spécifiques : Issues de l'usine de fabrication, des fournisseurs, etc.</p> <p>Données génériques : bases de données à mobiliser par ordre de priorité :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Agribalyse 2. Ecoinvent 3. Autres bases de données ACV, si les données ne sont pas disponibles dans les BDD citées ci-dessus. Le choix devra être explicité et argumenté.
Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)	<p>Les PRG utilisés pour le calcul des Facteurs d'Emission amont doivent être ceux consignés dans l'Annexe 4 « Référentiel PRG ».</p>

Annexe 9 : Références nécessaires liées aux combustibles fossiles

cf. pièces-jointes : LBC_Methode GC_Annexe06_referentiel combustibles.xlsx

Annexe 10 : 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 GESTIM+ Juin 2020.
Projet réalisé par Arvalis, en partenariat avec l'Idéale, le Cijfi, l'Ifv, l'Ifp et Terres Inovia. Avec la participation financière de l'ADEME - Agence de la transition écologique.

- 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))

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 :

$$\text{Carbu}_{\text{atelier BL théo}} (\text{EQF/an}) = \text{UGB}_{\text{BL}} (\text{UGB}) * \text{VR}_{\text{BL}} (\text{EQF/UGB}) + \text{Surf}_{\text{fourrages BL}} (\text{ha}) * \text{VR}_{\text{fourrages}} (\text{EQF/ha}) + \text{Surf}_{\text{cultures BL}} (\text{ha}) * \text{VR}_{\text{cultures}} (\text{EQF/ha})$$

$$\text{Carbu}_{\text{atelier BV théo}} (\text{EQF/an}) = \text{UGB}_{\text{BV}} (\text{UGB}) * \text{VR}_{\text{BV}} (\text{EQF/UGB}) + \text{Surf}_{\text{fourrages BV}} (\text{ha}) * \text{VR}_{\text{fourrages}} (\text{EQF/ha}) + \text{Surf}_{\text{cultures BV}} (\text{ha}) * \text{VR}_{\text{cultures}} (\text{EQF/ha})$$

$$\text{Carbu}_{\text{atelier cultures de vente théo}} (\text{EQF/an}) = \text{Surf}_{\text{fourrages vendus}} (\text{ha}) * \text{VR}_{\text{fourrages}} (\text{EQF/ha}) + \text{Surf}_{\text{cultures vendues}} (\text{ha}) * \text{VR}_{\text{cultures}} (\text{EQF/ha})$$

Où

VR, 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 :

$$\% \text{Allocation}_{\text{atelier BL}} = \text{Carbu}_{\text{atelier BL théo}} / (\text{Carbu}_{\text{atelier BL théo}} + \text{Carbu}_{\text{atelier BV théo}} + \text{Carbu}_{\text{atelier cultures de vente théo}})$$

$$\% \text{Allocation}_{\text{atelier BV}} = \text{Carbu}_{\text{atelier BV théo}} / (\text{Carbu}_{\text{atelier BL théo}} + \text{Carbu}_{\text{atelier BV théo}} + \text{Carbu}_{\text{atelier cultures de vente théo}})$$

$$\% \text{Allocation}_{\text{atelier cultures de vente}} = \text{Carbu}_{\text{atelier cultures de vente théo}} / (\text{Carbu}_{\text{atelier BL théo}} + \text{Carbu}_{\text{atelier BV théo}} + \text{Carbu}_{\text{atelier cultures de vente théo}})$$

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 :

$$\text{Carbu}_{\text{atelier BL}} (\text{litres/an}) = \text{Carbu}_{\text{exploitation}} (\text{litres/an}) * \% \text{Allocation}_{\text{atelier BL}}$$

$$\text{Carbu}_{\text{atelier BV}} (\text{litres/an}) = \text{Carbu}_{\text{exploitation}} (\text{litres/an}) * \% \text{Allocation}_{\text{atelier BV}}$$

$$\text{Carbu}_{\text{atelier cultures de vente}} (\text{litres/an}) = \text{Carbu}_{\text{exploitation}} (\text{litres/an}) * \% \text{Allocation}_{\text{atelier cultures de vente}}$$

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

Annexe 11 : 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	5	15
Soja	14	18
Colza	9	15
Tournesol	9	14

Références pour le calcul des RE_{protéines}

cf. pièces-jointes : *LBC_Methode GC_Annexe11bis_referentiel RE_proteines.xlsx*

Annexe 12 : Calculs des RE *stockage carbone sol*, 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 13.

Les données d'entrée nécessaires sont indiquées dans le tableau de l'Annexe 3. 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 carbone sol* 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 carbone sol** 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 13, 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 carbone sol**, qui dépendent du mode de recueil des données et du besoin de précision de celle-ci sont précisés en partie 6.5.

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 13.

- **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 la Figure 13 de la méthode permettent d'illustrer ces notions.

Le stockage complémentaire (Scmpl) 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 (Maintenance)** 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 13 : 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 AMG-X intégrant le modèle et validés par le consortium AMG (*) .	V10.1.1	En attente publication et de la validation de l'outil
Cultures sur lesquelles le modèle est valide	146 cultures, contacter le consortium AMG pour le détail (Cultures Principales : 60, Couverts Intermédiaires : 45, Couverts dérobés : 25)	8 cultures principales : BTH, Colza, Tournesol, Maïs Grain et fourrage, Betterave, Pois de Printemps, Orge de printemps Féverole, Soja, Pomme de Terre, Lin oléagineux . 4 cultures intermédiaires : moutarde, RGI, avoine, vesce .	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 .	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	Utilisable
Equations consultables sur :	Clivot et al. (2019) Dataset des paramètres : https://doi.org/10.57745/MEQQIX https://github.com/inrae/AMG_base Projet Solébiom (2015-2018) Levasseur et al. (2020)	Description du modèle : http://doi.org/10.35690/978-2-7592-3679-4 Téléchargement du modèle : https://stics.inrae.fr/telechargement	A venir

(*) Les outils AMG-X validés par le consortium AMG ont reçu de la part du consortium un document décrivant les performances de l'outil mettant en œuvre le modèle AMG.

Annexe 14 : Méthode d'estimation de la densité apparente par fonction de pédotransfert (équation)

La densité apparente est une donnée indispensable pour calculer la quantité de carbone stockée dans le sol. La mesure au champ peut être source de variation d'autant plus lorsque les mesures sont réalisées en conditions suboptimales ou si la teneur en éléments grossiers est mal estimée.

Afin de s'affranchir de ces biais, il est possible d'estimer la densité apparente grâce à une équation de pédo-transfert. De nombreuses équations existent, celle retenue pour la méthode Label Bas Carbone est celle publiée en 2018 par COUSIN et al. Issue du formalisme de Keller et al. (2010), elle a été optimisée et validée pour les sols de France métropolitaine. Elle est reconnue pour pouvoir être appliquée sur tout le territoire.

Cette méthode est considérée, au même titre que les simulations, comme moins précise qu'une mesure *in situ*. En outre, elle ne prend pas en compte les changements de pratiques culturales, alors qu'il est couramment admis que ces derniers peuvent avoir une influence sur ce paramètre (Chaplain et al., 2011, Alletto *et al.*, 2022).

$$\begin{aligned} \text{Densité apparente}_{\text{estimée}} &= 1.437 + (0.007690) \times \text{Argile} + (0.003881) \times \text{Sable} - (0.0001494) \\ &\times \text{Argile}^2 - (0.00001991) \times \text{Sable}^2 - (0.0008799) \times \text{Limon} \\ &\times \text{Matière organique} - (0.001211) \times \text{Sable} \times \text{Matière organique} \end{aligned}$$

Où :

- Argile : le pourcentage d'argile du sol (%).
- Limon : le pourcentage de limon du sol, équivalent à la somme limon fin + limon grossier (%).
- Sable : le pourcentage de sable du sol, équivalent à la somme sable fin + sable grossier (%).
- Matière organique : le taux de matière organique du sol (%).

La granulométrie est réalisée sans décarbonatation.

Exemple :

Argile	17.5 %
Limon	77 %
Sable	4 %
Matière organique	1.7 %

$$\begin{aligned} \text{Densité apparente}_{\text{estimée}} &= 1.437 + (0.007690) * 17.5 + (0.003881) * 4 - (0.0001494) * 17.5^2 \\ &- (0.00001991) * 4^2 - (0.0008799) * 77 * 1.7 - (0.001211) * 4 * 1.7 \end{aligned}$$

$$\text{Densité apparente}_{\text{estimée}} = 1.404$$

Source :

Alletto et al., 2022. Chaplain et al., 2011. Cousin et al., 2018. Keller et al., 2010.

Annexe 15 : Mode opératoire pour la mesure de la biomasse des couverts intermédiaires par prélèvement et pesée

L'objectif de ce mode opératoire est de proposer une méthode de prélèvement et de mesure de la biomasse des couverts intermédiaires sur des parcelles agriculteurs. Cette mesure de biomasse, exprimée en tonne de matière sèche par hectare permettra d'estimer les émissions de N₂O lors de la décomposition des couverts et les restitutions de carbone au sol pour tenir compte de l'effet des couverts intermédiaires sur le stockage de carbone dans les sols.

Ce mode opératoire propose plusieurs options. Un tableau récapitule le niveau de précision des différentes options. Il est accompagné d'une fiche de saisie qui permet de justifier que la mesure a bien été effectuée.

Principe général : Prélèvements par coupe directe des plantes et mesure de la biomasse fraîche a minima pour chaque placette.

Matériel nécessaire :

- 1 cadre de 50cm x 50cm ou 1m x 1m, ou bien un cerceau de diamètre connu
- Cisailles, Cutter ou tondeuse à main
- Sacs, étiquettes, feutres
- Feuille de saisie
- Balance d'une portée de 1 à 3 kg, graduée à 0,01 ou 0,02 g
- Optionnel :
 - Etuve ventilée lente
 - Paniers à étuve

Echantillonnage :

- Conditions de prélèvement du couvert :
 - Réaliser les prélèvements sur un couvert sec ou ressuyé : absence de rosée ou de pluie. Préférer des prélèvements entre 11h et 17h.
 - Réaliser la mesure peu de temps avant la destruction du couvert afin d'être au plus proche de la biomasse restituée au sol.
- Repérage des placettes de prélèvement :
 - Repérer l'hétérogénéité de la parcelle en termes de biomasse du couvert. Celle-ci peut être repérée visuellement sur le terrain ou à l'aide de cartes d'indices de végétation issue d'images satellites. Ces cartes permettent de repérer l'hétérogénéité et n'estiment pas nécessairement la biomasse du couvert. Si elles sont utilisées elles devront être conservées en cas d'audit de l'exploitation. On peut par exemple (mais pas exclusivement) utiliser des sites gratuits présentant des indices de végétation comme [Copernicus Browser](#). Sur ces sites, choisir la date la plus récente d'image.
 - Exclure les zones de bordures de champ.
 - Prélever au moins 3 zones hétérogènes de la parcelle.
 - Prendre une photo de chacune des zones à prélever : ces photos seront à conserver et à présenter en cas d'audit.
 - Prélever dans chacune de ces zones une placette d'une surface de votre choix. Le plus souvent elle est d'environ 1m².

- Prélèvements

- Couper toutes les plantes au ras du sol sans prélever de terre. Attention, pour les plantes pour lesquelles la racine sort de terre seule les feuilles sont à prélever : couper juste au-dessus du collet, cela peut être le cas du radis, de la rave par exemple.
- Gestion des couverts multi-espèces :
Que ce soit pour les espèces du couvert végétal, ou des adventices ou repousses, c'est au préleveur de décider s'il fait certains regroupements d'espèces avant les pesées en frais, en fonction de l'espèce de couvert définie via les tables des annexes 05 de la méthode LBC-GC V2. En effet, il est parfois chronophage et imprécis de peser de très faibles quantités de biomasse. Une solution consiste donc à regrouper plusieurs espèces présentes en faible quantités.
Des espèces très peu représentées peuvent être regroupées par famille (exemple graminées ; légumineuses...), dans ce cas les valeurs de la famille seront ensuite utilisées. Il est aussi possible de peser l'ensemble des espèces d'un couvert multi-espèces.

Méthode de pesée :

- Peser et noter les poids de la biomasse fraîche de chaque groupe pesé en gramme sur la feuille de saisie de notation. Cette feuille de notation sera à conserver et présenter en cas d'audit.
- Passer de la biomasse aérienne verte à la biomasse sèche : 2 méthodes existent pour passer de la biomasse verte à la biomasse sèche :
 - Sécher l'échantillon en étuve, cette méthode est la plus précise. Constituer alors un sous-échantillon représentatif de la masse verte de chaque échantillon par grappillage au sein de l'échantillon complet (un échantillon est soit le prélèvement complet s'il n'y a pas eu de séparation par espèces, soit chacun des groupes d'espèce). Peser immédiatement ce sous-échantillon frais. Le mettre à l'étuve avec un séchage soit de 80°C pendant 48h soit de 105°C pendant 24h (cette 2^{ème} option ne permet pas d'analyse de composition complémentaire au labo si elles sont souhaitées pour d'autres objectifs que la mesure de biomasse). Peser l'échantillon en sortie d'étuve.
 - Utiliser des abaques. Deux méthodes sont possibles :
 - Utiliser le calculateur en ligne de la méthode MERCI : [Calculateur \(methode-merci.fr\)](http://calculateur(methode-merci.fr)) pour les espèces pures ou les espèces en mélange pesées séparément. En renseignant la biomasse verte, le calculateur fournira la biomasse sèche en se basant sur des abaques.
 - Utiliser l'abaque disponible dans l'annexe 05 « Référentiel cultures ».

Expression des résultats :

La biomasse utilisée pour les calculs d'émission de N2O et de stockage de carbone sont exprimés en tonne de matière sèche par hectare (tMS/ha).

Si les échantillons ont été séchés en étuve :

$$\begin{aligned}
 \text{Biomasse (tMS/ha)} & \\
 &= \left(\frac{\text{Biomasse fraiche totale de l'échantillon (g MF)}}{\text{Surface (m}^2\text{)}} \right) \\
 &\times \frac{\text{poids du sous échantillon sec (g MS)}}{\text{poids du sous échantillon humide (g MF)}} \times 100
 \end{aligned}$$

Si la biomasse en matière sèche est obtenue à l'aide d'abaque :

$$\begin{aligned}
 \text{Biomasse (tMS/ha)} & \\
 &= \frac{\text{Biomasse fraiche totale de l'échantillon (g MF)} \times \%MS (MF \rightarrow MS)}{\text{Surface (m}^2\text{)}} \\
 &\times 100
 \end{aligned}$$

La biomasse finale en tMS/ha est obtenue en moyennant la biomasse en tMS/ha des 3 zones de prélèvement.

Comparaison des options :

Opération concernée	Option moins précise	Option plus précise
Repérage de l'hétérogénéité sur la parcelle	Visuelle avec photo	Coupler le repérage visuel et celui à l'aide de cartes issues d'images satellites
Pesée des espèces	Peser le mélange	Séparer les espèces et peser individuellement chaque espèce
Estimation de la biomasse	-	Pesée
Passage de la biomasse verte à la biomasse sèche	Utilisation d'abaques	Mesure en étuve

Feuille déclarative de présence du couvert et de saisie des mesures

Déclaration de la présence du couvert :

Nom de la parcelle :

Type de couvert (choix dans la liste annexe 05) :

Semences achetées Semences de ferme

Date de semis :

Date de destruction :

Le couvert n'a pas levé Le couvert a levé

La biomasse est estimée par :

- L'abaque biomasse des cultures intermédiaires fournie en annexe 5
 Télédétection
 Une mesure au champ

Date de mesure :

Hétérogénéité de la parcelle :

Cocher l'option choisie :

<input type="checkbox"/> Visuelle	<input type="checkbox"/> Coupler le repérage visuel et celui à l'aide de cartes issues d'images satellites
<i>Fournir les photos (appareil photo, drone, etc.)</i>	<i>Fournir la carte issue des images satellites</i>

Le couvert a-t-il levé de manière homogène ou hétérogène ?

Cas de l'estimation de la biomasse par l'abaque « biomasse » des cultures intermédiaires fournie en annexe 5

Biomasse à la parcelle (tMS/ha) :

Cas de l'estimation de la biomasse par télédétection

Biomasse à la parcelle (tMS/ha) :

Cas de l'estimation de la biomasse par une mesure au champ

Surface de prélèvement

- Zone 1 =m²
- Zone 2 =m²
- Zone 3 =m²

Fournir les photos ou images satellites de chacune des zones de prélèvement.

Pesée de la matière fraîche des espèces

<input type="checkbox"/> Pesée du mélange	<input type="checkbox"/> Séparation des espèces et pesée individuelle de chaque espèce
---	--

Noter les poids en matière fraîche en grammes :

Espèces	Poids Zone 1 (g MF)	Poids Zone 2 (g MF)	Poids Zone 3 (g MF)

Passage de la biomasse verte à la biomasse sèche

<input type="checkbox"/> Utilisation d'abaques	<input type="checkbox"/> Mesure en étuve
--	--

Noter les poids en matière sèche en gramme de MS :

Espèces	Poids Zone 1 (g MS)	Poids Zone 2 (g MS)	Poids Zone 3 (g MS)

Moyenne de la biomasse à la parcelle (tMS/ha) :

Annexe 16 : 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 17 : Valeur des aléas d'érosion

Une valeur d'aléa d'érosion est définie pour l'exploitation considérée selon le canton où elle se situe, à partir des données du GIS-SOL disponibles dans le tableau Excel « *LBC_Methode GC_Annexe17_Aléas érosion cantons.xlsx* ».

Les zones éligibles à prendre en compte sont celles potentiellement affectées par une érosion significative. Elles sont 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.

Annexe 18 : Références pour le calcul de l'indicateur Empreinte Eau

cf. tableau Excel : LBC_Methode GC_Annexe18_Référentiel empreinte eau.xls

Annexe 19 : Références pour le calcul des indicateurs de biodiversité

cf. tableau Excel : LBC_Methode GC_Annexe19_Referentiel_Biodiversité.xls

Annexe 20 : **Méthodologie et** données nécessaires au calcul des composantes du pouvoir nourricier

cf. fichier pdf : LBC_Methode GC_Annexe20_Pouvoir nourricier_Guide_méthodologique PerfAlim_2024_VF.xlsx

Annexe 21 : 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 première riche en protéines (MRP) d'origine végétale utilisée 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)	Ft (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
Gluten 60	0,60	1,30	0,05
Corn gluten feed	0,21	0,46	0,25

- Le CEp est obtenu par l'équation suivante : $CEp_i = \frac{QN_i}{QN_t_soja}$, 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 ci-dessous).
- 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	MRP issue de la transformation de la culture	Quantité de MRP produite à partir de récolte française (moyenne 2015-2019) (x1000t)	Ratio MRP (% d'utilisation en AA au sein de tous les types d'utilisations de la production)
Soja	Tourteau de soja	325	87%
Lin	Graines extrudées de lin et tourteau de lin	35	100%
Tournesol	Tourteau de tournesol	1 299	98%
Colza	Tourteau de colza	5 094	99%

Pois	Graines de pois	446	72%
Féverole	Graines de féverole	199	88%
Lupin blanc doux	Graines de lupin blanc	12	77%
Luzerne	Luzerne déshydratée	771	27%
Blé tendre	Drèches de blé	4 350	13%
Orge de printemps	Drèches d'orge de brasserie	250	2%
Maïs grain	Drèches de maïs	550	4%
Maïs grain	Corn gluten feed et Gluten	2 130	16%

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

NB : Références pluriannuelles qui restent cohérentes avec les données ORIFLAAM de la dernière campagne (tableaux emplois-ressources de la campagne 2021-2022) donc moyenne pluriannuelle toujours d'actualité en 2024..

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.

Culture	Type de produit	Substitué 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%
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 22 : 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 Cultures faciles à maîtriser	2 Cultures moyennement difficiles à maîtriser	3 Cultures difficiles à maîtriser	Moduler la valeur de K
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 culturelles**

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 23 : Documents pour le suivi des Projets

cf. pièces-jointes :

- *LBC_Méthode GC_Annexe23-1_Fichier_Suivi_EXPLOITATION_modèle.xlsx*
- *LBC_Méthode GC_Annexe23-2_Fichier_Suivi_PROJET_modèle.xlsx*

Annexe 24 : 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 besoin en azote	<ul style="list-style-type: none"> • Surface en légumineuses en culture principales • Surface en légumineuse en culture intermédiaire • Dose d'azote minéral apportée sur le système de culture

<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 	
--	--

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)