

NOV.  
2020

---

# ABC'TERRE-2A :

## APPLICATION PARTICIPATIVE ET APPROPRIATION PAR LES ACTEURS LOCAUX DE LA DEMARCHE ABC'TERRE\* (2017-2020)

---

\*ABC'Terre : Atténuation du Bilan gaz à effet de serre incluant le stockage Carbone dans les sols agricoles à l'échelle du Territoire.

---

### Annexes

**ADEME**Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

Un projet coordonné par



avec comme partenaires :



## Annexe 8 : Rapport final du déploiement de la démarche ABC'Terre sur le territoire pilote du Rhin-Vignoble-Grand Ballon

Document rédigé par Paul van Dijk avec le concours de Anne Schaub, Fanny Le Gloux, Caroline Flisiak et Tristan Muller (Chambre Régional d'Agriculture Grand-Est), 2020

Déploiement sur le territoire du Rhin-Vignoble-Grand Ballon co-financé par :



## Table des matières

Annexe 8 : Rapport final du déploiement de la démarche ABC'Terre sur le territoire pilote du Rhin-Vignoble-Grand Ballon .....	2
Table des illustrations.....	4
1. Description du territoire.....	6
1.1. Caractérisation du territoire.....	6
1.2. Enjeux du territoire .....	9
2. Déploiement de la démarche .....	10
2.1. Mise en œuvre de la méthode ABC'Terre .....	10
2.1.1. Référent ABC'Terre.....	10
2.1.2. Collecte des données.....	11
2.1.3. Déroulement de chaque étape .....	12
2.2. Mise en œuvre de la démarche participative .....	13
2.2.1. Stratégie de mobilisation des acteurs .....	13
2.2.2. Organisation du déploiement de la démarche.....	14
3. Principaux résultats .....	16
3.1. Diagnostic initial .....	16
Diagnostic initial du stockage de Corg.....	16
Diagnostic initial des émissions de GES.....	17
Des profils d'émissions se distinguent à l'échelle du SdC .....	19
3.2. Scénarios testés.....	21
Atelier « Grandes Cultures » .....	21
Ateliers « Elevage » et « Agriculture biologique » .....	23
3.3. Comparaison des scénarios .....	26
Atelier « Grandes cultures ».....	26
Atelier « Elevage » .....	29
Atelier « Agriculture biologique » .....	31
4. Bilan de la démarche .....	32
4.1. Plan d'action .....	32
4.2. Difficultés rencontrées .....	34
Problèmes de nature pratique .....	34
Problème de nature méthodologique.....	34
Annexe 1 : Mémoire de fin d'étude de Fanny Le Gloux « Optimiser le stockage du carbone dans les sols agricoles et limiter les émissions de GES à l'échelle des systèmes de culture d'un territoire de la Plaine d'Alsace », 2019.....	36

## Table des illustrations

Figure 1 : Localisation du PETR Rhin-Vignoble-Grand Ballon (RVGB) (source : Flisiak, 2018). .....	6
Figure 2 : Délimitation de la zone d'étude du territoire-pilote selon l'occupation du sol (source : Flisiak, 2018).....	6
Figure 3 : Carte des principaux types de sol du territoire pilote. Données issues du RRP Alsace (source : Le Gloux, 2019).....	7
Figure 4 : Part de chaque culture dans l'assolement du territoire pilote en 2017. Source des données : RPG 2017 .....	8
Figure 5 : Répartition des cultures dans les parcelles du territoire pilote en 2017. Réalisation : Gravier (2019). .....	9
Figure 6 : Déroulement du projet ABC'Terre-2a sur le territoire-pilote du PETR RVGB. Au-dessus de la barre du temps : échanges avec les partenaires du territoire ; en dessous de la barre de temps : travail technique. A l'intérieur de la barre sont indiquées les étapes 1 à 5 de la méthode ABC'Terre (cf partie 2 de ce rapport). .....	10
Figure 7 : Distribution de la variable Stockage de Corg sur 30 ans des SdC du territoire-pilote (kg Corg/ha/an). .....	16
Figure 8 : Variations des stocks de carbone organique des sols (0-30 cm) sur 30 ans du territoire-pilote (moyennes pondérées par unité cartographique de sol) .....	17
Figure 9 : Emissions des GES brutes et nettes moyennes du territoire-pilote.....	18
Figure 10 : Emissions GES nettes du territoire pilote (moyennes pondérées par unité cartographique de sol) .....	18
Figure 11 : Répartition des émissions GES du territoire par poste d'émissions.....	19
Figure 12 : Importance des postes d'émissions GES pour le territoire RVGB. ....	19
Figure 13 : Profils d'émissions des 4 groupes de SdC isolés par clustering hiérarchique. Les boîtes à moustaches montrent la médiane (trait épais dans la boîte), le 1er et 3eme quartile (limites de la boîte), les valeurs inférieures et supérieures (les traits moustaches) et les valeurs aberrantes (les points).....	20
Figure 14 : Diagnostic ABC'Terre du SdC de référence « Grandes Cultures ».....	21
Figure 15 : Diagnostic ABC'Terre des systèmes de culture des ateliers « élevage » et « agriculture biologique ».....	25
Figure 16 : Bilan GES des scénarios « Grandes Cultures, court terme ». ....	27
Figure 17 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « Grandes Cultures, court terme » par rapport au SdC initial. ....	27
Figure 18 : Bilan GES des scénarios « Grandes Cultures, rupture ». ....	28
Figure 19 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « Grandes Cultures, rupture » par rapport au SdC initial. ....	28
Figure 20 : Bilan GES des scénarios « SdC élevage ». ....	30
Figure 21 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « SdC élevage » par rapport au SdC initial. ....	30
Figure 22 : Bilan GES des scénarios « SdC Agriculture biologique ». ....	31
Figure 23 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « SdC Agriculture biologique » par rapport au SdC initial.....	32
Figure 24 : La démarche du projet AVEC : monter un projet de recherche participative pour réussir des actions agricoles du PCAET. ....	33
Figure 25 : Evolution des stocks de Corg d'une parcelle sous 4 climats différents (Clivot, 2019) .....	35

Tableau 1 : Types et sources des données pour le diagnostic initial .....	11
Tableau 2 : Emissions GES par catégorie d'émissions des différents clusters .....	20
Tableau 3 : Récapitulatif des principaux leviers d'action identifiés lors des ateliers de co-conception	22
Tableau 4 : Récapitulatif des systèmes de culture analysés dans les ateliers « élevage » et « agriculture biologique » .....	24

# 1. Description du territoire

## 1.1. Caractérisation du territoire

Le territoire pilote correspond à la partie plaine du périmètre du Pôle d'Equilibre Territorial et Rural (PETR) du Rhin-Vignoble-Grand Ballon (RVGB), auquel ont été ajoutées deux communes (Figure 2 : Herrlisheim-près-Colmar et Sainte-Croix-en-Plaine). Ainsi, la zone d'étude est située entre le Massif des Vosges et le piémont viticole à l'ouest et le Rhin à l'est, et entre les villes de Colmar au nord et de Mulhouse au sud (Figures 1 et 2). 53 communes sont comprises dans le territoire pilote.

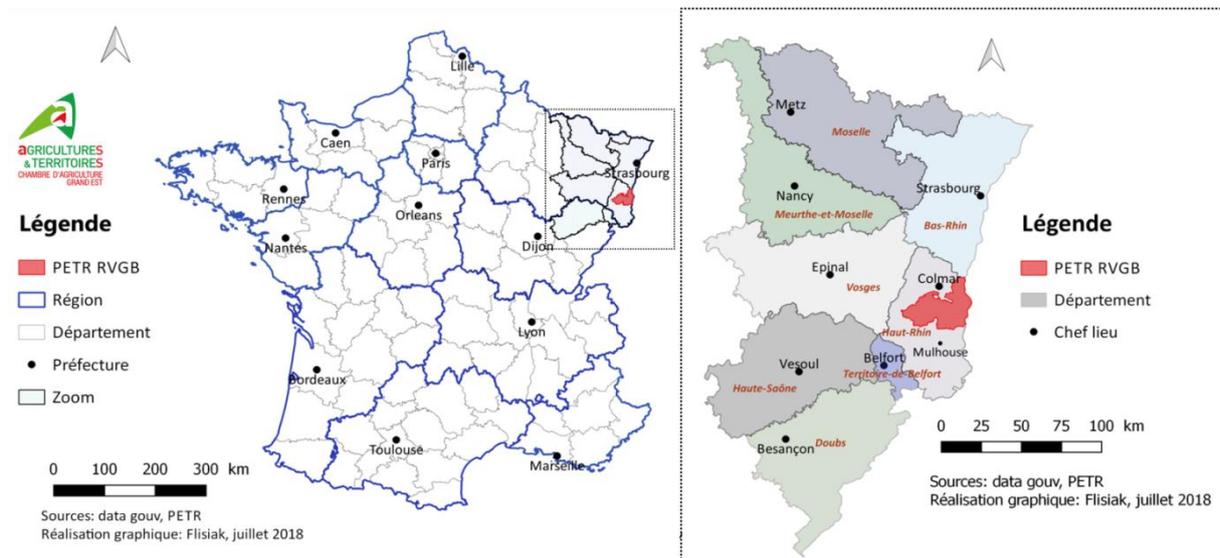


Figure 1 : Localisation du PETR Rhin-Vignoble-Grand Ballon (RVGB) (source : Flisiak, 2018).

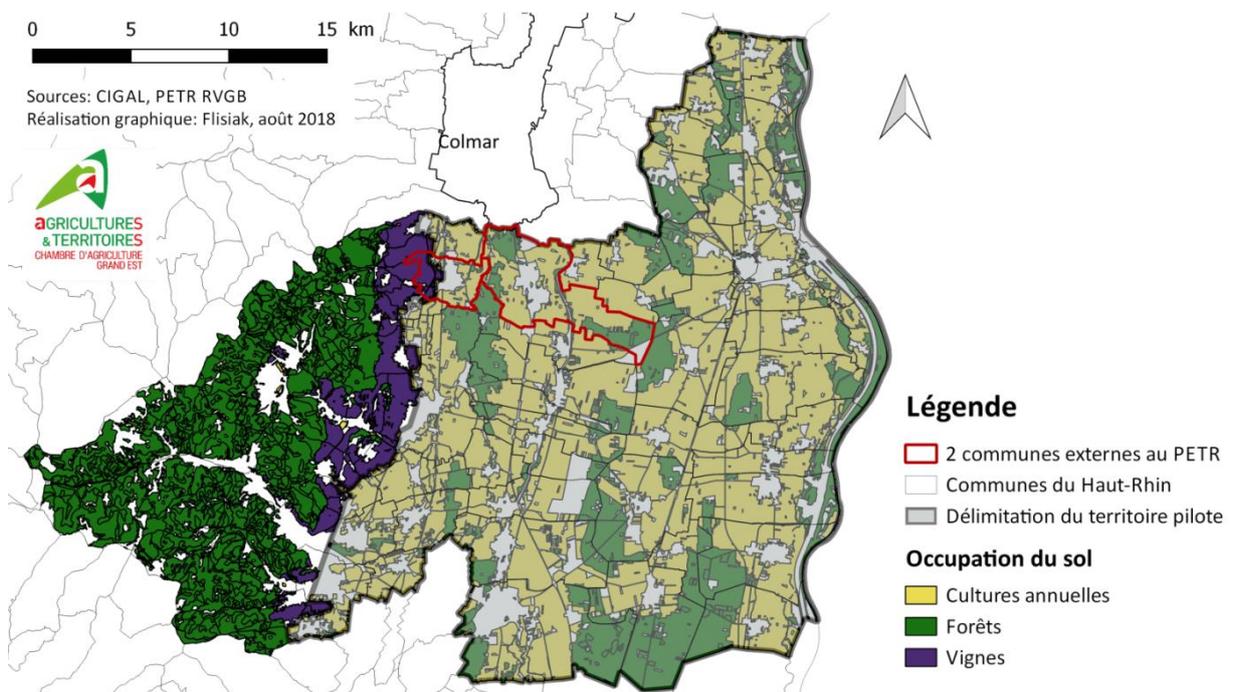


Figure 2 : Délimitation de la zone d'étude du territoire-pilote selon l'occupation du sol (source : Flisiak, 2018).

### Contexte paysager

Le territoire pilote présente globalement 2 grandes unités paysagères distinctes, orientées selon l'axe nord/sud : celui de la Plaine de l'Ill et des Rieds, à l'ouest, et celui de la Hardt et de la basse plaine rhénane, à l'est. La Plaine de l'Ill et les Rieds sont caractérisés par des grands champs cultivés avec régulièrement des zones plus humides et arborées. Dans la partie Plaine de l'Ill, le paysage est homogène, le relief plat, et les grandes cultures dominées par le maïs s'étendent sur des vastes surfaces ouvertes. Dans les parties plus humides que sont les Rieds, les champs sont plus petits et diversifiés, avec des cultures et des prairies. Cette dualité s'explique par l'influence des cours d'eau de la rivière de l'Ill qui coulent dans la Plaine de l'Ill et façonnent les Rieds. La nappe phréatique alimente les cours d'eau et la Plaine de l'Ill et ses cultures sont ainsi régulièrement inondées.

Le paysage de la Hardt est bordé de l'Ill à l'ouest, et du Rhin à l'est. Le sud du paysage de la Hardt est composé d'un grand massif forestier, tandis que le nord est caractérisé par des champs de grandes cultures. Le relief est plat et le paysage ouvert, avec quelques boisements. Le paysage du nord de la Hardt est relativement similaire à celui de la Plaine de l'Ill mais est plus sec, la nappe phréatique étant particulièrement profonde dans ce secteur.

### Contexte pédoclimatique

Le climat est semi-continentale, caractérisé par des hivers froids et secs et des étés chauds et ensoleillés. La température moyenne est d'environ 11°C (Météo France 2019). L'obstacle que représente le massif des Vosges est à l'origine d'un « effet de foehn » d'ouest en est qui explique la faible hauteur de précipitations (607 mm par an en moyenne) dans le territoire, qui est situé en aval de la chaîne de montagnes (DRAAF Alsace 2014).

Le territoire pilote présente une grande diversité de types de sols. Très schématiquement, nous pouvons les regrouper en trois grands groupes avec une stratification est-ouest : les sols sablo-caillouteux du Rhin formés à la surface des alluvions calcaires charriées par le Rhin depuis les Alpes, les sols acides de plaine et les sols limoneux calcaires sur plaquages de loess éoliens (Figure 3) (Party et al., 1999; Party, 2003).

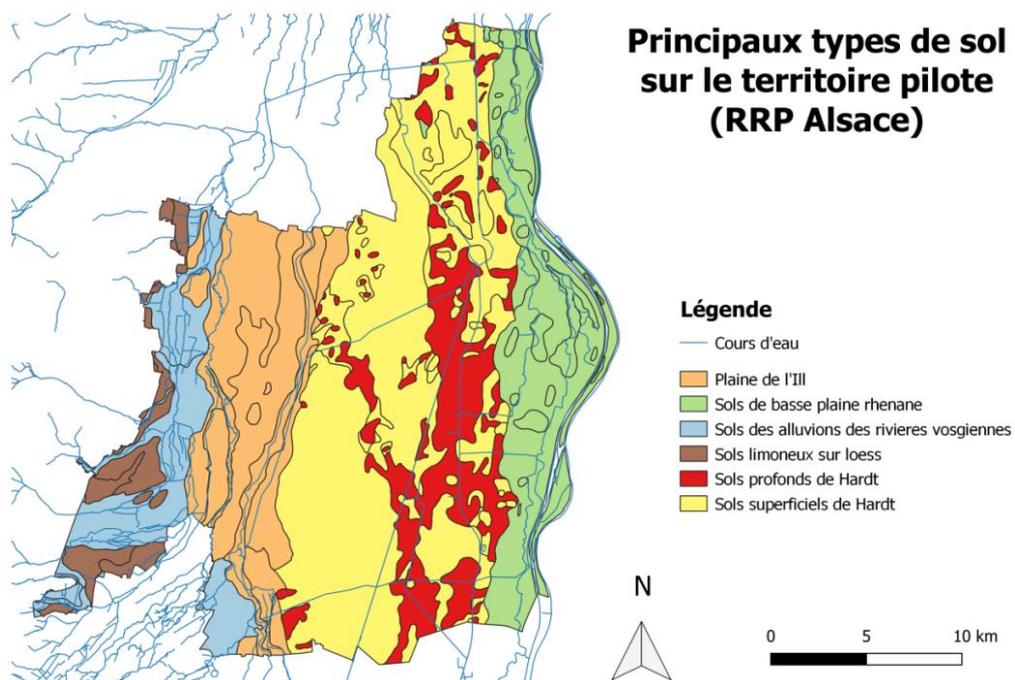


Figure 3 : Carte des principaux types de sol du territoire pilote. Données issues du RRP Alsace (source : Le Gloux, 2019).

## Contexte agricole

La Surface Agricole Utile (SAU) du territoire pilote est de 32 825 ha (données RPG 2017). En 2014, il y avait 843 exploitations à posséder au minimum un îlot dans son périmètre, et la taille moyenne des exploitations ayant la totalité de leurs parcelles sur le territoire était de 52,5 ha (Flisiak, 2018).

Six grands types d'exploitations agricoles peuvent être distingués par leurs assolements (Flisiak 2018 ; van Dijk et al., 2016) : les « céréaliers maïs » (dont le maïs grain représente près de 80% de la SAU), les céréaliers cultivant des céréales, des oléagineux, et des protéagineux et se diversifiant avec des cultures à forte valeur ajoutée (cultures industrielles), les céréaliers diversifiés, les éleveurs bovins, les agri-viticulteurs et les maraîchers. Ces types d'exploitation représentent respectivement 77%, 6%, 6%, 5%, 5% et 1% de la SAU. Seuls 49 éleveurs ont leur siège dans le territoire-pilote, dont 18 éleveurs bovins, 18 éleveurs porcins, 7 éleveurs de volailles et 6 éleveurs de caprins/ovins. Les agri-viticulteurs et les éleveurs sont davantage localisés à l'ouest du territoire, vers le Piémont, tandis que les céréaliers dominent largement dans la plaine (Flisiak, 2018). En 2005, 2,9% de la SAU du Haut Rhin était sous label Agriculture Biologique (Agreste, 2007).

L'agriculture du territoire est ainsi dominée par le maïs grain (Figures 4 et 5). En 2017, il représentait 69% de la SAU. Les rendements sont élevés (130 q/ha en moyenne dans les sols de la Hardt). Le blé tendre est la deuxième production la plus importante (9% de la SAU en 2017, avec un rendement moyen de 86 q/ha) (Vericel, 2015). Ces dernières années, la culture du soja s'est beaucoup développée (de 2% de la SAU en 2014 à 7% en 2017, données RPG 2014 et 2017). Les autres cultures sont marginales.

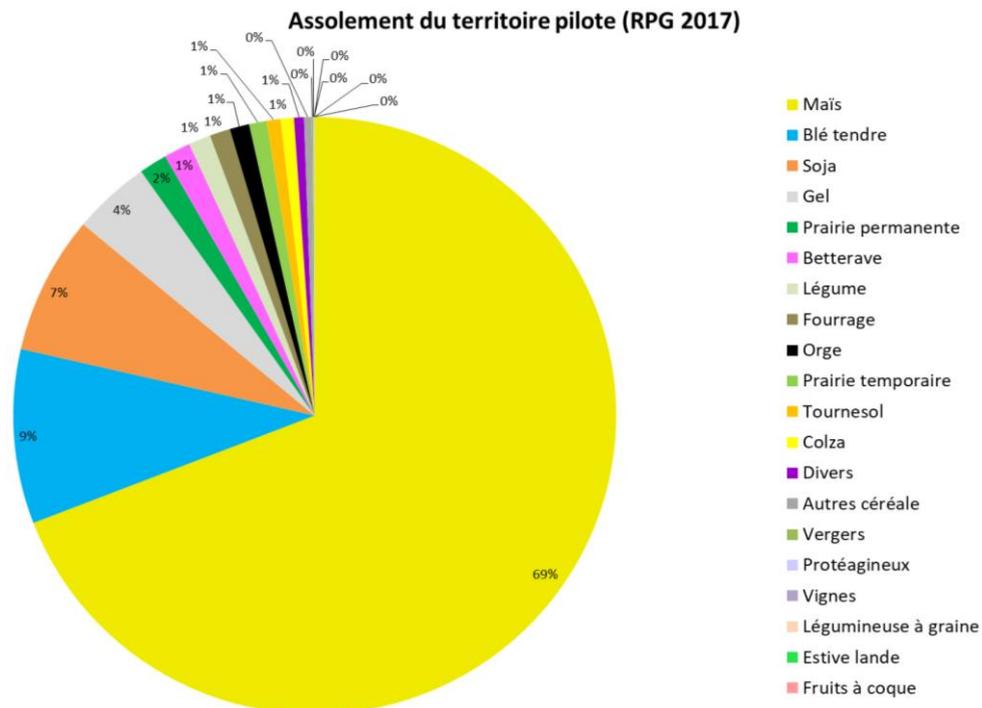


Figure 4 : Part de chaque culture dans l'assolement du territoire pilote en 2017. Source des données : RPG 2017

L'Alsace produit environ 10% des céréales françaises. Le dynamisme de cette filière est favorisé par sa situation géographique privilégiée, l'Alsace étant localisée au centre du marché européen avec des possibilités d'exporter facilement par le Rhin (Coopérative Agricole de Colmar 2019). Les principaux débouchés sont la transformation par les industries agroalimentaires (amidonnerie, malterie, meunerie...), dont une grande partie des productions est exportée (CRAGE 2018).

La dominance du maïs grain dans l'assolement se traduit aussi dans les rotations par cette même dominance : la rotation maïs grain – maïs grain – maïs grain – blé – maïs grain (MGx4 – Blé) représente presque 60% de la SAU du territoire. Sur les neuf rotations majoritaires, huit contiennent quatre successions de maïs grain, en cohérence avec le type d'exploitation agricole dominant : « céréalier maïs ». Il est à noter qu'une partie du maïs grain (environ 10 %) est séchée dans ce qu'on appelle des cribs. Ceci est important car pour cette filière, les rafles de maïs sont exportés des champs, et cela impacte le retour au sol des matières organiques.

Une caractéristique très forte de ce territoire est également la dominance des systèmes irrigués, 90% de la SAU du territoire pilote étant sous irrigation (Vericel, 2015). Cela s'explique par la présence d'une des plus grandes nappes phréatiques d'Europe. Cette pratique est décisive, à tel point qu'au sud de l'Alsace, il est avancé qu'« abandonner l'irrigation revient à abandonner l'agriculture » (Colas-Belcour, Renoult, Vallance 2015, p. 13). En effet, notamment les sols superficiels, très caillouteux de la Hardt ont des réserves utiles très faibles, souvent inférieures à 50 mm. L'irrigation a rendu possible l'installation des exploitations céréalieres à haut rendement.

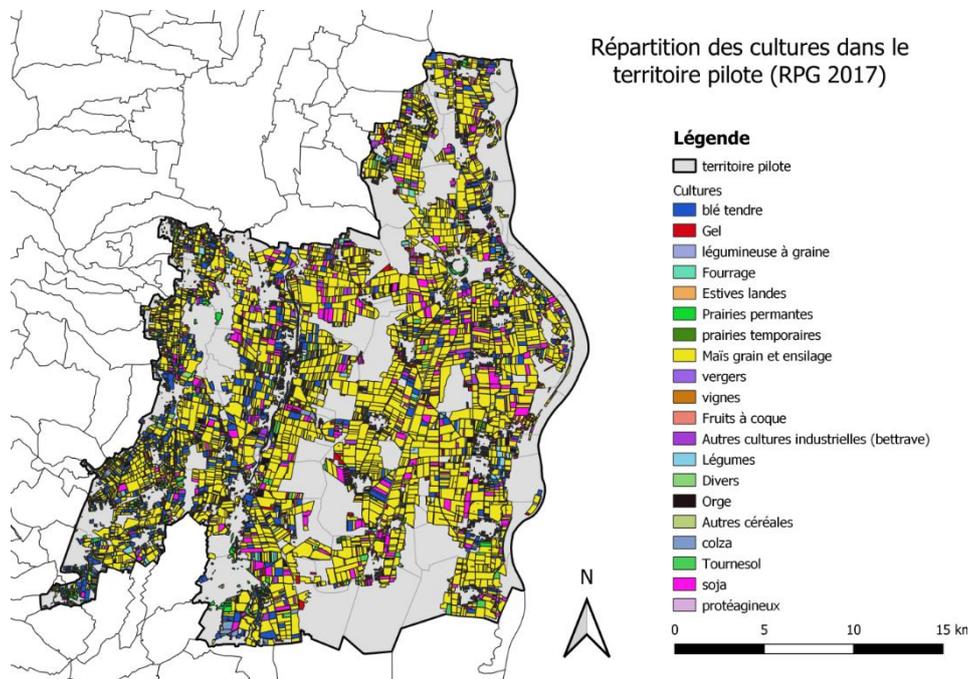


Figure 5 : Répartition des cultures dans les parcelles du territoire pilote en 2017. Réalisation : Gravier (2019).

## 1.2. Enjeux du territoire

Un grand enjeu pour les agriculteurs sur le territoire est la gestion du risque de pollution des eaux souterraines par les nitrates et les produits phytosanitaires. La totalité du territoire pilote est classée zone vulnérable et encadrée par la Directive Nitrates. De plus, la dominance du maïs irrigué dans le paysage, associé à la détérioration de la qualité des eaux souterraines, a eu comme effet de ternir l'image de l'agriculture aux yeux des consommateurs et des riverains (DRAAF Alsace, 2013). Le rétablissement de cette image est un enjeu important pour la profession agricole dans le territoire pilote. Cela pourrait se faire à travers une augmentation de la diversité des cultures dans les assolements, et en limitant le recours aux intrants. La diversification des productions pose la question de la performance économique des exploitations et nécessite le développement des filières dans le territoire. Un autre enjeu est en lien avec le changement climatique : comment gérer l'adaptation de l'agriculture au changement climatique tout en restant dans une démarche d'atténuation des impacts des activités agricoles sur le climat ?

## 2. Déploiement de la démarche

La Figure 6 montre le déroulement du projet à partir du premier contact avec le territoire du PÉTR RVGB jusqu'à la fin du projet (la phase de communication et de diffusion des résultats). On fera régulièrement référence à cette figure pour placer les différentes phases du projet dans le temps.

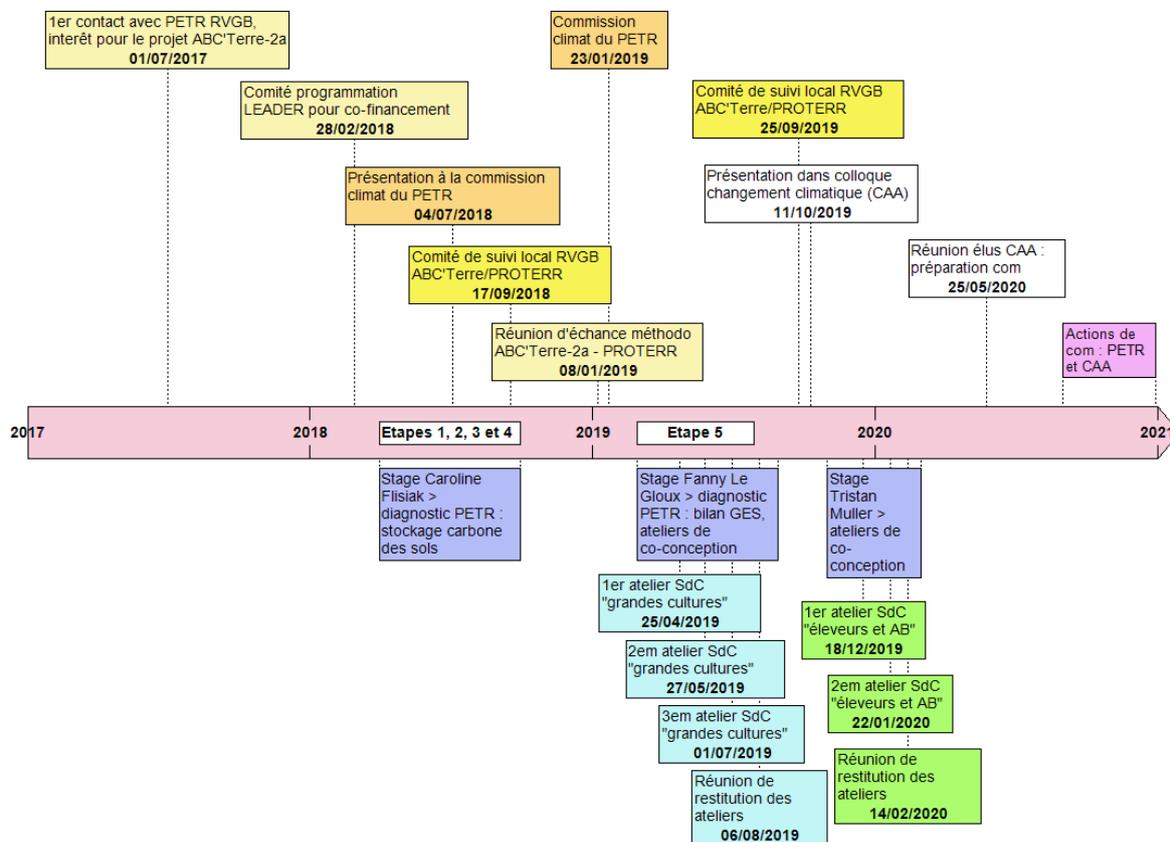


Figure 6 : Déroulement du projet ABC'Terre-2a sur le territoire-pilote du PÉTR RVGB. Au-dessus de la barre du temps : échanges avec les partenaires du territoire ; en dessous de la barre de temps : travail technique. A l'intérieur de la barre sont indiquées les étapes 1 à 5 de la méthode ABC'Terre (cf partie 2 de ce rapport).

### 2.1. Mise en œuvre de la méthode ABC'Terre

#### 2.1.1. Référent ABC'Terre

Pour ce territoire, le référent ABC'Terre est Paul van Dijk, géographe de formation et actif dans le domaine de l'agronomie depuis 2003. Il travaille à la Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est (CRAGE) comme Ingénieur Méthodes et Références et il est notamment en charge des missions de modélisation territoriale. Son implication dans la démarche ABC'Terre date de 2011 avec la naissance du projet ABC'Terre puis son exécution dans la période 2013 à 2016. Il a utilisé la méthode ABC'Terre pour calculer les bilans de carbone organique de 2 territoires alsaciens en fonction des systèmes de culture présents et pour traduire ces informations en indicateur de sensibilité potentielle à l'érosion. Son travail a permis d'identifier des couples type de sol – système de culture à risque élevé par rapport à l'érosion, et de co-concevoir des systèmes de culture moins sensibles.

Dans le projet ABC'Terre-2A, il a été en charge de l'application de la méthode sur le territoire Rhin-Vignoble-Grand Ballon et de la conduite des ateliers de co-conception avec les agriculteurs. Il a encadré trois stagiaires au cours du projet ABC'Terre-2A : Caroline Flisiak (2018), Fanny Le Gloux (2019) et Tristan Muller (hiver 2019/2020).

### 2.1.2. Collecte des données

La collecte des données nécessaires à l'application des outils de la démarche ABC'Terre a été effectuée en plusieurs étapes.

Pour déterminer les rotations des cultures associées aux types de sol et par type d'exploitation agricole, l'outil RPG-explorer a été employé (étape 1, Figure 6). Les données collectées pour alimenter cet outil sont les données du Registre Parcellaire Graphique (RPG), les données pédologiques du Référentiel Régional Pédologique (RRP) et une typologie des exploitations agricoles. Le tableau 1 montre les sources et les personnes impliquées dans la réalisation de la collecte et/ou la production de ces informations.

La détermination des teneurs en carbone organique initiales pour chacune de ces combinaisons « rotations x type de sol x type d'exploitation agricole » a été réalisée en se basant sur des données de la BDAT (Base de Données des Analyses de Terre). L'UniLaSalle a développé et appliqué la méthode permettant la détermination de ces teneurs initiales par type de sol à partir de la BDAT (étape 2, Figure 6).

Pour associer des pratiques culturales à chacune des rotations (étape 3), nous nous sommes appuyés sur plusieurs sources de données. La plus importante pour les cultures dominantes dans ce territoire (maïs et blé notamment, mais aussi orge et betteraves) est la base de données sur les pratiques agricoles issue des évaluations des opérations de conseil d'Agri-Mieux, qui est très fiable. On a mobilisé les données de l'opération Agr'Eau Plaine de 2014 qui contient les pratiques agricoles de 62 agriculteurs (36 céréaliers, 15 éleveurs, et 11 agri-viticulteurs) sur une surface enquêtée d'environ 5000 ha (environ 15% du territoire pilote). Le tableau 1 détaille les informations extraites de la BD-Agri-Mieux. Les itinéraires techniques détaillés des autres cultures couvrant moins de surface dans le territoire RVGB ont été obtenus en contactant des conseillers experts, notamment des conseillers de la Chambre d'Agriculture Alsace (CAA, Tableau 1).

**Tableau 1 : Types et sources des données pour le diagnostic initial**

Données collectées	Source	Réalisation
Données RPG	AgroParisTech	Van Dijk P, Flisiak C., Sauter J. (CRAGE, 2018)
Typologie des exploitations agricoles	Déterminée par classification des assolements RPG (méthode : nuées dynamiques) (CRAGE)	
Carte (polygones : UCS) et caractéristiques pédologiques par type de sol (UTS)	RRP Alsace de la CRAGE	
Teneurs en Corg initiales par UTS	Issues de la méthode d'affectation par la BDAT (INRAe, Infosol)	Scheurer O., Boussetin, X. (Uni LaSalle, 2018)
Pratiques culturales concernant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les rendements des cultures</li> <li>• Le labour</li> <li>• L'irrigation</li> <li>• La gestion des résidus de culture</li> <li>• L'implantation de cultures intermédiaires</li> </ul>	Bases de données des opérations Agri-Mieux et validation par des experts de la Chambre d'Agriculture Alsace (CAA) et Arvalis-Institut du Végétal. Personne consultées : Jean-François Strehler, Léon Léonard, Jonathan Dahmani et Claude Bernhardt (tous CAA), Didier Lasserre (ARVALIS), Guy Meinrad (Agrivalor), Nathalie Valentin (SMRA68) et Claude Nilles (SMRA68)	Van Dijk P., Flisiak C. (CRAGE, 2018)

Itinéraires techniques détaillés des cultures	<p><b>Céréales d'hiver, maïs, sorgho, soja</b> : Blatz A. (INRA), (CAA 2018 ; 2017 ; Terres Inovia 2017a)</p> <p><b>Prairies</b> : Strehler J-F. (CAA)</p> <p><b>Betterave</b> : Butscha M. (Cristal Union)</p> <p><b>Pomme de terre et laitue</b> : Jung D., Bodendörfer J. (Planète Légumes)</p> <p><b>Tournesol, colza</b> : (Terres Inovia 2017b; CAA 2018)</p> <p><b>Orge de printemps</b> : même itinéraire technique que l'orge d'hiver. Exception pour la fertilisation PK et les traitements phytosanitaires : itinéraire technique du territoire pilote du Thouarsais (source interne)</p> <p><b>Pois protéagineux et féverole</b> : itinéraires techniques du Thouarsais (source interne)</p> <p><b>Cultures intermédiaires</b> : Blatz A. (INRA)</p>	Le Gloux F., Van Dijk P., Gravier A. (CRAGE, 2019)
Proportion de la surface de chaque culture qui reçoit des produits résiduaux organiques	Expertise (Gravier A.) : résultats préliminaires du projet de diagnostic territorial du projet PROTERR <sup>1</sup> sur le même territoire pilote	
Reliquats sortie d'hiver moyens par catégorie de précédent cultural et par classe de réserve utile (valeurs médianes 0-90 cm)	Base de données des campagnes de prélèvements réalisées par la Chambre d'Agriculture Alsace (CAA) (2013-2018)	
Normales des températures, précipitations et évapotranspirations potentielles moyennes	Météofrance (station météo de Colmar)	Le Gloux F., Van Dijk P. (2019)

En ce qui concerne les épandages des produits résiduaux organiques (PRO) dans ce territoire, nous avons pu nous appuyer sur les données collectées dans le cadre du projet PROTERR qui s'est déroulé en parallèle d'ABC'Terre-2A sur le même territoire pilote.

### 2.1.3. Déroulement de chaque étape

#### *Déroulement du projet : étapes de travail technique pour le diagnostic territorial*

La partie en dessous de la barre du temps montre *les grandes phases du travail technique du projet*. Une première partie du travail technique a été effectuée en 2018 avant la finalisation de l'outil de calcul des émissions GES propre à ABC'Terre développé par AGT. De ce fait, cette phase s'est concentrée uniquement sur le **diagnostic du bilan de Corg des sols du territoire** en fonction des systèmes de culture en s'appuyant sur le modèle Simeos-AMG. Cette phase, dont une grande partie a été effectuée par Caroline Flisiak (stagiaire M2) puis complétée et affinée en 2019 par Fanny Le Gloux), a comporté les tâches suivantes :

- la délimitation précise de la zone d'étude (CRAGE)
- la mise en place d'une base de données SIG du territoire (CRAGE)
- la détermination de la typologie des exploitations agricoles du territoire (Paul van Dijk, CRAGE)

<sup>1</sup> PROTERR (Optimisation de l'insertion des Produits Résiduaux Organiques dans les systèmes de culture comme levier des services écosystémiques rendus par les sols à l'échelle TERRitorial) est un projet de diagnostic territorial financé par l'ADEME. Il se développe sur le même territoire pilote alsacien que le projet ABC'Terre-2A.

- le paramétrage et la mise en œuvre de l’outil RPG-explorer en collaboration avec l’UMR SADAPT INRAE/AgroParisTech (Philippe Martin et Lucie Martin) (étape 1, Figure 6)
- la caractérisation des pratiques agricoles nécessaires pour le calcul du bilan de Corg des sols avec Simeos-AMG (en fonction des cultures, des types de sols, et des types d’exploitation agricole), puis la validation de ces pratiques agricoles avec les conseillers agricoles de la CAA du secteur (personnes consultées : cf. tableau 1) (étape 3, Figure 6)
- la mise en œuvre et l’interprétation des résultats du modèle Simeos-AMG en collaboration avec AgroTransfert Ressources et Territoires (Marion Delesalle) et la cartographie des variations de stockage du carbone organique des sols (étape 4, Figure 6)
- l’analyse du rôle des PRO dans le bilan de Corg du sol (en lien avec le projet PROTERR). Ce rôle a été détaillé davantage dans le cadre du stage M2 d’Anaïs Gravier pour PROTERR (encadré par Anne Schaub de la CRAGE).

En juin 2019, l’outil de calcul du bilan GES était disponible. Cela a permis à la stagiaire M2 Fanny Le Gloux d’entamer deux phases fondamentales du déploiement d’ABC’Terre sur le territoire pilote du PETR RVGB : le diagnostic du bilan GES du territoire (étape 5, Figure 6) et les ateliers de co-conception pour construire des systèmes de culture faiblement émissifs. L’objectif de cette dernière phase était de dégager des principes d’actions à mettre en avant pour le PCAET du territoire pilote.

Les tâches suivantes ont été effectuées pour le **diagnostic GES du territoire** :

- compléter le fichier de collecte des données nécessaire pour alimenter l’outil de calcul du bilan GES : déterminer la proportion de la surface de chaque culture qui reçoit des PRO, caractériser l’ensemble des ITK des cultures (incluant la fertilisation azotée et les rendements), et enfin quantifier les reliquats d’azote sortie d’hiver en fonction de la culture précédente et par classe de réserve utile. Cette phase a nécessité le recours à de nombreux experts en fonction de la culture et/ou du sujet (cf. tableau 1)
- la mise en œuvre et l’interprétation des résultats de l’outil bilan GES en collaboration avec AgroTransfert Ressources et Territoires (Marion Delesalle)

Le diagnostic a permis d’identifier les systèmes de culture et les situations les plus émissifs ainsi de connaître les postes qui contribuent les plus aux émissions des GES. Par contre, du fait que l’outil de calcul pour les émissions des GES n’a été disponible qu’à partir de juin 2019, nous n’avons pas pu nous appuyer sur ces résultats pour sélectionner des systèmes de culture à approfondir dans les ateliers de co-conception qui ont commencé en avril 2019.

## 2.2. Mise en œuvre de la démarche participative

### 2.2.1. Stratégie de mobilisation des acteurs

Il n’existait pas de groupement préexistant d’agriculteurs dans ce territoire. C’est pourquoi nous avons établi une liste des agriculteurs potentiellement intéressés en nous basant sur des contacts fournis par les conseillers de la CAA et par les élus agricoles. Les agriculteurs contactés ont également proposé d’autres agriculteurs potentiellement intéressés par une participation à ce projet.

Pour le premier atelier, 10 agriculteurs contactés par téléphone avaient accepté de participer. En lien avec la période du stage de Fanny Le Gloux, les réunions pour cet atelier ont eu lieu entre fin avril à début juillet, période très chargée pour les céréaliers, ce qui a empêché certains agriculteurs de participer. Pour limiter les problèmes de disponibilité, ces ateliers ont eu lieu le soir. Pour les ateliers de l’hiver 2019/2020 (Figure 6), la même procédure a été employée pour contacter des agriculteurs.

La disponibilité des agriculteurs était meilleure pendant cette période hivernale et les réunions ont pu avoir lieu dans la journée.

A part les agriculteurs, des conseillers (en fonction de la thématique de l'atelier, qui était variable) de la CAA ont participé aux ateliers. Lors de l'une des réunions, Marion Delesalle est intervenue en visio-conférence pour expliquer la méthode de calcul des émissions des GES aux agriculteurs.

Le PETR a décidé de ne pas participer aux ateliers de co-conception car il a jugé sa participation inutile et les discussions trop techniques.

### 2.2.2. Organisation du déploiement de la démarche

#### *Les échanges avec les acteurs du territoire*

La partie au-dessus de la barre du temps de la Figure 6 montre *les différentes échanges clefs du projet avec les différents partenaires locaux*, c'est-à-dire les réunions avec les représentants du PETR, le comité de suivi local, les commissions « climat » et la Chambre d'Agriculture Alsace (CAA). Au niveau du PETR plusieurs personnes étaient concernées : le chargé de mission « PCAET », la responsable du programme LEADER pour le co-financement, et la direction. Le projet a été présenté à deux reprises dans les réunions de la commission Climat du territoire.

Il y a eu deux réunions du comité de suivi local mis en place pour guider et coordonner les activités des projets ABC'Terre-2A et PROTERR. Ce dernier projet est également financé par l'ADEME, et sur une thématique voisine : les flux et l'optimisation de la valorisation des produits résiduels organiques dans le territoire du PETR. Une partie de la collecte des données pour le diagnostic a été faite en commun pour les deux projets. Le comité de suivi local était composé comme suit : 5 élus, 2 salariés et 3 citoyens du PETR, 1 élue et 4 conseillers de la CAA, la directrice du SMRA (syndicat mixte recyclage agricole), 5 agriculteurs, 2 chercheurs de l'INRAe, la coordinatrice d'ABC'Terre-2A d'AgroTransfert R&T et les 2 chefs de projet régionaux d'ABC'Terre-2A et de PROTERR de la CRAGE.

Les actions de communication et de diffusion des résultats du projet ont été organisées avec la CAA et le PETR, et se poursuivront après la clôture du projet.

#### *Les ateliers de co-conception organisés dans le PETR RVGB*

**Les ateliers de co-conception des systèmes de culture faiblement émetteurs** ont démarré au printemps 2019, organisés par Fanny De Gloux (Figure 6) et encadrés par Paul van Dijk et Anne Schaub. La première série d'ateliers s'intéressait au type d'exploitation dominant du territoire-pilote : le **maïsiculteur en situation d'irrigation**. Il y a eu 3 réunions avec 4 à 6 agriculteurs et plusieurs conseillers de la CAA pour définir ensemble des scénarios. Les scénarios établis pendant ces réunions ont été évalués avec la méthode ABC'Terre (Simeos-AMG et outil de calcul GES) et comparés au système de référence, c'est-à-dire un système d'un agriculteur participant. De plus, **une évaluation multicritère** a été effectuée avec la méthode CRITER (INRAe, UMR 211 Agronomie à Grignon) pour aborder les aspects socio-économiques de ces scénarios et des aspects en lien avec des enjeux importants du territoire, notamment les risques de contamination des eaux souterraines par les nitrates et les produits phytosanitaires. Les résultats de ces premiers ateliers ont été présentés et discutés en août 2019 aux participants.

Une deuxième série d'ateliers a été organisée pendant l'hiver 2019/2020 dans le cadre du stage de Tristan Muller. Il s'est agi de la même démarche de co-conception mais cette fois-ci sur des systèmes de culture moins importants en surface : différents **systèmes de culture d'éleveurs** ayant des parcelles dans le territoire-pilote, et quelques **systèmes d'agriculteurs en agriculture biologique**. L'objectif était de savoir comment se comportait ces systèmes de culture très différents par rapport à

ceux des céréaliers. Ce travail a permis d'identifier des principes d'action efficaces déjà en place dans certains systèmes de culture de ces deux groupes d'agriculteurs et de comprendre les postes d'émission à cibler prioritairement pour réduire davantage les émissions des GES. Ces ateliers ont mobilisé 7 agriculteurs, 4 conseillers de la CAA, 2 chefs de projet et le stagiaire. Les résultats ont été présentés et discutés lors d'une réunion en février 2020.

### *La préparation des ateliers*

Pour faciliter au mieux le déroulé des ateliers et atteindre les objectifs attendus, il a été nécessaire de planifier un agenda précis. Lors de la première réunion, certaines étapes ont été réservées à la création d'une bonne dynamique de groupe. Le contexte de l'établissement du groupe de travail a été présenté (projet ABC'Terre-2A, sensibilisation aux enjeux du stockage de Corg, intérêt de l'approche participative...), ainsi que les objectifs du processus de co-conception. Ensuite, chaque réunion s'est construite selon le schéma suivant :

- rappel des activités de la réunion précédente
- partage des connaissances et de l'état d'avancement du projet et de l'étude de stage via des exposés et des temps d'échange avec les participants, présentation de quelques leviers d'action à explorer pour améliorer le bilan GES territorial
- atelier de co-conception : débat ouvert pour explorer des idées de nouvelles pratiques à évaluer
- discussion en groupe des potentiels freins et limites (économiques, techniques, structurels...) au changement
- synthèse et perspectives de la réunion

Afin de faciliter le déroulé des ateliers, des « cibles de conception » ont été définies (Reau et al. 2018) :

1. Une réduction de 37% des émissions GES. Le 37% correspondant à l'objectif national de réduction des émissions pour le secteur agricole sur la période 2005-2030 présenté dans le Paquet Climat-Energie Horizon 2030 (Citepa 2019).
2. Maintenir le « 4 pour 1000 » sur 30 ans.
3. Ne pas diminuer le taux de matière organique par rapport aux SdC initiaux (en supposant que cela permet de ne pas diminuer la qualité du sol).

Pour faciliter la visualisation et l'émergence d'idées lors des ateliers de co-conception, des supports ont été utilisés : les cartes d'opérations culturales du jeu Ecophyt'eau et des posters sur lesquels renseigner les itinéraires techniques des cultures.

Dans un premier temps, il a été demandé aux agriculteurs de réfléchir à des nouvelles pratiques en s'affranchissant de toutes les contraintes de filières et de disponibilité de matériel pour élaborer des **scénarios « en rupture »**. Dans un deuxième temps, ils ont pu élaborer des **scénarios de « court-terme »** en réintégrant des problématiques de faisabilité et des freins éventuels.

### *En aval des réunions*

Après chaque réunion, une importante phase de formalisation des résultats a été nécessaire. D'une part, pour assurer la continuité du processus participatif, il a fallu rédiger un compte-rendu et élaborer un questionnaire de satisfaction pour avoir un retour des participants du groupe sur le déroulé des réunions. D'autre part, les SdC ont été formalisés à partir des idées soulevées lors des échanges du groupe.

Pour les SdC de travail, il a été décidé de se tourner vers les membres du groupe qui implémentent eux-mêmes ces systèmes. Il leur a ainsi été demandé de renseigner les interventions techniques

représentatives de la conduite des cultures. Ces itinéraires sont utilisés pour faire les diagnostics, et également les évaluations multicritères avec CRITER. Pour les SdC innovants, ils sont construits à partir des pratiques proposées par le groupe et un travail de collecte de données. Une fois les SdC construits, le calcul de leur bilan GES et de leur stockage Corg est réalisé par la méthode ABC'Terre.

### 3. Principaux résultats

#### 3.1. Diagnostic initial

Les résultats présentés dans cette partie sont issus des fichiers de sortie d'ABC'Terre présentant les bilans stockage de Corg et émissions GES des 653 SdC reconstitués sur le territoire, la manipulation de l'outil étant réalisée par l'équipe coordinatrice du projet à Agro-Transfert Ressources et Territoires.

#### Diagnostic initial du stockage de Corg

Quelques tendances générales émergent. A l'échelle du territoire (agrégation pondérée des SdC), la moyenne de la variation du stockage de Corg sur 30 ans est positive et très élevée (+522 kg Corg/ha/an), ce qui suggère que le territoire-pilote a un fort potentiel de stockage de Corg avec les SdC actuels. A titre de comparaison, la variation moyenne annuelle nationale du stock de Corg estimée dans une étude récente (modèle STICS) est estimée à 47 kg Corg/ha/an (INRA 2019).

Ce résultat cache en réalité une grande diversité de situations parmi les SdC, les variations de stockage allant de -354,5 kg Corg/ha/an à 1921,5 kg Corg/ha/an (Figure 7). Ainsi, 99% de la SAU stocke le Corg (variation supérieure à 20 kg Corg/ha/an), 0,1% le stabilise (variation entre -20 et +20 kg Corg/ha/an) et 0,9% le déstocke (variation inférieure à -20 kg Corg/ha/an).

Ce résultat global du territoire s'explique par des stocks initiaux de Corg relativement faibles et donc un potentiel de stockage élevé, et par la dominance du maïs grain irrigué à très fort rendement (qui restitue de très fortes quantités de biomasse au sol) dans les SdC.

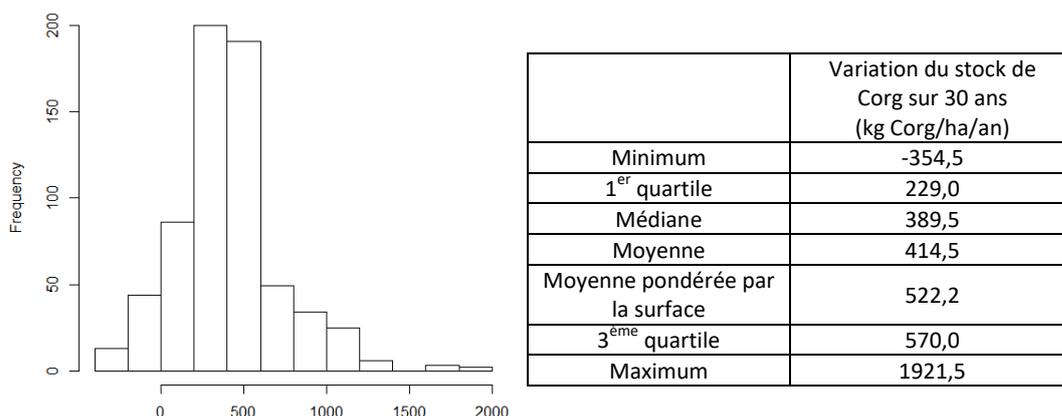
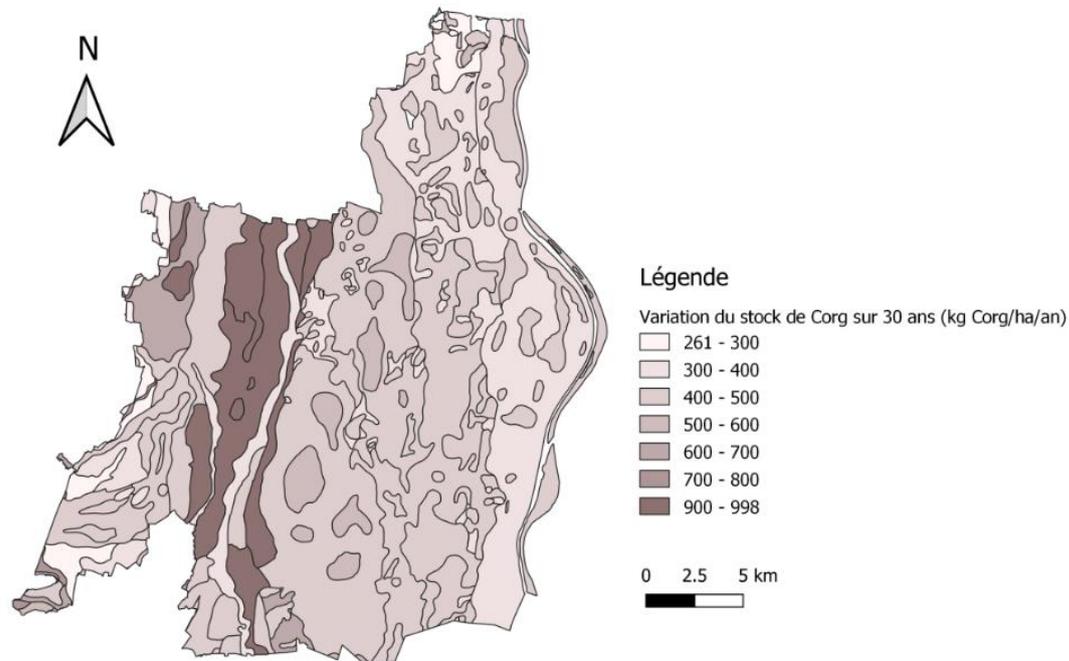


Figure 7 : Distribution de la variable Stockage de Corg sur 30 ans des SdC du territoire-pilote (kg Corg/ha/an).

Une étude des corrélations entre variables suggère que le stockage est d'autant plus important que le taux d'argile du sol est élevé (potentiel plus important de créer des liaisons organo-minérales) et que la proportion du maïs grain (avec une restitution importante de résidus de culture) dans la rotation est importante, tandis qu'il diminue avec la proportion de légumes.

Nous pouvons remarquer que la tendance à stocker du Corg se retrouve sur l'ensemble du territoire, mais avec des variations (Figure 8). Les UCS les plus stockantes (avec un taux de stockage de plus de

900 kg Corg/ha/an) se trouvent à l'ouest du territoire, au niveau de la plaine de l'Ill, où les sols sont plus argileux, tandis que les UCS les moins stockantes (avec un taux de stockage tout de même conséquent entre 260 à 300 kg Corg/ha/an) sont localisés respectivement au nord-est (basse plaine rhénane) et à l'ouest (sols limoneux du Piémont). Il est important de noter qu'au sein de chaque UCS qui comprend une grande variété de SdC, il peut y avoir d'importantes variations en lien notamment avec la diversité des types de sol et des rotations de culture.



**Figure 8 : Variations des stocks de carbone organique des sols (0-30 cm) sur 30 ans du territoire-pilote (moyennes pondérées par unité cartographique de sol)**

### Diagnostic initial des émissions de GES

Les émissions brutes sur le territoire égalent 3,75 t éq CO<sub>2</sub>/ha/an (Figure 9). C'est une valeur relativement élevée, si on la compare par exemple à la moyenne française, estimée à environ 2,75 t éq CO<sub>2</sub>/ha/an (Tison, Bochu 2011). Le stockage du carbone dans les sols agricoles du territoire compense 1,92 t éq CO<sub>2</sub>/ha/an (51% des émissions brutes). En moyenne, le territoire pilote émet 1,8 t éq CO<sub>2</sub>/ha/an en émissions nettes (Figures 9 et 10). Des références en termes d'émissions nettes des SdC sont relativement difficiles à trouver, la plupart des chiffres présentés dans la littérature se concentrant sur les émissions brutes (sans prise en compte du stockage de Corg sur le long terme) et comprenant les émissions liées à l'élevage.

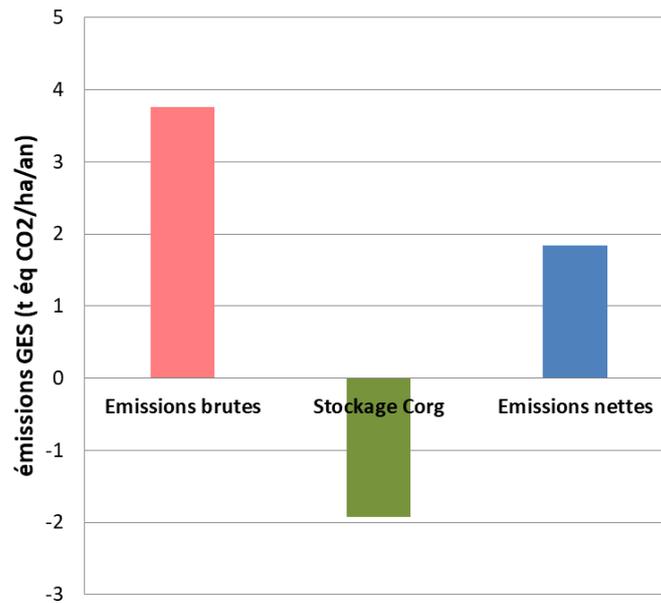


Figure 9 : Emissions des GES brutes et nettes moyennes du territoire-pilote.

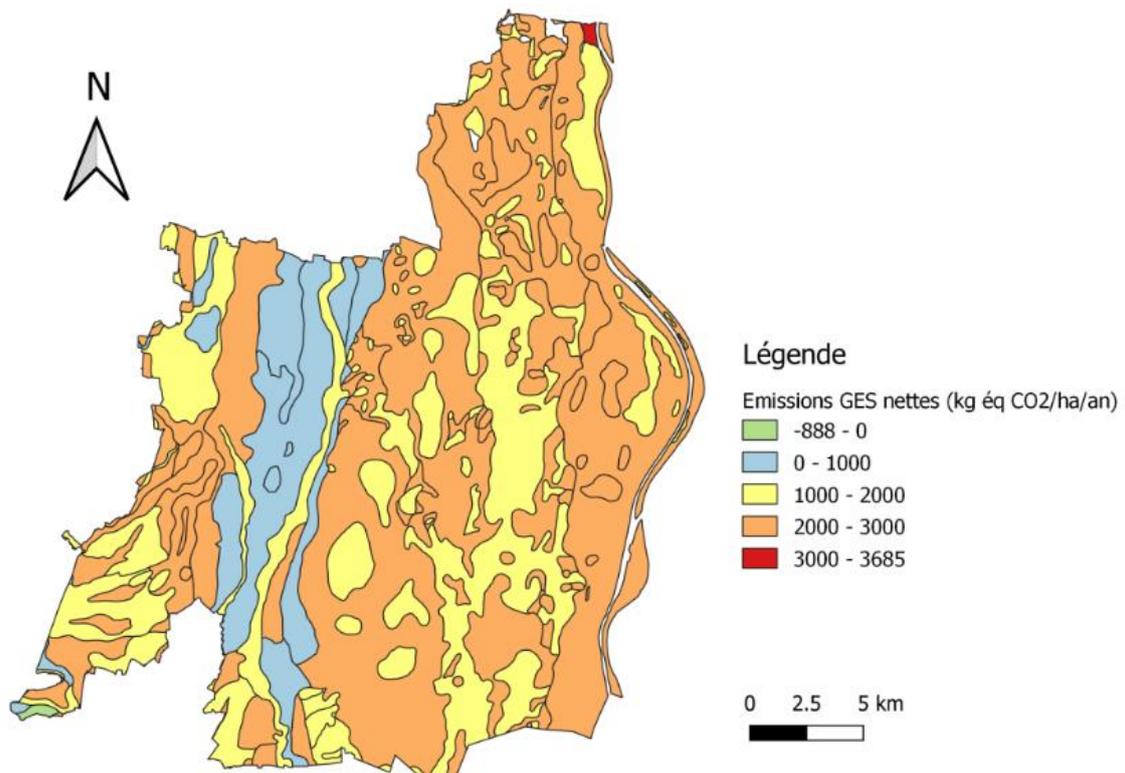


Figure 10 : Emissions GES nettes du territoire pilote (moyennes pondérées par unité cartographique de sol)

Les émissions par poste définies dans la méthode ABC'Terre sont présentées dans les Figures 11 et 12. La Figure 11 montre tous les postes calculés par l'outil et la Figure 12 agrège des postes dans des catégories pour faciliter l'interprétation. L'ensemble des émissions liées aux engrais azotés minéraux (émissions directes, en amont, et par volatilisation) est responsable de 57% des émissions brutes. Le deuxième poste (13%) concerne l'ensemble des émissions liées à la mécanisation (hors irrigation), alors que l'irrigation émet 11% du total. Les PRO émettent relativement peu (8%) ce qui traduit le faible poids de l'élevage dans cette plaine céréalière.

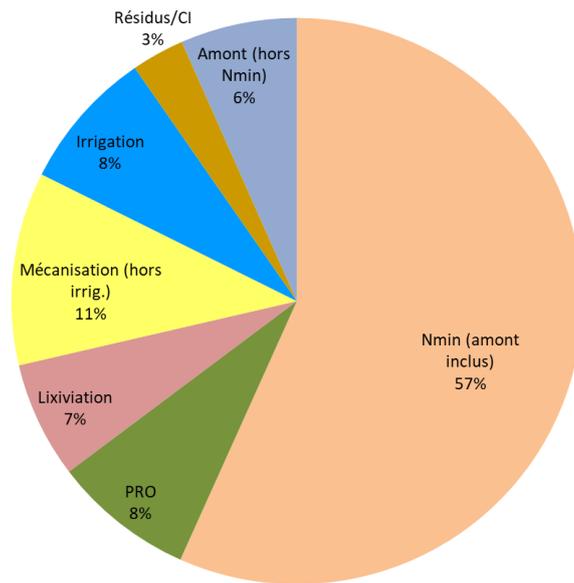


Figure 11 : Répartition des émissions GES du territoire par poste d'émissions.

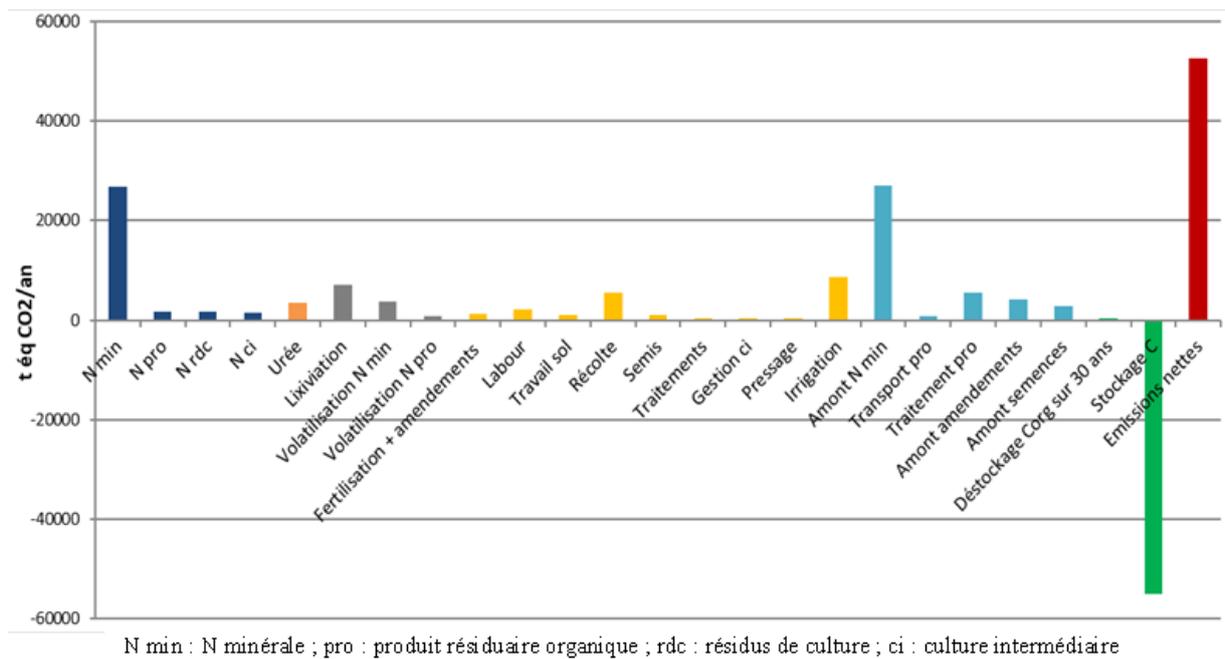


Figure 12 : Importance des postes d'émissions GES pour le territoire RVGB.

### Des profils d'émissions se distinguent à l'échelle du SdC

Une analyse statistique (clustering hiérarchique avec le logiciel R) a permis d'identifier 4 groupes de SdC différents sur la base de leurs profils d'émissions (valeurs des différentes catégories d'émissions). Au préalable, les variables à intégrer dans l'analyse ont été triées, de manière à ne pas intégrer de variables trop corrélées entre elles (corrélation supérieure à 0,8 ou inférieure à -0,8).

Un premier groupe (ou cluster) regroupe 115 SdC (3% de la SAU du territoire). Ses principales caractéristiques résident dans la domination des SdC par les cultures fourragères : un SdC « moyen » de ce groupe (le centre du cluster), aura 90% de fourrages dans sa rotation (80% de prairies et 10% de légumineuses). Ainsi, nous avons nommé ce cluster « Fourrage ». Il est caractérisé par des émissions brutes et nettes relativement faibles par rapport aux autres groupes et par un stockage de Corg important. Un deuxième cluster de 57 SdC (1% de la SAU), nommé « Légumes » comprend des SdC dominés par les légumes (un SdC moyen aura 50 % de légumes dans sa rotation) qui ont tendance à stabiliser ou déstocker le Corg. Le troisième cluster, « Céréales », avec 184 SdC (4% de la SAU), est caractérisé par une proportion importante de céréales d'hiver (50% de la rotation en moyenne) et de fortes émissions en amont dues aux intrants (liées notamment aux intrants minéraux). Enfin, le quatrième et plus grand cluster (297 SdC, 92% de la SAU), « Maïs », regroupe des SdC comprenant une forte proportion de maïs irrigué (80% de la rotation en moyenne) et est caractérisé par d'importantes émissions brutes fortement atténuées par le stockage de Corg (Figure 13 et Tableau 2).

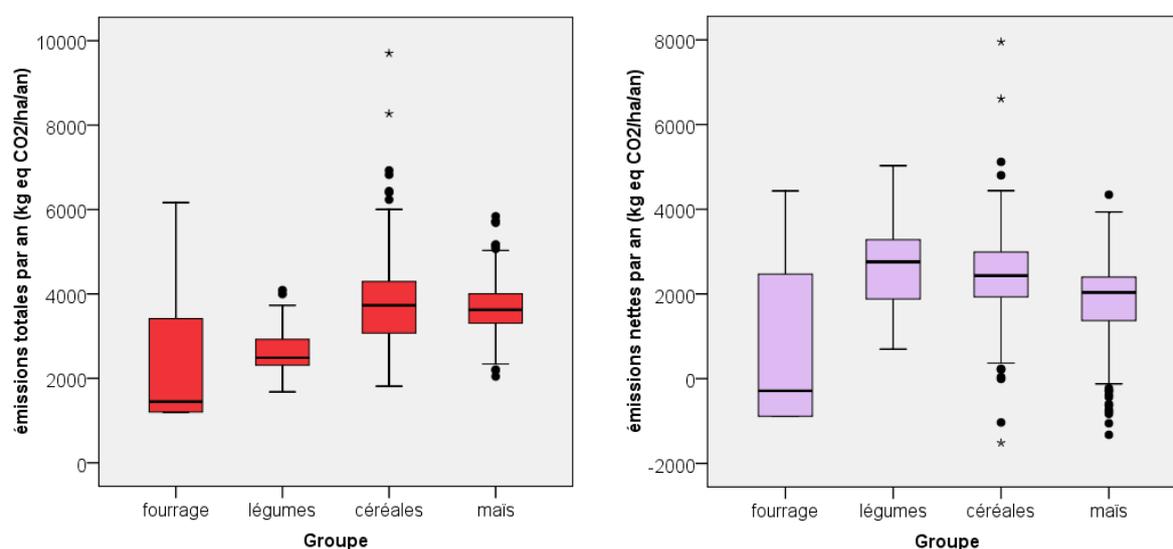


Figure 13 : Profils d'émissions des 4 groupes de SdC isolés par clustering hiérarchique. Les boîtes à moustaches montrent la médiane (trait épais dans la boîte), le 1er et 3ème quartile (limites de la boîte), les valeurs inférieures et supérieures (les traits moustaches) et les valeurs aberrantes (les points).

Tableau 2 : Emissions GES par catégorie d'émissions des différents clusters

	Cluster « Fourrage »	Cluster « Légumes »	Cluster « Céréales »	Cluster « Maïs »
Nombre de SdC	115	57	184	297
Hectares cumulés	816	316	1113	26486
Emissions (kg éq CO <sub>2</sub> /ha/an)				
Directes de N <sub>2</sub> O au champ	618	817,6	1019,0	1093,3
Directes de CO <sub>2</sub> dues à la chaux et à l'urée	4,3	25,7	47,8	119,6
Indirectes au champ	233,7	251,6	372,6	402,5
Dues à la mécanisation (avec irrigation)	408,0	522,9	554,8	702,2
En amont dues aux intrants	974,1	754,1	1827,1	1372,0
<b>Total des émissions brutes</b>	<b>2275,4</b>	<b>2611,6</b>	<b>3837,4</b>	<b>3692,8</b>
Dues au stockage de Corg sur 30 ans	-1564,3	49,7	-1416,7	-1867,5
<b>Total des émissions nettes</b>	<b>711,0</b>	<b>2661,3</b>	<b>2420,8</b>	<b>1825,3</b>
Variations du stockage de Corg sur 30 ans (kg Corg/ha/an)	426,6	-13,6	386,4	509,3

### 3.2. Scénarios testés

#### Atelier « Grandes Cultures »

Pendant la première réunion de co-conception, le groupe avait identifié trois systèmes de culture qui pourraient faire l'objet d'une analyse approfondie. Enfin, un système de culture de référence a été choisi et a fait l'objet d'un diagnostic avant de passer à l'étape de co-conception des pratiques alternatives pour limiter les émissions GES. Le diagnostic a été fait à partir des données d'une parcelle réelle de l'un des agriculteurs du groupe de travail.

Le système de référence choisi est une rotation en conduite conventionnelle de Soja – Blé – 3 x Maïs grain sur un sol superficiel caillouteux de la Hardt en situation d'irrigation. Ce système est assez représentatif des systèmes de culture du secteur des sols superficiels de la Hardt avec la dominance de maïs grain dans la rotation et l'irrigation systématique en lien avec la très faible réserve utile de ces sols.

#### Résultats du diagnostic du SdC de référence

Le stock initial de Corg sur 30 cm correspondant au type de sol du système est plutôt faible (37 t Corg/ha). L'estimation de l'évolution du stock suggère qu'au bout de 30 ans, il devrait atteindre environ 49 t Corg/ha, ce qui correspond à un taux de stockage de +0,4 t Corg/ha/an en moyenne. L'objectif du 4p1000 étant d'augmenter chaque année de 0,4% le stock, cela signifierait +0,16 t Corg/ha/an. Ainsi, le système initial atteint déjà cet objectif.

Le SdC de référence émet 3,9 t éq CO<sub>2</sub>/ha/an en brut. Nous pouvons retrouver les mêmes tendances qu'à l'échelle du territoire : les émissions principales ont lieu en amont du système et sont liées aux intrants (36%), notamment aux engrais azotés minéraux (74% des 36%). Les émissions de N<sub>2</sub>O au champ représentent également une part importante du bilan (28%, dont 88% liés à l'N minéral). Ensuite, les émissions dues à la mécanisation, les émissions indirectes et les émissions liées à la transformation de l'urée sont responsables de respectivement 24, 9 et 3% du total. L'irrigation est la principale source des émissions de mécanisation (53% de ce poste). Le stockage du Corg permet de compenser 38% des émissions. Ainsi les émissions nettes de GES du SdC initial sont de 2,4 t éq CO<sub>2</sub>/ha/an (Figure 14).

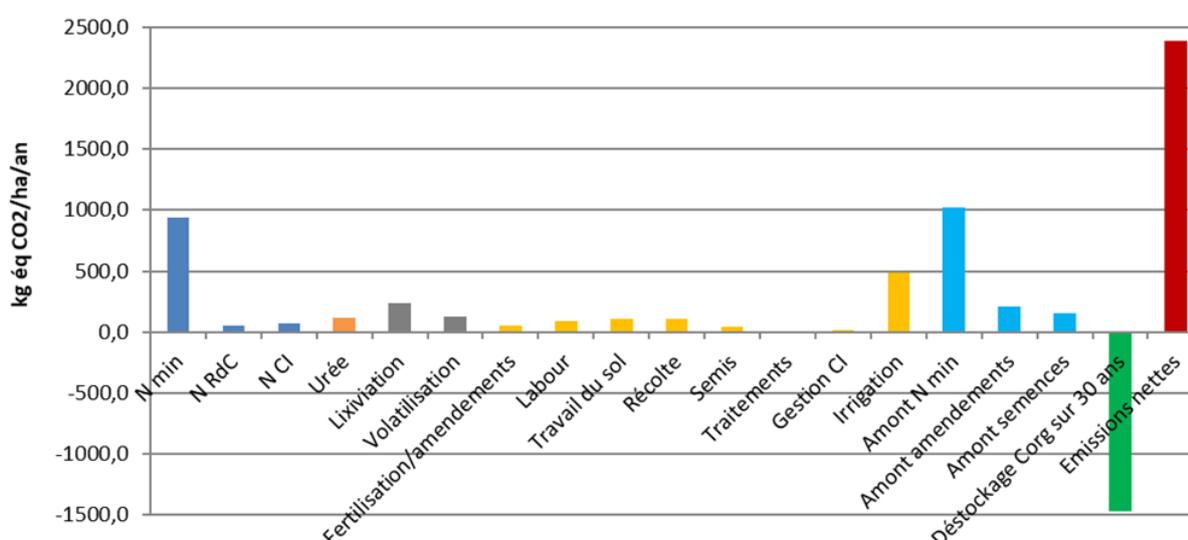


Figure 14 : Diagnostic ABC'Terre du SdC de référence « Grandes Cultures ».

### Les scénarios testés

Le groupe de travail s'est mis d'accord sur les leviers d'action mobilisables dans les scénarios. Le tableau 3 liste ces leviers d'actions mis en œuvre dans les scénarios en « rupture » et de « court terme » et il précise les effets attendus de chacun de ces leviers.

**Tableau 3 : Récapitulatif des principaux leviers d'action identifiés lors des ateliers de co-conception**

Leviers explorés	Effet(s) attendu(s)
<b>Scénarios en rupture</b>	
Planter des cultures intermédiaires entre chaque culture <ul style="list-style-type: none"> <li>• Féverole après céréale<sup>2</sup></li> <li>• Ray-grass sous couvert de maïs</li> </ul>	Augmentation du stockage de Corg Diminution des émissions liées à la fertilisation minérale
Insérer 3 ans de légumineuse pérenne (luzerne) entre 2 maïs	Diminution des émissions liées à la fertilisation minérale
Remplacer le soja par une légumineuse moins exigeante en eau <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lentille</li> </ul>	Diminution des émissions liées à l'irrigation
Remplacer le blé tendre par une céréale moins exigeante en N <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orge d'hiver</li> </ul>	Diminution des émissions liées à la fertilisation minérale
Intégrer des cultures bas-intrants <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chanvre, lin, tournesol</li> </ul>	Diminuer des émissions liées à la fertilisation minérale et à l'irrigation
<b>Scénarios de court-terme</b>	
Planter des cultures intermédiaires entre chaque culture <ul style="list-style-type: none"> <li>• Féverole après céréale</li> <li>• Ray-grass sous couvert de maïs</li> </ul>	Augmentation du stockage de Corg Diminution des émissions liées à la fertilisation minérale
Simplification du travail du sol après le soja et la céréale	Diminution des émissions liées au labour et augmentation de la teneur en Corg en surface pour améliorer la fertilité du sol
Déplacer le soja entre 2 maïs	Diminution des émissions liées à la fertilisation minérale du maïs
Supprimer la céréale pour passer en système maïs/soja en strip-till	Diminution des émissions liées au labour Augmentation du stockage de Corg Diminution des émissions liées à la fertilisation par l'ammonitrate

Pour les **scénarios en rupture**, en enlevant toutes les contraintes de filières, de disponibilité de nouvelles techniques, de nouveau matériel, les principales pistes explorées lors de la discussion du groupe pour améliorer le bilan du SdC initial ont été (Tableau 3) :

- La maximisation de la couverture du sol en implantant davantage de cultures intermédiaires, dans l'optique d'augmenter le stockage de Corg et de réduire la fertilisation azotée des cultures principales (effet fourniture d'N).
- L'allongement de la durée de la succession pour intégrer une légumineuse pérenne et diminuer les besoins en intrants azotés.
- Le remplacement du blé tendre par une céréale d'hiver moins exigeante en N, afin de réduire les apports en ammonitrate
- L'intégration de cultures bas-intrants pour diminuer les émissions liées à l'irrigation et à la fertilisation.

<sup>2</sup> En pratique, il faudrait associer la féverole à une autre culture (par exemple le Niger, une culture gélive) car la Directive Nitrates interdit une culture intermédiaire en légumineuse pure sur la zone concernée (CAA 2019).

Pour les **scénarios de court-terme**, les agriculteurs ont proposé des actions qui pourraient être mises en place d'ici 1 à 2 ans. Ils suggèrent ainsi de nouveau l'implantation de cultures intermédiaires entre chaque culture. La réduction du travail du sol est également explorée, mais seulement après le soja et le blé au vu de la difficulté de gestion des cannes de maïs. Les agriculteurs ont également souhaité explorer la possibilité de changer la place du soja dans la succession afin de bénéficier de sa fourniture d'azote pour diminuer la fertilisation du maïs, et de supprimer le blé de la rotation pour ne plus utiliser d'ammonitrate. Il a été mentionné que cela ferait tout de même perdre l'avantage de l'alternance culture hiver/printemps qui permet de rompre le cycle des adventices (Tableau 3).

Pour élaborer des scénarios de SdCi, un certain nombre d'hypothèses ont été posées. Les détails de ces hypothèses sont consultables dans le mémoire de stage M2 de Fanny Le Gloux (Annexe 1 : Mémoire de fin d'étude de Fanny Le Gloux « Optimiser le stockage du carbone dans les sols agricoles et limiter les émissions de GES à l'échelle des systèmes de culture d'un territoire de la Plaine d'Alsace », 2019). En voici quelques éléments importants : pour les cultures intermédiaires, sur le type de sol concerné (sol superficiel caillouteux, assez argileux), le labour est fait à l'automne pour bénéficier de l'action du gel qui fragmente les mottes et peut difficilement être envisageable au printemps (expertise CRAGE). Ainsi, si la culture suivante est labourée, la destruction du couvert sera précoce. S'il n'y a plus de labour, alors on opte pour une destruction tardive au printemps. Toujours à dire d'expert, on pose l'hypothèse qu'une destruction tardive implique un tour d'eau de 30 mm supplémentaire (risque d'assèchement du sol). De plus, on suppose que la destruction a été faite correctement et qu'il n'y a pas besoin de désherbage supplémentaire pour la culture suivante. Pour le non labour avant le blé, on suppose que cela implique de désherber davantage (+0,3 passages d'herbicide) (Chapelle-Barry 2008). Pour le système sans blé et en strip-till, il est difficile de poser une hypothèse sur l'évolution du désherbage : d'un côté, cela peut augmenter le nombre de passages (non labour) mais les traitements seraient plus localisés (Brun, Ray, Légère 2013). Ainsi, nous ne paramétrons pas de changement. Lors d'un atelier, le lin fibre a été proposé comme culture bas-intrant. Cependant, cette culture est sensible aux chocs climatiques et n'est donc pas adaptée au climat alsacien. Ainsi, nous modéliserons le lin grain, qui résiste mieux aux variations de températures (BLEZAT Consulting 2016a). Enfin, on suppose les rendements constants pour les cultures qui étaient déjà dans le système initial. En effet, il est difficile de faire une prédiction (évolution des variétés, impact du changement climatique, maîtrise des nouvelles techniques).

### Ateliers « Elevage » et « Agriculture biologique »

Les résultats du premier atelier ont été discutés lors du comité de suivi local du 25 septembre 2019. Le comité a décidé qu'il était utile de s'intéresser à l'analyse de systèmes de culture très différents du système dominant des maïsiculteurs, même s'ils représentent de faibles surfaces dans le territoire. Cette analyse pourrait aider à comprendre les déterminants des émissions selon la situation de l'agriculteur (type d'exploitation, type de sol, choix des pratiques agricoles), et ainsi permettre d'identifier des principes généraux d'action pour limiter les émissions des GES. Le comité a souhaité effectuer des ateliers de co-conception pour des systèmes de culture des **éleveurs** et des systèmes en **agriculture biologique**.

#### Résultats des diagnostics des SdC

Beaucoup de participants agriculteurs étaient intéressés par un diagnostic d'un de leurs systèmes de culture. Le tableau 4 résume les systèmes de culture analysés avec l'outil de calcul ABC'Terre (couplant Simeos-AMG et le bilan GES des SdC) pour le diagnostic des émissions GES. La première ligne reprend, comme repère, le système de culture « Grandes Cultures » (GC) analysé en détail dans le premier atelier.

Tableau 4 : Récapitulatif des systèmes de culture analysés dans les ateliers « élevage » et « agriculture biologique ».

N°	Type d'exploitation	Conduite	Rotation
GC	Céréaliier	Conventionnelle, labour	Soja(46q)-Blé d'hiver(88q)-3xMaïs grain(150q)
	260 uN pour Maïs et 225 uN pour blé, pas de PRO, 230-260 mm d'irrigation sur maïs et soja, 120mm sur betterave. Sol à % argile, ?% de MO		
1	élevage engraisseur	Conventionnelle, labour	3xMaïs fourrage(18t MS)-Blé d'hiver(80q)-Betterave sucrière(100q)
	110 uN pour Maïs et blé, 35t de fumier par an sur Maïs et blé, 150mm d'irrigation sur maïs et betterave. Sol à 30% argile, 2,8% de MO		
2	élevage engraisseur	Conventionnelle, labour	Blé d'hiver(80q)-Betterave sucrière(100q)-Maïs fourrage(130q)-2xMaïs grain(100q)
	150 uN pour maïs et blé, 25/30t de fumier par an sur Maïs et blé, 50 à 75mm d'irrigation sur maïs et betterave. Sol à 40% argile, 4,1% de MO		
3	non-classé	Conventionnelle, labour	Méteil(15,6t MS)-Maïs grain(100q), 2 récoltes par an
	130uN pour maïs, 8t d'un mélange de fumier et compost par an sur méteil, 100 mm d'irrigation sur maïs. Sol à 33% argile, 4,0% de MO		
4	céréaliier/marachier	Agriculture biologique, labour	2xLuzerne(10tMS)-Mg(90q)-Pois protéa(35q)-Blé(45q)-Lentille(15q)-Colza+légumi(25q)-Orge de print.(40q)
	12t de compost de fumier de volailles sur Mg et Colza, 125mm d'irrigation sur Mg, 25mm sur le reste. Sol à 18% d'argile, 1,6% de MO		
5	polyculture-élevage	Agriculture biologique, TCSL	Graminées+légumineuses(8t MS)-Blé d'hiver(40q)-Mg(40q)-Triticale(45q)-Soja(20q)-Orge d'hiver(30q)
	20t de fumier de bovin par an sur chaque culture + 40uN en bouchon organique sur Mg et blé d'hiver. 125mm d'irrigation sur Mg et Blé d'hiver. Sol à 35% d'argile, sol à 3,4% de MO		

Les résultats des diagnostics de ces SdC sont présentés dans la Figure 15. Les systèmes conventionnels ont tous des profils d'émissions brutes assez comparables, autour de 4 T éq /ha/an. La répartition des postes varie selon les apports en PRO et en engrais minéraux, et le poids de l'irrigation est aussi assez variable. Les systèmes en conventionnel se différencient surtout par les quantités des émissions compensées par stockage du carbone dans les sols : ainsi, les systèmes des éleveurs avec des apports importants en PRO stockent beaucoup plus de carbone que le système du céréaliier en grande culture. C'est pourquoi le bilan final en émissions nettes des GES est favorable pour les éleveurs, et nettement plus élevé pour le céréaliier. **Mais attention, il s'agit ici uniquement des pertes des GES liés à la gestion des parcelles agricoles. Les émissions des GES liées à la production animale, tels que pertes d'ammoniac pendant le stockage des déjections animales, ou les pertes liées aux intrants spécifiques à l'élevage (alimentation, antibiotiques...), ne sont pas prises en compte.** Des conclusions plus justes ne peuvent être formulées que sur la base d'un bilan complet à l'échelle des exploitations d'élevage.

Les systèmes en agriculture biologique se caractérisent par des émissions brutes beaucoup plus faibles (autour de 2 T éq CO<sub>2</sub>/ha/ha) que celles des systèmes en conventionnel (autour de 4 T éq CO<sub>2</sub>/ha/ha). Ceci est surtout lié à l'absence d'engrais minéraux dans ces SdC. Les émissions compensées en AB via le stockage de C dans les sols sont plus faibles qu'en système conventionnel des éleveurs, mais plus élevées que pour le céréaliier « grandes cultures ». Les émissions nettes des GES des systèmes en AB analysés sont très faibles.

#### Les scénarios produits en co-conception

Dans les ateliers, les participants ont travaillé sur des scénarios pour les **systèmes n° 1 (élevage en conventionnel) et n° 5 (polyculture élevage en AB)**. Il n'y avait pas assez de temps pour établir des scénarios pour tous les systèmes de culture diagnostiqués.

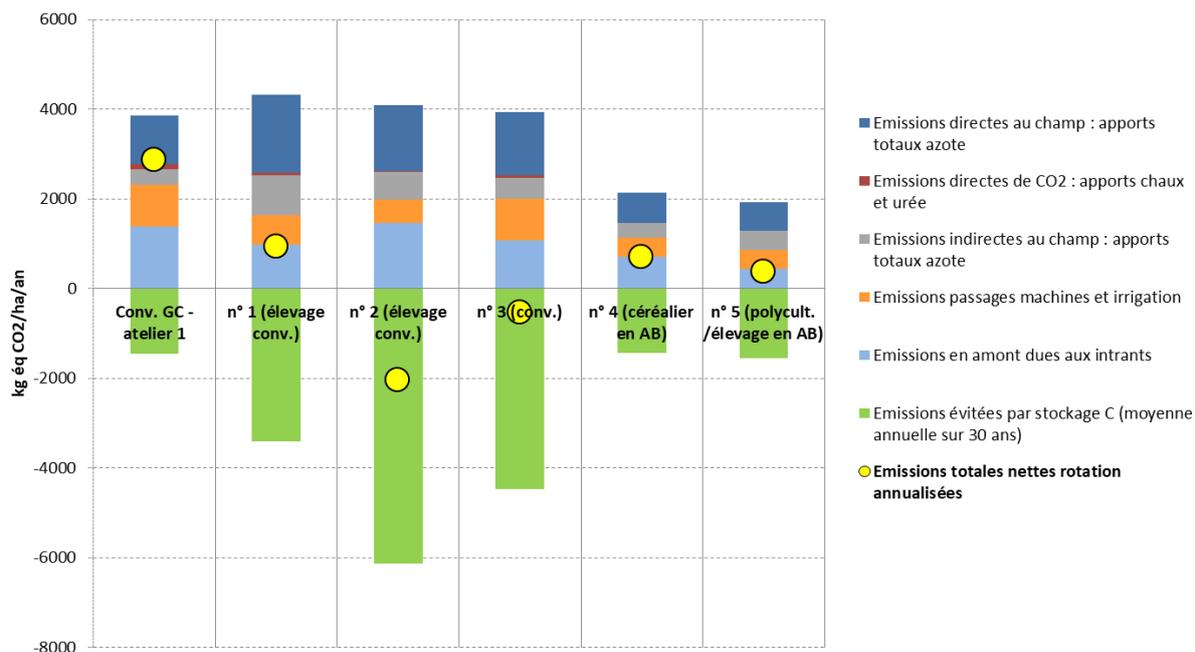


Figure 15 : Diagnostic ABC'Terre des systèmes de culture des ateliers « élevage » et « agriculture biologique ».

Les scénarios construits en co-conception pour les systèmes « élevage » et « agriculture biologique » sont résumés dans les cadres ci-dessous. Pour chaque scénario, les effets attendus sont indiqués.

#### Scénarios pour le système de culture "élevage" (n° 1)

Caractéristiques principales : Conventuel, Labour, Irrigation, fertilisation organique, sol à 30% argile et 2,8%MO

**Rotation 1 « Référence » :** 3xMaïs fourrage(18t MS=130q)→Blé d'hiver(80q)→ Betterave sucrière(100q)

~110 uN pour Maïs, 120uN pour blé, 20uN pour betterave. 35t de fumier par chaque culture. 150mm d'irrigation sur maïs et betterave, 25mm sur blé. Culture intermédiaire (CI) entre blé et betterave. 1 passage pulvé sur maïs, 1,5 sur blé, 8 sur betterave.

**Rotation 2 « Sorgho » :** MaïsF (18t MS)→Sorgho(16tMS)→MaïsF(18t)→Blé d'hiver(80q)→Betterave sucrière(100q)

~100 uN pour Maïs et blé, 0uN pour betterave, 0uN Sorgho. 35t de fumier par an sur chaque culture. 150mm d'irrigation sur maïs et betterave, 25mm sur blé, 90mm sur sorgho. Culture intermédiaire (CI) entre Maïs et sorgho, sorgho et Maïs, blé et betterave. 1 passage pulvé sur maïs et sorgho, 1,5 sur blé, 8 sur betterave. **Objectifs :** réduire les émissions liées aux apports azote minéral (aucun apport sur sorgho et betteraves, réduction sur maïs, blé et betteraves), réduire l'irrigation (sorgho < maïs), stocker plus de carbone dans le sol via les cultures intermédiaires.

**Rotation 3 « 3x Luzerne » :** Blé d'hiver(80q)→ 3xLuzerne (6,6t MS année 1; 13,2t MS année 2 et 3, 4 fauches)→ 3xMaïs fourrage(18t MS)→ Betterave sucrière(100q)

~110 uN pour blé, 60uN pour maïs, 0uN pour betterave. 35t de fumier par an sur Maïs, blé et betterave, 17,5t de fumier sur année 2 et 3 de luzerne. 150mm d'irrigation sur maïs et betterave, 25mm sur blé, 120mm sur luzerne. Culture intermédiaire (CI) entre blé et betterave. Culture dérobée (Météil) entre les Maïs. 1 passage pulvé sur maïs (1 passage en plus de glyphosate sur maïs suivant la luzerne), 1,5 sur blé, 8 sur betterave, 0 sur luzerne. **Objectifs :** réduire les émissions liées aux apports azote minéral et organique (3x luzerne dans la rotation sans apport de Nmin et moins de Norganique et fixation d'azote car légumiseuse, réduction doses sur maïs et betteraves), stocker plus de carbone dans le sol avec la luzerne et le méteil entre les maïs.

**Rotation 4 «2x Blé, Sorgho et Colza » :** MaïsF (18t MS)→Sorgho(16tMS)→MaïsF(18t)→Blé d'hiver (80q)→Colza (35q)→Blé d'hiver(80q)→Betterave sucrière(100q)

~110 uN pour Maïs, 120uN pour blé, 20uN pour betterave, 0uN pour Sorgho, 60uN pour Colza . 35t de fumier par an sur chaque culture 150mm d'irrigation sur maïs et betterave, 25mm sur blé, 90mm sur sorgho. Culture intermédiaire (CI) entre Maïs et sorgho, sorgho et Maïs, blé et betterave. 1 passage pulvé sur maïs et sorgho, 1,5 sur blé, 8 sur betterave et 3 sur colza. **Objectifs :** réduire les émissions liées aux apports azote minéral (aucun apport sur sorgho, faible dose sur colza), réduire l'irrigation (sorgho < maïs), stocker plus de carbone dans le sol via les cultures intermédiaires.

### Scénarios pour le système de culture "Agriculture biologique" (n° 5)

Caractéristiques principales : Bio, Non-labour, Irrigation sur maïs et soja, fertilisation organique, sol à 35% argile et 3,4%MO

→ Les systèmes comparés sont quasi-identiques, avec 1 modification par scénario par rapport au système initial

**Système de culture (SdC) 1 « Référence »:** 3xGraminées+légumineuses(8t MS; 4 fauches)→Blé d'hiver(40q)→Mg(40q)→Triticale(45q)→Soja(20q)→Orge d'hiver(30q)

20t de fumier de bovin par an sur chaque culture + 40uN en bouchon organique sur Maïs et blé d'hiver. 125mm d'irrigation sur Mg et Blé d'hiver. Culture intermédiaire (CI) entre blé et maïs puis entre triticale et soja. Travail du sol superficiel assez conséquent ( 2à3 passages de déchaumage et/ou herse étrille et/ou bineuse sur la plupart des cultures).

**SdC 2 « Rdt+ »: Même système avec rendement de augmentés**

Blé : 50q au lieu de 40q.

Maïs : 80q au lieu de 40q

Soja : 30q au lieu de 20q

Objectifs : augmenter le stockage de carbone dans le sol via des rendements et des retours au sol plus élevés.

**SdC 3 « Compost »:** Même système avec utilisation de 10t de compost de fumier bovin au lieu de 20t de fumier bovin chaque année, sur chaque culture

Objectif : tester l'incidence sur les émissions de l'utilisation d'un fumier composté au lieu d'un fumier frais.

**SdC 4 « Sans bouchons »:** Même système sans les 40uN en bouchon organique sur Maïs et blé. Objectif : tester l'incidence de cette suppression des bouchons organiques.

**SdC 5 « Chanvre »:** 3xGraminées+légumineuses(8t MS; 4 fauches)→Blé d'hiver(40q)→Mg(40q)→Triticale(45q)→Soja(20q)→Chenevis (Chanvre)(10q)→ Orge d'hiver(30q)

Ajout d'un chanvre dans la rotation avec le même ITK que le maïs. Le reste du système ne change pas (même rendement, même ITK...). Objectif : tester l'impact du chanvre sur les émissions et le stockage du carbone.

**SdC 6 « Moins d'irrig »:** Même système avec moins d'irrigation : 100mm sur maïs et soja au lieu de 150mm. Le reste du système ne change pas (même rendement, même ITK...). Objectif : tester la sensibilité des émissions à une réduction de l'irrigation (pas forcément une réduction réaliste et faisable !)

Le diagnostic des systèmes de culture en agriculture biologique a montré que leurs émissions étaient déjà très faibles. La marge de progrès est certainement faible. Ainsi, nous avons décidé de tester pour chaque scénario l'effet d'une seule modification. Les modifications testées ne sont pas forcément réalisables ou pertinentes, mais sont conçues pour apporter des informations et améliorer la compréhension des déterminants du bilan des GES.

### 3.3. Comparaison des scénarios

#### Atelier « Grandes cultures »

##### Scénarios de court terme

Les figures 16 et 17 montrent les résultats du bilan GES pour les scénarios « Grandes Cultures, court terme ». On observe que les scénarios de court terme augmentent à la fois les émissions brutes et la compensation des émissions par le stockage du carbone dans le sol. Au final, pour 4 des 5 scénarios les émissions nettes des GES ne changent quasiment pas, et pour un scénario (« sans blé et avec strip-till ») une réduction de 17% est obtenue. L'objectif de réduction de 37% n'est pas atteint avec les scénarios de court terme. Ceci ne veut pas dire les leviers d'action imaginés dans cet atelier n'ont pas d'intérêt : la Figure 17 montre une augmentation comprise entre 21 et 65 % du stockage de carbone par rapport au SdC initial. Ceci peut avoir des avantages agronomiques non négligeables.

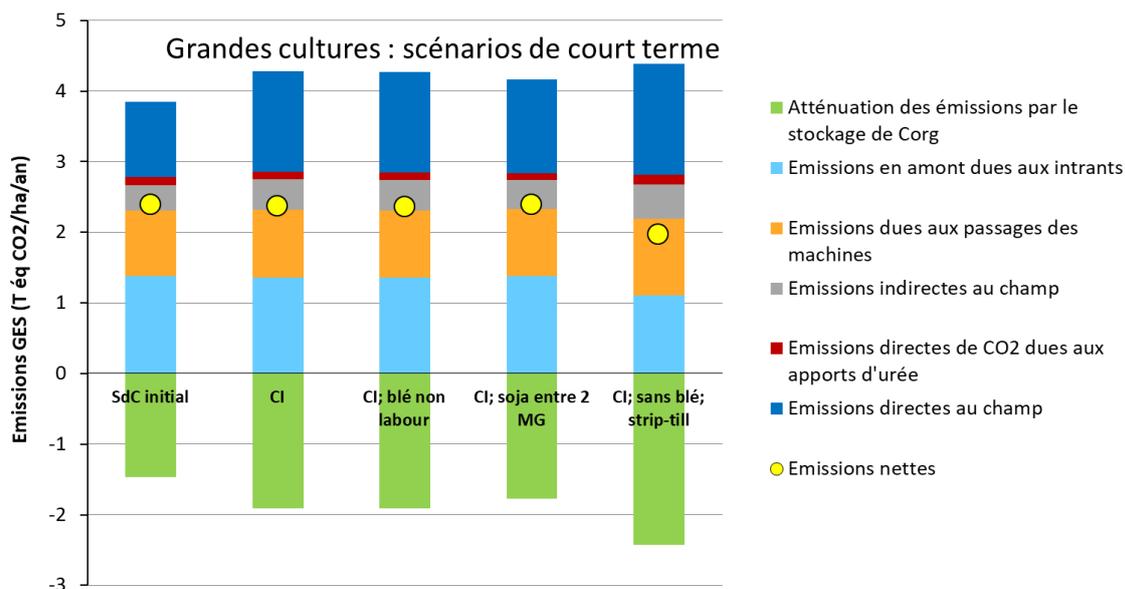


Figure 16 : Bilan GES des scénarios « Grandes Cultures, court terme ».

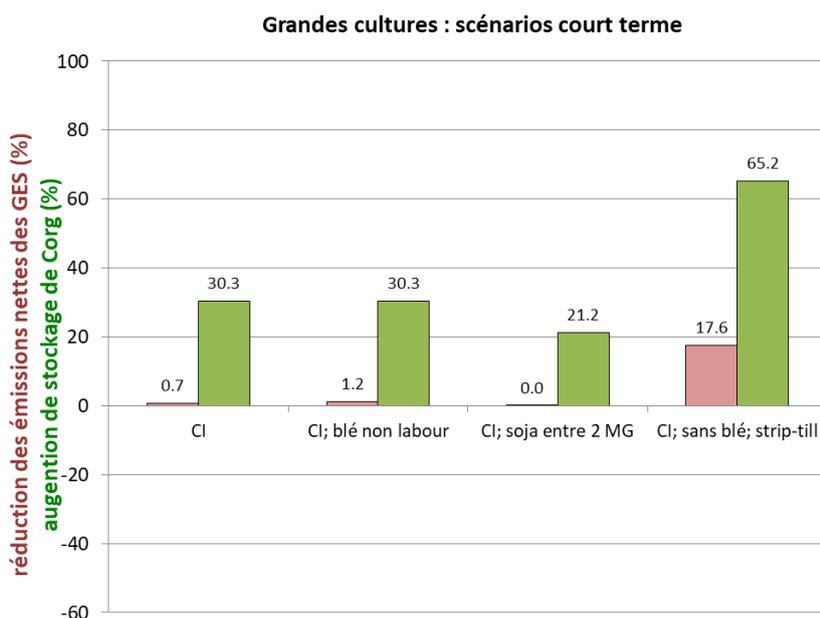


Figure 17 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « Grandes Cultures, court terme » par rapport au SdC initial.

L'évaluation multicritères montre que :

- l'introduction des couverts systématiques entre les cultures augmente les charges, et par conséquent les marges semi-nettes diminuent d'environ 6 % pour les scénarios de court terme
- le temps de travail augmente d'environ 0.5 à 1h/ha/an

- l'IFT n'est pas modifié et reste très faible (1.6)
- la note « I-phy - eaux profondes » ne change pas et reste très bonne à 9.1
- la maîtrise des pertes des nitrates par lessivage est problématique pour le système initial et également pour les scénarios de court terme (environ 60 kg/ha/an).

### Scénarios de rupture

Les figures 18 et 19 montrent les résultats du bilan GES pour les scénarios « Grandes Cultures, de rupture ».

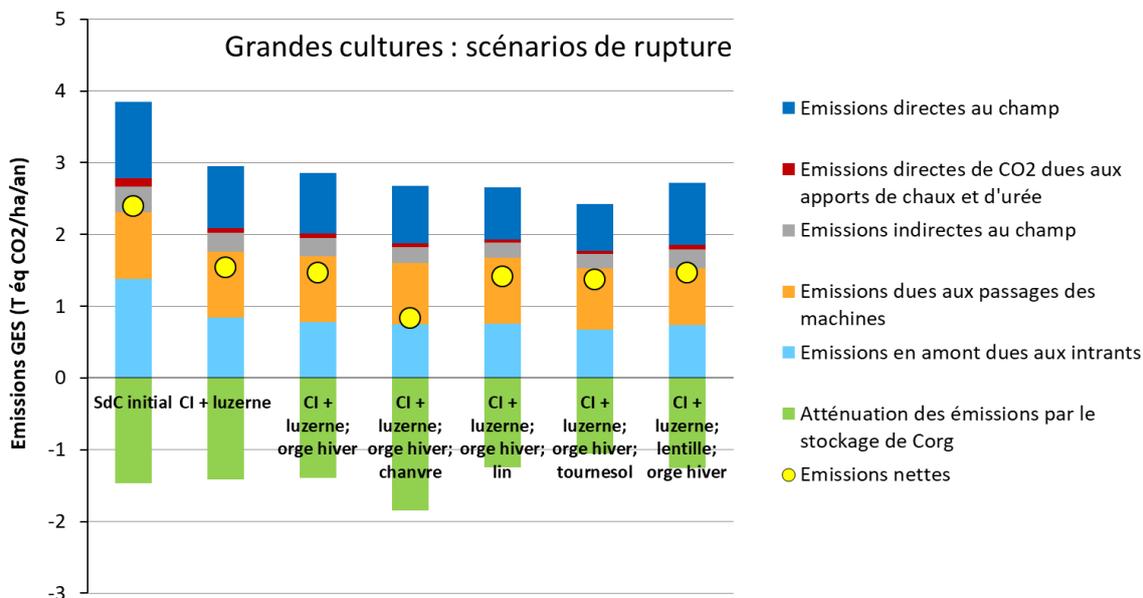


Figure 18 : Bilan GES des scénarios « Grandes Cultures, rupture ».

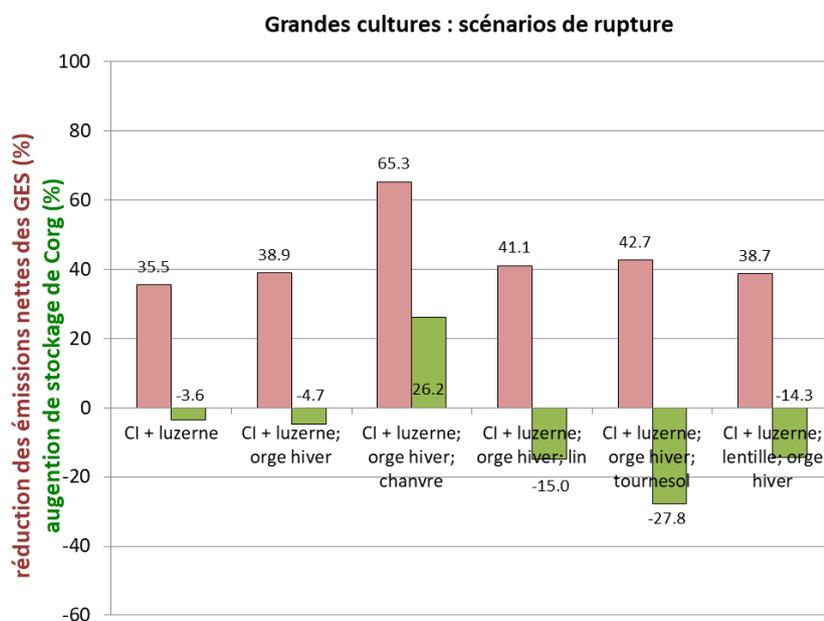


Figure 19 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « Grandes Cultures, rupture » par rapport au SdC initial.

On observe que les scénarios de rupture diminuent fortement les émissions brutes tandis que le stockage du carbone dans le sol est (légèrement) réduit à l'exception du scénario « chanvre » qui montre une augmentation du stockage de carbone. Au final, pour 5 des 6 scénarios les émissions nettes des GES sont réduites d'environ 40%, et pour un scénario (« chanvre ») une réduction de 65% est obtenue. L'objectif de réduction de 37% est donc atteint avec les scénarios de rupture qui reposent tous sur l'introduction de 3 ans de luzerne dans la rotation. Ceci montre que la maîtrise efficace des émissions des GES pour ce SdC Grandes Cultures passe par une autonomie d'azote augmentée. L'introduction des légumineuses dans la rotation est un moyen pour y arriver.

L'évaluation multicritères montre que :

- l'introduction des couverts systématiques entre les cultures et de 3 années de luzerne dans la rotation *réduit les marges semi-nettes de façon très significative*. On obtient une diminution d'environ 17% pour les scénarios de rupture
- le temps de travail augmente d'environ 0.7h/ha/an
- l'IFT est encore plus faible pour les scénarios de rupture (1.1 au lieu de 1.6 pour le SdC initial)
- la note « I-phy - eaux profondes » ne change pas et reste très bonne à 9.1
- la maîtrise des pertes des nitrates par lessivage s'améliore fortement. *Les pertes de nitrates sont réduites de 45 à 60% par rapport au système initial.*

On peut dire que les scénarios de rupture sont d'excellents systèmes pour l'environnement mais pas pour le portefeuille de l'agriculteur. Les pertes économiques sont importantes, ce qui pose problème pour leur mise en œuvre.

#### Atelier « Elevage »

Les figures 20 et 21 montrent les résultats du bilan GES pour les scénarios « SdC élevage ». Le SdC initial est caractérisé par des émissions brutes élevées (4.3 T éq CO<sub>2</sub>/ha/an) compensées par un très fort stockage de carbone dans le sol (3.4 T éq CO<sub>2</sub>/ha/an). Par conséquent, les émissions nettes des GES sont déjà faibles (proche de 1 T éq CO<sub>2</sub>/ha/an).

On observe que les scénarios testés diminuent tous les émissions nettes. Les réductions vont de 40 à 60%. Pour deux des scénarios, c'est principalement lié à l'effet du sorgho qui remplace un maïs dans la rotation. Ceci diminue les doses d'azote minéral et augmente le stockage du carbone dans le sol. Le sorgho semble donc une piste intéressante pour limiter les émissions des GES, et il diminue également les besoins en eau. Cette piste pourrait également intéresser les céréaliers.

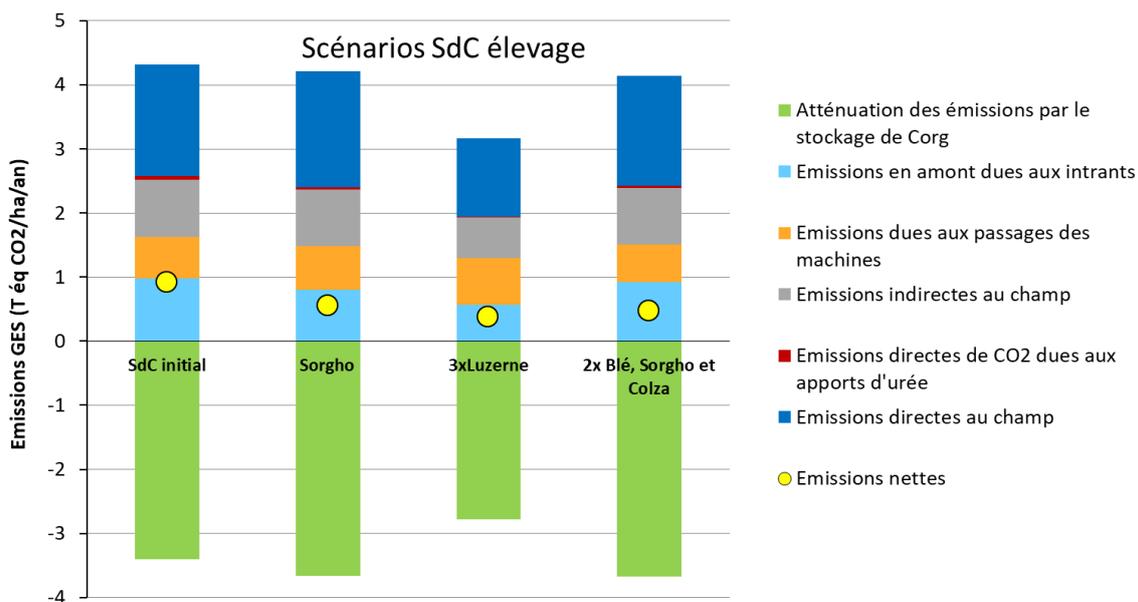


Figure 20 : Bilan GES des scénarios « SdC élevage ».

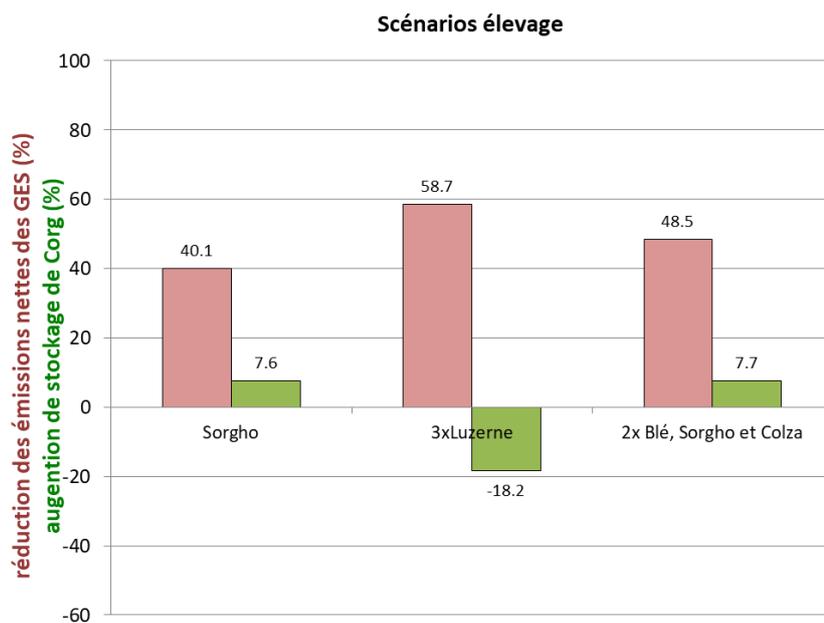


Figure 21 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « SdC élevage » par rapport au SdC initial.

Le scénario « 3xluzerne » a des effets qui sont comparables à ceux des scénarios de rupture pour les grandes cultures : diminution forte des émissions brutes et diminution du stockage de carbone dans les sols. L'effet final sur le bilan GES est très favorable (diminution des GES de 60%).

L'évaluation multicritères montre que :

- le scénario « sorgho » *augmente les marges semi-nettes de façon très significative, d'environ 30%*. L'introduction du colza et du blé ne semble pas une solution intéressante car cela réduit cette augmentation d'environ 10%. Le scénario « 3xluzerne » augmente la marge semi-nette de 14%
- le temps de travail augmente de façon importante uniquement pour le scénario « 3xluzerne » (coupes). Pour ce scénario il passe de 4 à 6 h/ha/an.
- l'IFT initialement de 3.3 reste stable, sauf pour le scénario « 3xluzerne » où il diminue à 2.5

### Atelier « Agriculture biologique »

Les figures 22 et 23 montrent les résultats du bilan GES pour les scénarios « SdC Agriculture biologique ». Le SdC initial est caractérisé par des émissions brutes très faibles et une compensation par le stockage du carbone dans le sol assez élevée. Par conséquent, les émissions nettes des GES sont déjà très faibles (proche de 0.4 T éq CO<sub>2</sub>/ha/an).

Les résultats montrent que la maîtrise des rendements (scénario Rdt +) est la piste la plus importante pour limiter encore plus les émissions des GES dans ce SdC en agriculture biologique. En effet, les rendements du SdC initial diagnostiqué sont assez faibles et l'agriculteur concerné pense qu'il est possible de les augmenter par un suivi plus précis des parcelles pour intervenir avec plus de pertinence. L'augmentation des rendements augmente le retour au sol de la biomasse et ainsi le stockage du carbone dans le sol. C'est le seul scénario testé en AB qui réduit les émissions nettes. Remplacer le fumier par du compost de fumier augmente les émissions en amont (traitement des PRO, transports) et diminue le stockage du carbone avec les doses de compost paramétrées. Ce scénario augmente fortement les émissions nettes (de 0.36 T à 0.92 T éq CO<sub>2</sub>/ha/an).

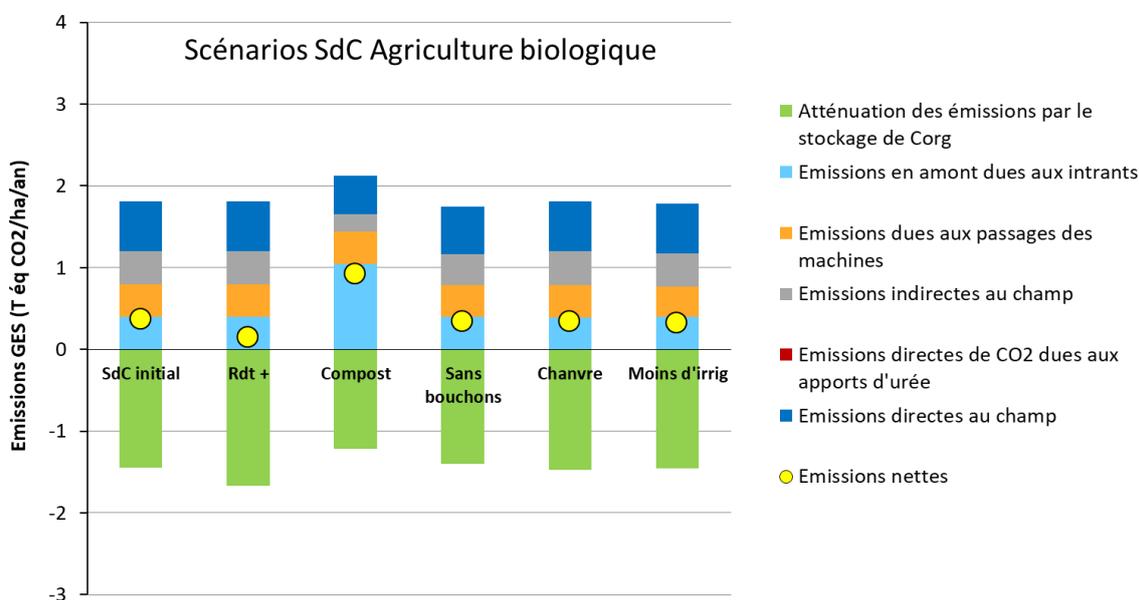


Figure 22 : Bilan GES des scénarios « SdC Agriculture biologique ».

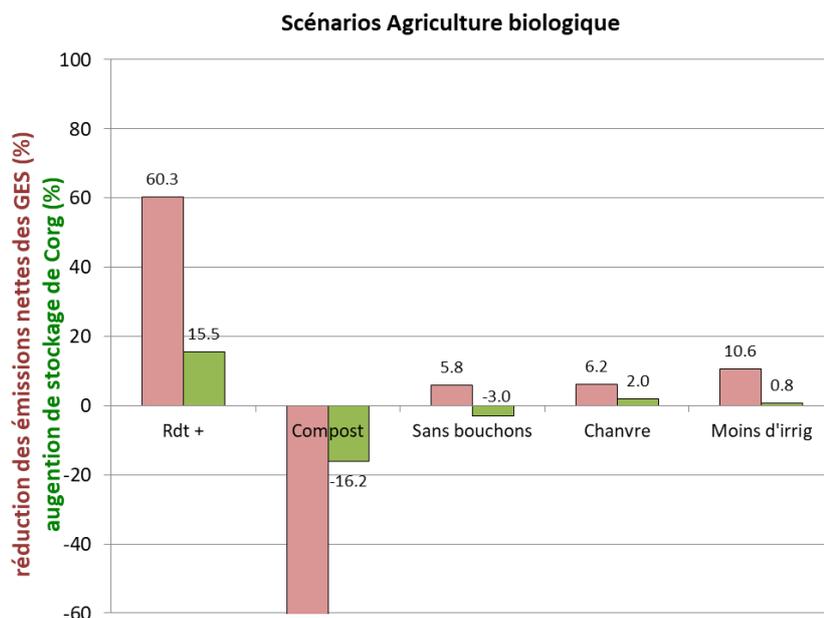


Figure 23 : Réduction des émissions GES et augmentation du stockage de carbone des sols pour les scénarios « SdC Agriculture biologique » par rapport au SdC initial.

Sans surprise, le scénario « Rdt + » *augmente les marges semi-nettes de façon très significative* d'environ 50%.

## 4. Bilan de la démarche

### 4.1. Plan d'action

L'application de la démarche d'ABC'Terre sur le territoire du PETR Rhin-Vignoble-Grand Ballon a été une expérience riche pour à la fois les animateurs de la CRAGE, les représentants du PETR, les conseillers de la Chambre d'Agriculture Alsace, et surtout pour les agriculteurs participants. Le projet a initié une dynamique positive entre les acteurs qui ont tous joué le jeu de la démarche participative. C'est grâce à cela qu'on a pu générer une base de connaissances nouvelle sur le sujet des émissions de GES en fonction des systèmes de culture et des conditions pédologiques d'un territoire, en prenant en compte le stockage du carbone dans les sols agricoles. Ce dernier aspect a suscité beaucoup d'intérêt chez les agriculteurs qui aujourd'hui sont convaincus de l'importance de prendre soin de leurs sols pour maintenir, et si possible, augmenter la santé de leurs sols et de leur potentiel de production, tout en limitant le recours aux intrants.

Les agriculteurs participants ont fait preuve d'une grande ouverture d'esprit par rapport à la recherche de solutions aux questions en lien avec le climat, la qualité des eaux et la santé des sols. L'évaluation multicritères a été pour eux un aspect essentiel dans la démarche : on ne peut pas évaluer des scénarios par rapport à un seul critère (comme par exemple les émissions des GES) si on souhaite aboutir à des *solutions efficaces, faisables et acceptables* par tous.

*Vers une diminution des émissions brutes liées aux systèmes de culture du territoire RVGB*

Le chemin vers un plan d'action est néanmoins encore long. Les résultats de cette étude suggèrent que, dans l'optique d'élaborer un PCAET efficace, il sera nécessaire de bien définir les objectifs

(émissions brutes ou nettes, quantité de Corg stockée ou part des émissions atténuées), afin de ne pas encourager des pratiques qui pourraient certes stocker davantage de Corg sur le court terme mais aussi engendrer davantage d'émissions brutes. Pour diminuer de manière significative les émissions nettes, au moins pour le SdC « Grandes Cultures » étudié, il semblerait qu'il faille encourager le développement de SdC en rupture avec les actuels et donc soutenir de nouvelles filières. Or, les résultats de l'évaluation multicritère suggèrent qu'ils ne sont pour le moment pas performants pour les aspects socio-économiques. Il sera ainsi nécessaire de penser à la manière d'amorcer cette transition et de réfléchir aux moyens de compenser la prise de risques que représente un changement de pratiques.

Les résultats du projet ABC'Terre-2A sur le territoire RVGB montrent que l'utilisation des engrais azotés est le premier poste d'émission des GES des systèmes de culture du territoire. Limiter les émissions liées à ce poste demande d'augmenter l'autonomie des productions végétales du territoire. Pour maximiser les chances de réussir ce changement, la CRAGE démarrera en 2021 un projet exploratoire nommé AVEC qui a pour objectif le montage d'un projet de recherche participative destiné au développement agricole du territoire dans le sens d'une autonomie azotée augmentée. Le projet AVEC (durée 1.5 an) est financé par l'ADEME (AAP CO3 co-construction de connaissances). La démarche est présentée dans la Figure 24 ci-dessous.

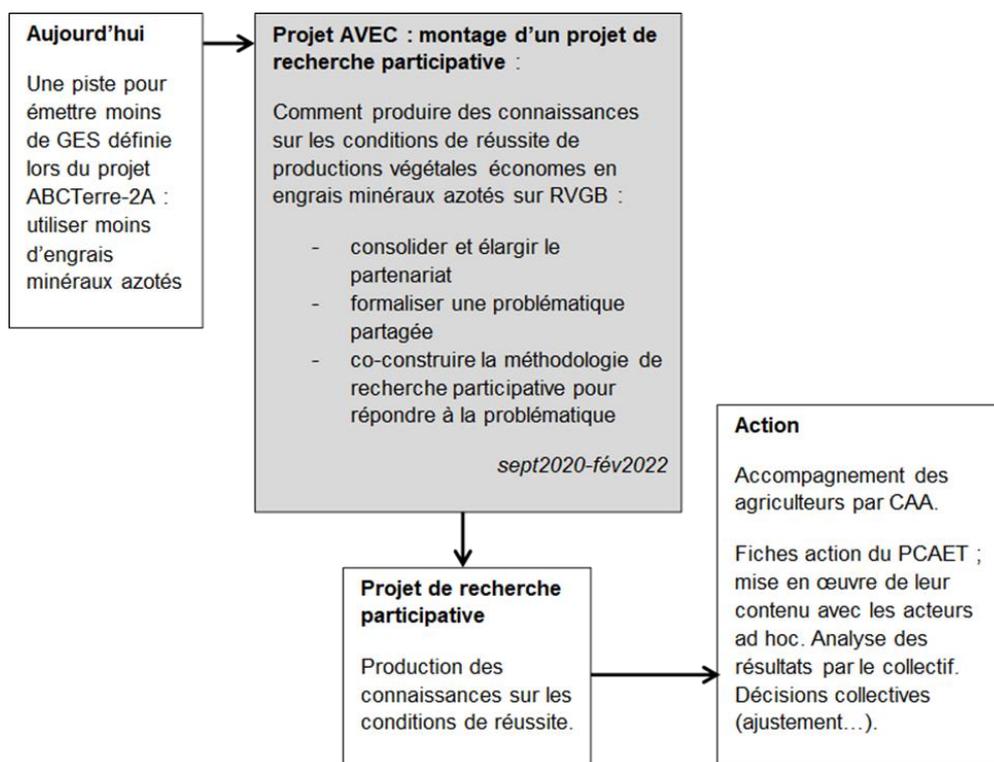


Figure 24 : La démarche du projet AVEC : monter un projet de recherche participative pour réussir des actions agricoles du PCAET.

## 4.2. Difficultés rencontrées

### Problèmes de nature pratique

#### *Constitution des groupes de co-conception*

La durée de constitution des groupes d'agriculteurs pour les ateliers de co-conception s'est révélée plus longue que prévue. Nous n'avons pas pu profiter de groupes préexistants sur ce territoire. La Chambre d'Agriculture Alsace et certains élus nous ont aidés pour trouver des agriculteurs intéressés.

#### *Disponibilité des agriculteurs*

Ce qu'on demande aux agriculteurs participants n'est pas mince : la co-conception demande beaucoup de temps aux participants, sous forme de plusieurs réunions de travail intensives. Cela a posé problème notamment au printemps et en été, des périodes peu favorables pour la participation d'agriculteurs à de tels processus de conception en groupe. Les réunions se devaient d'être courtes et de se dérouler en soirée. Ainsi, il a fallu adapter la méthode de co-conception à ce format, ce qui nécessite de travailler durant plusieurs réunions sur un même système de culture problématique. Les ateliers qui ont eu lieu en hiver ont été nettement plus faciles à organiser.

### Problème de nature méthodologique

Actuellement, le territoire semble avoir un réel potentiel de stockage de Corg dans les prochaines années. Cependant, l'augmentation des stocks de Corg a une durée limitée, le taux de stockage diminuant progressivement dans le temps pour un sol et SdC donné et un climat stable jusqu'à ce que le sol ait atteint son potentiel de stockage (après quelques dizaines d'années). Ce levier est donc pertinent et efficace pendant une période transitoire au-delà de laquelle il ne pourra plus contribuer à compenser les émissions brutes. Il est donc *indispensable d'enclencher également des actions pour limiter les émissions brutes de façon durable*. D'autant plus qu'avec l'évolution du climat, et notamment l'augmentation des températures moyennes qui accélèrera la vitesse de minéralisation, le potentiel de stockage de Corg sera nécessairement impacté. Les observations de l'évolution des températures à Entzheim, dans le département du Bas-Rhin (67), suggèrent une augmentation de la normale de 0,043°C/an entre la période 1971-2000 et 1981-2010 (expertise CRAGE). L'outil Simeos-AMG prend en compte un climat fixe (et donc une température moyenne fixe) pour estimer les variations de stockage de Corg sur 30 ans (les normales des 30 dernières années). Cela représente une limite du diagnostic car l'atténuation des émissions pour le territoire avec les SdC actuels est probablement surestimée.

Des simulations réalisées par H. Clivot (INRAe) avec le modèle AMG (version recherche) sur un SdC du territoire suggèrent qu'en prenant en compte les différents scénarios pour l'évolution des températures du GIEC, la tendance au stockage de Corg sera fortement limitée, voire inversée à terme (Figure 25). De plus, le potentiel du stockage de Corg ne porte pas uniquement sur la quantité de Corg qu'il est possible de stocker en plus. En effet, comment nous avons pu le voir avec certains SdCi, stocker moins de Corg ne veut pas dire atténuer moins en terme de % des émissions brutes. C'est par exemple le cas du SdCi intégrant du lin grain : bien que le taux de stockage de Corg soit plus faible que le SdC initial (+340 contre + 400 kg Corg/ha/an), l'atténuation des émissions GES via ce stockage est plus élevée (-47% contre -38%).

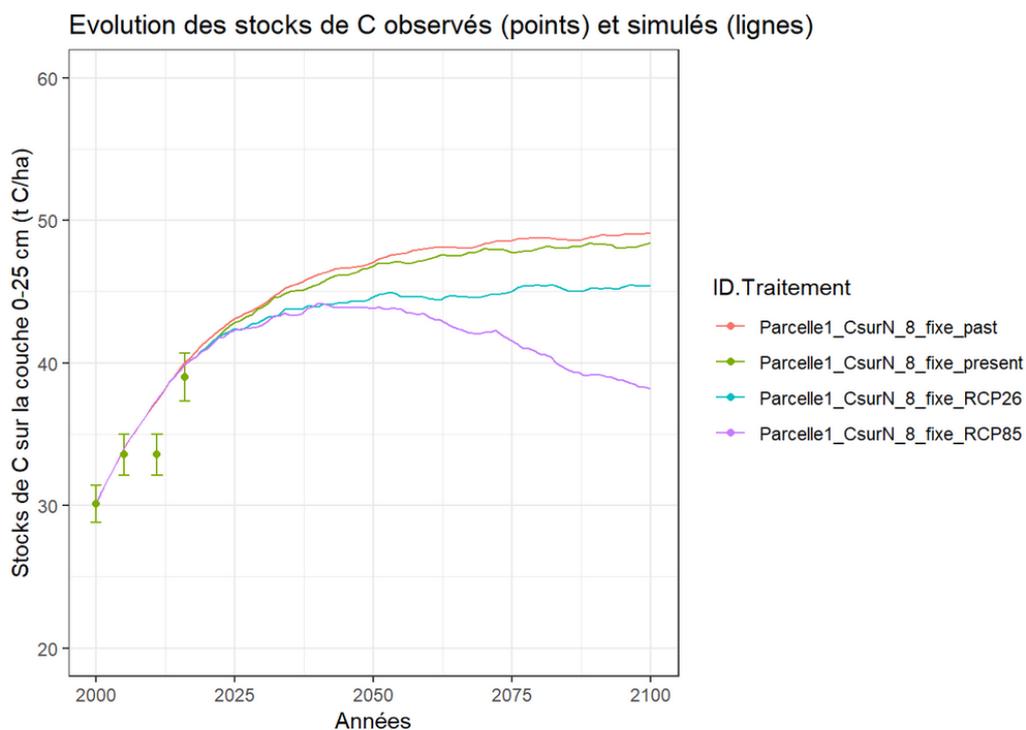


Figure 25 : Evolution des stocks de Corg d'une parcelle sous 4 climats différents (Clivot, 2019)

- past : moyenne des 30 dernières années (Temp. moyenne = 10.9 °C, bilan annuel P-ETP = -70 mm)
- present : extension des valeurs mesurées sur la période 2000-2018
- RCP26 : projection du DRIAS (<http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/175>) la plus optimiste RCP 2.6 (réduction des émissions permettant de limiter le réchauffement planétaire à 2°C en 2100)
- RCP85 : projection du DRIAS la plus pessimiste RCP 8.5 (correspond à la prolongation des émissions actuelles)

Annexe 1 : Mémoire de fin d'étude de Fanny Le Gloux « Optimiser le stockage du carbone dans les sols agricoles et limiter les émissions de GES à l'échelle des systèmes de culture d'un territoire de la Plaine d'Alsace », 2019