

# CARSOLEL

---

Méthode et référentiel sur les flux de carbone dans les sols agricoles des territoires d'élevage bovin

---

## Guide utilisateur

CarSolEI, references and calculator to count for Soil Carbon sequestration in French livestock area



Décembre  
2022

## REMERCIEMENTS

*Nous remercions tous les acteurs qui ont contribué à ce travail, et tout particulièrement les chercheurs de l'étude 4/1000, Olivier Therond et Camille Launay, ainsi que les différents agriculteurs volontaires et conseillers d'élevage associés au test de l'outil. Enfin, les membres du Comité de pilotage et organismes associés au suivi nous ont aidé par leurs retours, aux différentes productions du projet CarSolEI.*

## CITATION DE CE RAPPORT

**Guide utilisateur de l'outil Carbone Sol et Elevage (CarSolEI) : 26 pages, décembre 2022.**

### Principaux contributeurs à l'Institut de l'élevage

Chambaut H.<sup>1</sup>, Brun-Lafleur L.<sup>2</sup>, Lemeunier P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut de l'élevage, 42 Rue Georges Morel, 49070 Beaucouzé

<sup>2</sup> Institut de l'élevage, Monvoisin 35652 Le Rheu

<sup>3</sup> Institut de l'élevage, 149 rue de Bercy 75595 Paris Cedex 12

### Principaux contributeurs à l'INRAE

Graux A.<sup>1</sup>, Klumpp K.<sup>2</sup>, Martin R.<sup>2</sup>, Vertès F.<sup>3</sup>, Chabbi A.<sup>4</sup>, Puche N.<sup>4</sup>, Théron O.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> INRAE, Institut Agro, UMR Pegase, 35590 Saint-Gilles, France

<sup>2</sup> INRAE, UREP, VetAgro-Sup, 63000 Clermont-Ferrand, France

<sup>3</sup> INRAE, Institut Agro, UMR SAS, 29000 Quimper, France

<sup>4</sup> INRAE, URFP3 & ECOSYS, 86600 Lusignan, France

<sup>5</sup> INRAE, Université de Lorraine, LAE, F-68000 Colmar, France

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

**Ce document est diffusé par l'ADEME**

**ADEME**

20 Avenue du Grésillé

BP 90406 -| 49004 Angers Cedex 01

**Numéro de contrat :** 1703C0066

**Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par :** INRAE et Institut de l'Élevage

**Projet de recherche coordonné par :** CHAMBAUT Helene, Institut de l'élevage

**Appel à projet de recherche :** GRAINE Gérer, Produire, Valoriser les biomasses

**Coordination technique - ADEME :** EGLIN Thomas et RULLIER Sylvain

**Coordination technique - ADEME :** Service Forêts, Alimentation, Bio-économie Direction Productions et Energies Durables

**Cofinancement :** des filières d'élevage, CNE, CNIE, Interbev

# **SOMMAIRE**

<b>1. PREPARER A L'ECHANGE AVEC L'ELEVEUR AUTOUR DU STOCK/STOCKAGE C .....</b>	<b>5</b>
<b>2. POSITIONNEMENT DU CALCULATEUR CARSOLEL .....</b>	<b>6</b>
2.1. Chiffrage du stockage de carbone, du plus simple au plus complexe .....	6
2.1.1. Quel modèle carbone, pour faire quoi ? .....	6
2.1.2. Pourquoi un nouvel outil de calcul (CarSolEl) dans les cadres du label Bas Carbone et d'évaluation multicritère ? .....	8
<b>3. UTILISER LE CALCULATEUR CARSOLEL : SAISIE SUR UNE SITUATION TYPE .....</b>	<b>10</b>
3.1. Préparer la visite d'élevage : informations à collecter et précalculs dans xls.....	10
3.2. Utilisation rapide : présentation des écrans de saisie WEB.....	11
3.3. Pour une meilleure estimation : ajuster les paramètres de sol aux conditions initiales de la parcelle .....	15
3.3.1. Profondeur de sol et taux de cailloux .....	15
3.3.2. Taux de matières organiques.....	15
3.3.3. Quantité de terre fine par hectare .....	15
3.4. Comprendre le résultat délivré par l'outil.....	16
3.4.1. Quel est le chiffre de stockage/déstockage de carbone restitué ?.....	16
3.4.2. Echange avec l'éleveur : donner du sens au chiffre de stockage obtenu.....	16
3.4.3. Comprendre la restitution graphique CarSolEL : se comparer à d'autres situations locales...	17
3.4.4. Oublier les repères forfaitaires de carbone stocké sous prairie et cultures.....	17
<b>4. APPROCHE GLOBALE SUR L'EXPLOITATION : CONSTRUIRE UN SCENARIO FAVORABLE A LA FERTILITE DU SOL.....</b>	<b>19</b>
4.1. Combien de temps du diagnostic au conseil d'amélioration « stockage carbone sol » ?.....	19
4.2. Repérer les situations problématiques sur l'exploitation où il est prioritaire d'agir .....	19
4.3. Leviers multiples à explorer .....	21
4.4. Finalisation du chiffrage : gestion des fichiers import/export .....	23
4.5. Pour aller plus loin et affiner encore le chiffrage carbone.....	23
<b>5. DANS QUEL CADRE UTILISER CARSOLEL ? .....</b>	<b>24</b>
<b>6. PRECAUTIONS D'USAGE.....</b>	<b>24</b>

# 1. Préparer à l'échange avec l'éleveur autour du stock/stockage C

La littérature est abondante sur internet sous format bref (MOOC) ou très complet, tel que le rapport INRAE, [Pellerinetal.-2021-Stockerdecarbonedanslessolsfranais.pdf](#), qui comprend une synthèse bibliographique récente et un chiffrage des leviers stockant en France.

Les questions fréquemment posées par les éleveurs ou conseillers d'élevage tournent autour de la permanence, ou non, du carbone séquestré, des limites du stockage (possibles seuils d'équilibres ?) en prairies, des taux de matières organiques agronomiquement conseillés, du rôle des techniques culturales simplifiées, et de la nécessité de reconnaître les services écosystémiques liés à l'élevage herbager. En effet, la présence de fermes herbagères favorise dans les territoires le maintien de surfaces agricoles intéressantes tant sur l'enjeu de stocks de carbone importants dans ces sols que de la biodiversité, alors que peu de marges d'optimisation sont encore possibles.

Plus rarement sont posées des questions autour des différentes formes de matières organiques dans le sol, de l'effet de la 'vie cachée du sol' ou de l'effet possible d'une flore plus diversifiée sur la résilience de la prairie et sur les processus de stockage/déstockage de carbone du sol.

Il est essentiel pour toute communication en groupe d'éleveurs ou conseillers non spécialiste de bien clarifier les éléments de base, afin d'éviter des confusions sur les points suivants :

- La différence entre stock de carbone et stockage, notion de stockage additionnel (si c'est le sujet) par rapport à ce qui est observé (évolution des taux dans les sols)
- Ce que représente concrètement un stock de carbone (mesures, modalité de calcul)
- L'importance du périmètre étudié : horizon de sol considéré, échéance temporelle
- Rappeler les modalités de conversion : masse en carbone, en matières organiques, en impact climatique (équivalent CO<sub>2</sub>)
- Les limites actuelles des outils utilisés choisis (voir paragraphe 2 pour CarSoEl)

Conseil d'éleveur : Parler d'évolution de la fertilité du sol avec les pratiques favorisant le stockage de carbone et faire le lien avec le changement climatique, cela suscitera une écoute positive de vos interlocuteurs.

Photo 1 : Prélèvement de sol en vue de déterminer une densité apparente, élément nécessaire au calcul du stock de carbone en place



## 2. Positionnement du calculateur CarSolEI

### 2.1. Chiffrage du stockage de carbone, du plus simple au plus complexe

#### 2.1.1. Quel modèle carbone, pour faire quoi ?

Différents outils sont actuellement utilisés dans le monde autour des problématiques d'émissions de gaz à effet de serre, incluant ou non un chiffrage sur le volet séquestration de carbone. Le choix judicieux d'un outil se fait selon les objectifs (et les compétences) de l'utilisateur : finalité et degré de précision recherché (sensibilisation/conseil/recherche) et selon le temps disponible et les coûts engendrés.

Les outils de calcul de l'évolution du carbone dans les sols diffèrent également sur leur complexité (dont le nombre et la disponibilité des données d'entrées à fournir), leur précision et incertitudes, le pas de temps de résultats délivrés (variabilité intra ou inter annuelle des flux de carbone, évolution du stock de carbone à court ou long terme), leur validation et leur transparence (nombre de publications scientifiques, valeurs de références diffusées ou non), leur ergonomie et le niveau de connaissance requises pour les faire fonctionner. Voici par exemple quelques questions utiles à se poser pour cibler le besoin :

- Quelle est l'accessibilité des données à fournir au calculateur carbone sur mon cas d'étude ? En site expérimental des mesures régulières permettent un contrôle en différents points du bon fonctionnement du modèle. L'état hydrique et azoté du sol peut être mesuré, le stock carbone quantifié, les biomasses aériennes/racinaires en place sur les parcelles de prairies suivies ainsi que échanges carboné, azotés avec l'atmosphère (tours à flux, mesures instantanées tout au long de la journée), ... En ferme d'élevage, il est plus habituel de disposer d'informations globalisées sur plusieurs ilots (rendement moyen du blé toutes parcelles confondues, herbe valorisée globalement au pâturage, ...) et enregistrées par année. L'information est présente depuis un nombre limité ou important d'années (informatisation, changement de prestataire, passage aux applications smartphone).
- A-t-on besoin de chiffrer uniquement le volet séquestration de carbone ou également les flux d'azote (départs gazeux ? aqueux ? ...),
- Cherche-t-on à avoir une approche globale au niveau de l'exploitation, c'est-à-dire savoir si globalement les équilibres de matière organique sont maintenus ou à régler la situation particulière d'une parcelle donnée dont l'éleveur a le sentiment d'une perte en fertilité ? Cherche-t-on à valider les calculs opérés par un modèle ?
- Vérifier ensuite que le modèle pressenti pour répondre au besoin (pratiques simulables, nature de flux retranscrits, pas de temps) est adapté aux caractéristiques du milieu dans lequel il va être utilisé (domaine de validité du modèle en termes de nature de sols, types de climat)
- Enfin, comparer la facilité de l'environnement de travail offerte : présence de bases de données de références publiées et adaptées au contexte français et proposées par défaut afin de faciliter la collecte et la réalisation des calculs ? Bases de comparaison pour faciliter l'analyse des résultats obtenus ?

En France, le modèle mécaniste de la dynamique du carbone dans les sols AMG est utilisé en grande culture dans plusieurs outils depuis plusieurs années. Il propose un calcul annuel basé sur un bilan humique, et les flux de carbone apportés au sol sont une entrée importante à fournir. Ces flux peuvent être estimés avec le modèle AMG sous environnement SIMEOS, ou CHN ou autres outils en développement. Ils dépendent fortement des rendements saisis par l'utilisateur et de la présence ou non de cultures intermédiaires, puis de la nature des cultures et de la gestion des résidus déclarée (part exportée, enfouie, ...), ainsi que de la quantité et qualité des matières organiques épandues. Ces divers apports vont alimenter en plus ou moins grande quantité le stock en carbone du sol. La matière organique du sol est modélisée avec deux compartiments, le compartiment actif où le carbone peut se minéraliser (pertes annuelles de carbone sous dépendance de la physico chimie du sol et du climat) et un autre compartiment considéré inerte à 100 ans. Cette partition en 2 compartiments varie selon les sols et leur utilisation (de 40 à 60 % de C actif) et sera à terme adaptable localement avec les résultats d'une analyse de sol spécifique (RockEval).

En élevage, il n'est cependant pas possible d'utiliser le calculateur SIMEOS-AMG sur des rotations avec des prairies dès lors qu'elles ont plus de deux ans ou sont gérées par pâturage car les flux de C liées à celles-ci ne sont pas simulés par AMG élaboré et paramétré pour les cultures annuelles (Cf. ci-après).

A l'international, le modèle anglais carbone du sol RothC est fréquemment utilisé et remobilisé dans différents outils climatiques. Il comporte davantage de compartiments et les entrées de carbone doivent également être renseignées par l'utilisateur, **mensuellement**.

Les fermes d'élevage ruminant sont plus complexes à représenter que celles en grandes cultures car :

- Les entrées de carbone au sol provenant des prairies sont mal connues. Elles varient selon la biomasse en place et la diversité de flore, les pratiques de renouvellement (durée de vie et modalité de régénération), la conduite des animaux (petits ruminants ou gros bovins, âges et productivité des animaux pâturant, importance du piétinement, gestion des refus, ...).
- Les prairies sont présentes sur des milieux très contrastés entre zones de plaine, moyenne et haute montagne aux contraintes très variables en termes de climat et sols (profondeur, taux de MO, réserve utile, taux de cailloux, ...).
- La gestion de l'animal est diverse, en lien avec les données biophysique (courbes de croissances de l'herbe liées aux milieux), les stratégies : pâturage tournant ou continue, précoce ou tardif, densités animales instantanées et fréquence de retour, pilotage des hauteurs d'herbe entrée/sortie maximisant la valorisation de l'herbe ou souhait de modérer les prélèvements pour une agriculture de conservation des sols, et divers facteurs externes (capacités des bâtiments, choix des périodes de vêlage, etc.).

Deux modèles mécanistes, **Stics** et **PaSim**, simulent journalièrement de nombreux flux de carbone et azote dans le système plante-sol-animal, dont le carbone capté par photosynthèse dans la biomasse et son devenir (racines/aérien) puis son retour au sol (vitesses de sénescence selon les couverts, ...). Les informations sur les caractéristiques des prairies (espèces), les dates, doses et formes de fertilisation, les différentes opérations (mise en culture, destruction, ...) et les modes de récolte des prairies (dates de coupes, périodes de pâturage) sont ainsi mobilisées par les modules 'plante-animal' et servent *in fine* au calcul par les modèles des entrées de carbone au sol. Ensuite, les modules sol, analogues à AMG pour Stics et basé sur Century pour Pasim, se chargent de modéliser le devenir de ce carbone dans les différents pools du sol. Les pertes de carbone du sol par minéralisation dépendent donc des caractéristiques du milieu (type de sol, état physicochimique, hydrique et température du sol journaliers, ...). Ces modèles complexes présentent l'avantage d'avoir intégré de nombreux processus sur la parcelle et de simuler en dynamique les entrées de C (et N) au sol et leur devenir. L'estimation du stockage/déstockage de carbone obtenu est calé sur la conduite, en interaction avec le milieu, sans nécessiter de renseigner comme pour AMG et RothC des entrées de carbone des prairies, très difficiles à évaluer sur le terrain.

Le métamodèle **CarSoil** est élaboré avec des outils statistique pour retranscrire fidèlement les résultats de Stics ou de Pasim dans les conditions décrites dans l'étude Pellerin 4/1000 2019 : France métropolitaine, conduites agricoles moyennes rencontrées en région (doses moyennes de fertilisation, nature des principaux engrais organiques, nature des rotations dominantes pratiquées, types de sol et de climats). Il utilise pour cela de multiples arbres aléatoires, permettant de s'approcher au plus près de la valeur qu'aurait donné STICS en situation de cultures incluant ou non des prairies temporaires et PaSim en prairie permanente, dans la situation renseignée par l'utilisateur.

Quelques éléments clés de fonctionnement des modèles Stics et Pasim figurent ici en encadré. Les plus curieux trouveront de nombreux éléments complémentaires dans les rapports du projet CarSoil où ces modèles ont été utilisés sur des sites INRAE afin d'en préciser la valeur prédictive dans des contexte d'élevage français sur 3 sites expérimentaux de long terme à l'ouest et sur le Massif central.

### En prairies temporaires et cultures

L'approche adoptée dans STICS pour simuler la dynamique de la matière organique du sol (i.e. le carbone et l'azote organique du sol) est une approche mécaniste avec une représentation du sol et de la végétation en interaction. **La matière organique du sol (MOS)** est représentée sous la forme de trois compartiments distincts, chacun caractérisé par un temps de résidence moyen du C (et de l'N) : i) la MOS fraîche (litière végétale, racines mortes et engrais organiques en surface ou mélangés au sol par l'action du labour), ii) la biomasse microbienne zymogène (microbes du sol qui dégradent la MOS fraîche), et iii) la MOS "humifiée". Ce dernier compartiment est composé a) d'un pool de MOS active, disponible pour la minéralisation, et b) d'un pool de MOS inerte, qui n'est pas minéralisable sur 100 ans. Ces compartiments sont interconnectés par des flux de C et de N, correspondant à la minéralisation ou l'humification de la MOS. Ces flux sont **simulés uniquement pour l'horizon de surface**, allant généralement jusqu'à une profondeur de 25 cm ou 30 cm et correspondant à la couche **de sol récemment ou anciennement labourée**. C'est donc sur cet horizon que porte notre évaluation de la simulation de la MOS par le modèle. Sous cette couche est cependant simulé un apport de C lié à la mort des racines profondes, supposées non décomposées.

- **MO fraîches** (en surface et enfouies par le travail du sol)
- **Biomasse microbienne**
- **MO humifiée** (active / inerte)

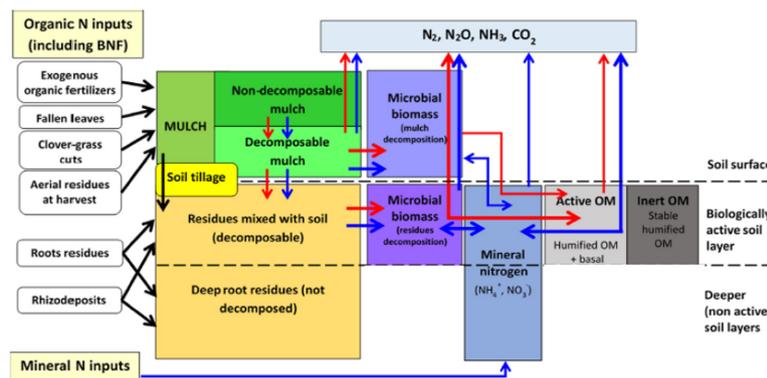


Figure 1 : Représentation de la matière organique dans STICS

La simulation de la MOS dépend fortement de la valeur initiale et sa distribution entre ses fractions active et inerte fixées par l'utilisateur au travers un paramètre dont la valeur doit refléter l'historique cultural de la parcelle simulée (de 0,4 pour une prairie permanente à 0,65 pour un historique en cultures annuelles). Elle dépend également des conditions pédoclimatiques avec une humification favorisée par des sols basiques, riches en argile et en calcaire, et ayant un ratio C/N faible, et par des conditions froides et sèches. Elle dépend enfin des entrées de C au sol associées à la gestion simulée (apports organiques, résidus de culture) et à la simulation de la culture : quantité de biomasse, partition entre aérien et racinaire, sénescence.



techniciens. A l'échelle des territoires, il peut s'utiliser pour intégrer des situations de types de conduites en lien avec les caractéristiques de sol et climat dominantes localement et proposer des valeurs de références représentatives localement.

**L'échelle de calcul unitaire de CarSolEl est donc une 'situation type' de conduite agricole (succession et types de couverts, niveaux de rendement et type de fertilisation, mode de gestion des prairies), croisée avec un sol représentatif de l'exploitation diagnostiquée en termes de texture, profondeur de sol, caractéristiques physico chimique).** L'unité de simulation est géo-localisée ce qui détermine les caractéristiques moyennes météorologiques (type de climat, précipitations annuelles, min et max de températures journalières) et, en l'absence de données précises, les caractéristiques moyennes des sols locaux.

L'outil CarSolEl est un métamodèle statistique dérivé des simulations par les modèles Stics et PaSim, utilisés lors des études EFESE et 4/1000 sur tout le territoire avec plus de 500 000 situations (maillage climatique Safran de 8\*8 km X unités cartographiques des sols de France). Il a été conçu pour répondre aux besoins exprimés par les conseillers et éleveurs en début de projet :

- Permettre une approche **globale exploitation** c'est-à-dire intégrer cultures et prairies, de courtes ou longues durées, de fauche ou de pâturage, fertilisées en organique ou en minéral,
- En un temps restreint d'utilisation : **calcul immédiat**, réalisable depuis l'exploitation, proposant des référentiels par défaut pour les données de milieu et proposant une aide à l'interprétation du résultat,
- Valoriser les données déjà enregistrées sur les fermes, dont les analyses de sol lorsqu'elles existent,

**Souple d'utilisation** : permettant de tester l'effet de changements de conduite sur le carbone du sol, par exemple dans une recherche d'autonomie alimentaire, un changement de système fourrager (herbe/maïs), une optimisation des plans d'épandage et des doses d'apport, des modifications d'assolement ou de pratiques (insertion de couverts, présence ou non d'irrigation).

## **2.2. Précaution d'usage pour le calculateur CarSolEl**

Conformément aux autres outils, CarSolEl considère la variation de stock de carbone du pool humique (minéralisation ou organisation). Ce carbone organique correspond, de façon habituelle pour l'éleveur, au carbone organique classiquement analysé par les laboratoires sur un échantillon de terre fine.

Ne sont pas considérées les éventuelles pertes ou gains de carbone dus à des changements de conduites drastiques sur :

- **Le carbone frais lié aux plantes** : par exemple, une augmentation de carbone lié à davantage de biomasse racinaire en place dans le sol après 30 ans de mise en place de la conduite agricole n'est pas incluse dans ce solde annuel de stockage/déstockage. De même, les changements de biomasse aérienne (tiges, feuilles, résidus) ne sont pas intégrés dans ce solde, ce qui revient à considérer qu'en moyenne sur 30 ans ces données sont stables,
- Le carbone **contenu dans la faune et micro-faune** du sol : augmentation du nombre de vers de terres, insectes, etc.
- Des pertes de carbone par perte de **terre (érosion) ou dépôt de sols alluviaux** (inondation en bords de rivière, ... arrivées de coulées de boues). Ces éléments sont à considérer séparément, à partir des volumes de terre charriés. Ainsi, l'effet du retrait de murets, talus de cultures, terrasses à l'abandon, ou à l'augmentation de la longueur de parcelles en pente ne sont pas modélisés par CarSolEl.
- L'effet de **changement d'état hydrique lié à des aménagements hydrauliques** (drainage de prairies humides, abaissement de niveau de nappe dans les marais, ...) sur la minéralisation ou les processus d'organisation des matières organiques n'est pas intégré et reste à chiffrer séparément.
- **L'effet des boisements** : parcelles en frontière de bois, haies, arbres isolés, ... L'effet bénéfique de la mise en place de haies sur le sol (rôle anti érosif, apports de carbone ligneux et litières au sol) et le contenu en carbone du bois des arbres (agro sylvo pastoralisme, agro foresterie) ou des petits ligneux (enfrichement) ne sont pas chiffrés dans cet outil.

L'ajout exogène de **carbone stable particulière**, comme du biochar par exemple, n'est pas simulée par cet outil et serait donc à chiffrer séparément, d'après les données de la bibliographie concernant la longévité dans le sol du produit apporté (origines du C ligneux et procédé de fabrication). Enfin, le calculateur CarSolEl ne peut pas s'appliquer sur des sols très riches en matières organiques (sols tourbeux), de telles parcelles doivent être chiffrées séparément avec des modèles spécifiques.

Le calculateur CarSolEl retranscrit fidèlement les variations de stock dans des conditions usuelles des sols de **France métropolitaine**, tel que modélisées et décrites par Pellerin et al. (2019) : la correspondance entre le calcul restitué par CarSolEl (arbres random Forest) et le calcul initial mécaniste Stics-PaSim, opéré sur plus de 500 000 simulations lors de ladite étude est excellente avec une corrélation supérieure à 0.98.

Cependant, la difficulté de Stics (dont est issu CarSolEl) à bien modéliser le fonctionnement des parcelles avec des prairies de moyenne ou longue durée en rotation avec des cultures a été montrée durant le projet. Le rôle bénéfique des prairies temporaires pour le maintien ou l'augmentation des stocks de carbone organique est souvent sous-évalué, comme cela a pu être mis en évidence sur les données des essais INRAE de longue durée à l'ouest (SOERE ACBB Lusignan en Poitou Charente et essai Rotations à Quimper-Kerbernez en Bretagne). Plusieurs améliorations de paramétrage du fonctionnement de la prairie (assimilation selon le profil prairial, répartition des apports de C photosynthétique entre carbone aérien et racinaire, vitesse de croissance puis de sénescence des racines, effet des coupes sur la reprise des biomasses aériennes, effet du piétinement lié au pâturage, ...) ont été proposées et restent à intégrer en 2023 pour fournir une version améliorée du module rotations de l'outil CarSolEl mis à disposition en 2022 (les modules grandes cultures et prairies permanentes étant stabilisés).

### 3. Utiliser le calculateur CarSolEl : saisie sur une situation type

#### 3.1. Préparer la visite d'élevage : informations à collecter et précalculs dans xls

Proposez à l'éleveur de vous envoyer ou de préparer les documents utiles à la collecte des informations, vous gagnerez du temps sur place.

Liste des documents à demander : déclaration PAC (rotations sur les ilots, localisation des ilots de la ferme sur une carte, idéalement à positionner sur une carte de sol) ; **cahiers de fertilisation des parcelles** (rendements, apports de fertilisation, irrigation), **plannings de pâturage**, si tenus à jour ( enregistrements papiers ou applications smartphone), , bulletins d'**analyses de sol** physicochimique et granulométrique disponible sur les parcelles, bordereaux d'analyse de lisiers et autres PRO utilisés sur l'exploitation (composts, produits solides ou liquides issus de traitement, ...).

Nombre des informations à collecter (tableau 1) sont donc disponibles dans les cahiers de fertilisation des parcelles, complété des plannings de pâturage de l'exploitation. **Une extraction sous excel des données utiles aidera à synthétiser l'information sur plusieurs années** afin de décrire les **conduites agricoles moyennes** et dégager la situation de gestion de parcelles. Selon la représentativité des différentes conduites (% SAU concerné), **dégager les 'situations types'** utiles à renseigner dans CarSolEl afin d'évaluer l'évolution du stock de carbone organique des principaux ilots.

Demandez à l'éleveur de **sortir son plan de parcellaire** et toutes les **analyses de sols dont il dispose**, même anciennes, le calcul de stockage étant sensible aux taux d'argile et de sable des sols qui varient peu au cours du temps, ... Les analyses plus récentes (6 ans et moins) sont particulièrement appréciées pour les informations concernant le taux de matières organiques et le pH, deux éléments également très influents dans l'estimation de variation de stock de carbone. Plus le paramétrage est adapté aux sols de l'exploitation, meilleure sera la prévision d'évolution.

Les données climatiques par défaut proposées sur l'application CarSolEl peuvent être conservées car ces paramètres influent moins fortement le chiffrage. Cependant, en zone de relief marqué, pluies et températures sont souvent fortement reliées à la topographie et à l'altitude : si l'éleveur dispose de données précises sur son exploitation, ou s'il existe un référentiel local de données moyennes sur de **longues durées** (10 ans à minima), elles pourront être utilisées en alternative aux valeurs par défaut. De même en zone littorale, la pluviométrie est fréquemment reliée à l'éloignement des côtes et à l'orientation des vents.

Pour plus d'efficacité lors de la visite et si vous souhaitez **réaliser des simulations sur plusieurs parcelles**, sachez qu'il est possible d'utiliser un format d'import de données, appelé depuis l'application en ligne. Cela vous permettra de **lancer simultanément des calculs** sur plusieurs parcelles que vous avez pré-traitées. Le fichier d'import à préparer à partir de la synthèse des données que vous aura fourni l'éleveur doit alors avoir un **format type donné en annexe 3** (fichier type d'import, nom des variables à respecter précisément). Nous vous conseillons d'utiliser cette fonction uniquement que **lorsque vous serez bien familiarisé avec l'outil**. Seul le résultat chiffré de variation de stock sera accessible pour les parcelles et non le format graphique de chaque parcelle (lorsque l'on effectue un calcul de plusieurs parcelles simultanément par importation de données).

Tableau 1 : Informations nécessaires pour simuler une parcelle ou une situation type avec CarSolEl

Informations thématiques	Variable utilisée par CarSolEl	Que faire sur la ferme ?
Climat	Localisation => Type de climat Source typologique : Joly et al 2010, <a href="https://journals.openedition.org/cybergeo/23155">https://journals.openedition.org/cybergeo/23155</a> )	Repérer la parcelle sur le plan parcellaire d'exploitation ou repérer avec l'éleveur la parcelle géographiquement (clic sur la carte)
	Température minimale journalière (médiane 30 ans, °C)	Valeur proposée par défaut issue de la base de données publique Agri4cast. L'éleveur peut disposer d'informations plus localisées (abonnement locaux)
	Température maximale journalière (médiane 30 ans, °C)	Idem
	Pluviométrie annuelle (Moy 30 ans) (mm)	Idem
Sol	Épaisseur de sol (épaisseur sur sa parcelle) en cm	« À dire d'éleveur », si nécessaire sondage tarière en plusieurs points de la parcelle. Il s'agit ici de la profondeur jusqu'à la roche mère
	Taux de Cailloux (> 2mm) dans horizon 0-30 cm (% masse de sol)	Emporter la grille et interroger l'éleveur sur sa parcelle. Si visite en période de sol peu couvert, aller sur la parcelle et noter
	pH eau Granulométrie et texture du sol, % argile, % sables Taux de calcaire CaCO <sub>3</sub> Pour l'horizon 0-30 cm	Analyse chimique et granulométrique de sol
	Stock de carbone sur 0-30 cm (t C ha <sup>-1</sup> )	Analyse chimique du taux de matières organiques Mesure de densité apparente ou utilisation d'une fonction de pédotransfert adaptée au type de sol

Succession de cultures et prairies	Durée de la rotation (années)	Enregistrements PAC ou autres, sur plusieurs années
	Types de cultures annuelles qui se succèdent	L'utilisateur saisit les successions d'utilisation de la parcelle, l'application calcule les ratios utiles à CarSolEI (part de présence de chaque type de couvert sur la succession)
	Rendement moyen de chaque culture annuelle T.MS ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup>	Calcul xls avant saisie, voir annexe 3
	Nombre d'années en prairies	Également les informations de gestion (cf. ci-dessous)
Fertilisation et irrigation	Nombre d'années avec culture intermédiaire sur une succession complète et rendements	Rendement des cultures intermédiaires si connu (optionnel, actuellement seule la fréquence d'implantation est considérée dans le calcul).
	Azote minéral (kg N ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Dose annuelle (total des différents apports sur l'année) pour chaque année en culture ou en prairie. L'information de dose d'apport annuel moyenne sur la succession est saisie
	N organique (kg N ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Idem pour les épandages de matières organiques : azote total épandu en moyenne par an sur la rotation, calculé à partir des doses d'apport annuelle et analyse de produits (lisiers) ou références (fumiers) si disponibles, sinon valeurs de références.
	Type de fertilisation organique	Relever les types de produits apportés durant la rotation, classés selon leur valeur C/N dans les 3 catégories proposées (fumier, lisier, vinasse)
Gestion des prairies	Y a-t-il de l'irrigation au moins une année sur la période d'une succession considérée	Interroger l'éleveur : Oui/non
	La parcelle est-elle uniquement fauchée, ou pâturée ou mixte ?	Interroger l'éleveur. Pour les prairies permanentes, considérer les informations de gestion sur 5 ans à minima pour avoir une conduite représentative
	Nombre de coupes par an	En moyenne sur les années de prairie considérées
	Rendement d'herbe récoltée TMS ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	Quantité récoltée en moyenne par an sur la période considérée en prairie, tous types cumulés (ensilage d'herbe, foin, enrubannés, ...)
	Nombre de séquences de pâturage (max. 10 jours chacune)	Nombre de fois sur l'année où un lot d'animaux entre sur la parcelle en pâturage tournant. En pâturage continu, les animaux restent plus de 10 jours, découper fictivement en autant de passages. (1 mois = 3 passages)
Chargement en UGB jours de pâturage équivalents ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup>	Collecter les informations du planning de pâturage : le nombre d'animaux par passage, le type d'animaux (coefficient UGB) et la durée du passage, et cumuler ces jours sur toute la saison de pâturage. Se placer en année moyenne (et non très humide ou avec sécheresse anormale)	

### 3.2. Utilisation rapide : présentation des écrans de saisie WEB

L'outil est disponible en libre accès sur le web à l'adresse suivante :

<http://appsonline.idele.fr/Carsolei/>

Le calculateur estime l'évolution du stock de carbone organique du sol dans son horizon supérieur (0 à 30 cm de profondeur). La valeur moyenne annuelle est donnée en considérant une période de 30 ans.

Un diaporama détaillé de saisie est fourni en annexe 2, illustrant le cas d'une saisie de parcelle en rotation cultures et prairies. Vous pouvez faire cette saisie directement avec l'éleveur s'il est intéressé, c'est très rapide mais il est recommandé d'avoir pré-traité les informations afin de saisir les variables moyennes demandées en minimisant les erreurs.

Vous déroulez progressivement l'écran jusqu'au bout (vers le bas), c'est-à-dire jusqu'à ce que le résultat de stockage/déstockage s'affiche, compte tenu de ce que vous avez fourni comme information.

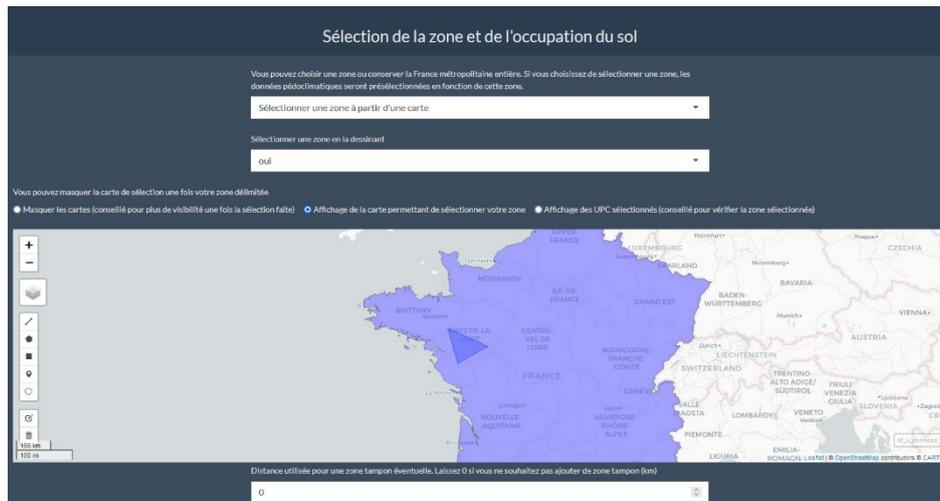
Quelques vues synthétiques des écrans sur lesquels vous passerez :

Ecran d'accueil



Notez la version utilisée (des mises à jour de l'application prévues). Nous sommes susceptibles de mettre à jour l'application avec les avancées scientifiques sur les modèles de recherche dont est dérivé le calculateur CarSolEl. Il n'y a pas de sauvegarde en ligne lorsque vous sortez de l'application.

Zone d'étude

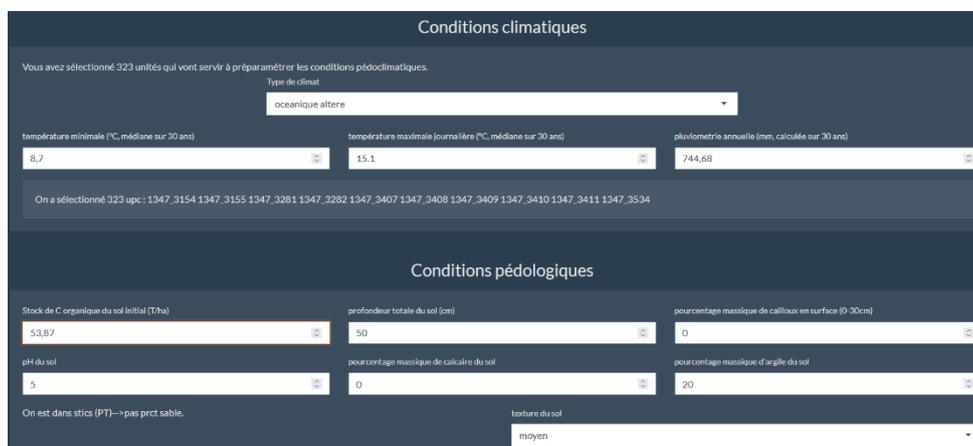


Vous pouvez choisir de localiser précisément la ferme (zone rapprochée) ou d'élargir le périmètre (zone tampon). La zone sélectionnée a pour conséquence :

- De vous proposer des données de sol et de climat moyennes pour cette zone
- De positionner vos résultats de simulation par rapport à ceux des autres parcelles présentes dans l'étude INRAE 4/1000 pour cette zone.

Par défaut, France entière sélectionnée.

Sol et climat



Lorsque vous disposez d'informations plus précises pour la parcelle ou situation type étudiée, modifiez les valeurs par défaut proposées. Notamment pour :

- ⇒ Intégrer les données d'analyse de sol présentes sur la ferme,
- ⇒ Dans le cas où l'exploitation est en zone littorale ou à relief marqué : corriger pluviométrie et température avec des données plus localisée (altitude, versant de la parcelle, ...),
- ⇒ Demandez à l'agriculteur de valider la profondeur de sol et les taux de cailloux, pour la situation type que vous enseignez, il connaît ses parcelles.

Pratiques agricoles

**Être vigilant à la nature des informations demandées qui varie selon les cases (annexe 3).** Ci-dessous les informations demandées pour une conduite de prairie temporaire assolées avec des cultures (moins d'informations à saisir en prairies permanentes ou grandes cultures).

## Conduite des surfaces

### Rotation

Durée de la rotation (en années) (Le modèle a été calibré sur des rotations jusqu'à 10)

8

Durée de la prairie dans la rotation (années)

5

### Fertilisation

La parcelle reçoit-elle de la fertilisation azotée (ou y a-t-il des légumineuses) pendant la rotation, et si oui de quel type ?

fertilisation minérale et organique

Pourcentage de légumineuses (Attention ! ce taux ne sert qu'à calculer un équivalent d'apport d'azote (pas de croissance d'herbe spécifique))

15

Azote apporté par engrais minéral (kg N/ha) en moyenne sur la rotation

70

Quel(s) type(s) de fumure organique la parcelle reçoit-elle au cours de la rotation ?

fumier ou compost

lisier

vinasse

Azote total apporté par engrais organique (kg N/ha) en moyenne sur la rotation

100

Y a-t-il de l'irrigation ?

Pas d'irrigation

Nombre de cultures intermédiaires au cours de la rotation

1

Quantité de matière sèche exportée en moyenne par an par hectare pour les cultures sur la rotation (t/an/ha). Se calcule en cumulant les contributions de chaque culture (hors récoltes sur prairies) en divisant par le total des années (nb ans en culture + nb an en prairie).

6

Rendements de la culture intermédiaire (somme des biomasses cumulées de cultures intermédiaires les années où elles sont présentes/nombre d'année rotation) [Variable qui sera utilisée dans la version 2]

0,2

### Cultures en rotation

1ère culture

Mais fourrage

2ème culture

Blé tendre

3ème culture

Prairie

4ème culture

Prairie

5ème culture

Prairie

6ème culture

Prairie

7ème culture

Prairie

8ème culture

Rotation terminée

### Conduite des prairies

La prairie est-elle fauchée ou pâturée ?

Fauchée et pâturée

### Information sur la fauche

Nombre de coupes par an

1

quantité de matière sèche fauchée cumulée sur l'année en moyenne (tMS/ha)

4

### Information sur le pâturage

Nombre de passages de pâturage par an en moyenne (maximum 10 jours de pâturage par passage)

2

Nombre total de jours de présence des animaux au pâturage par an en moyenne

13

Chargement au pâturage moyen sur les jours de présence au pâturage (UGB/ha)

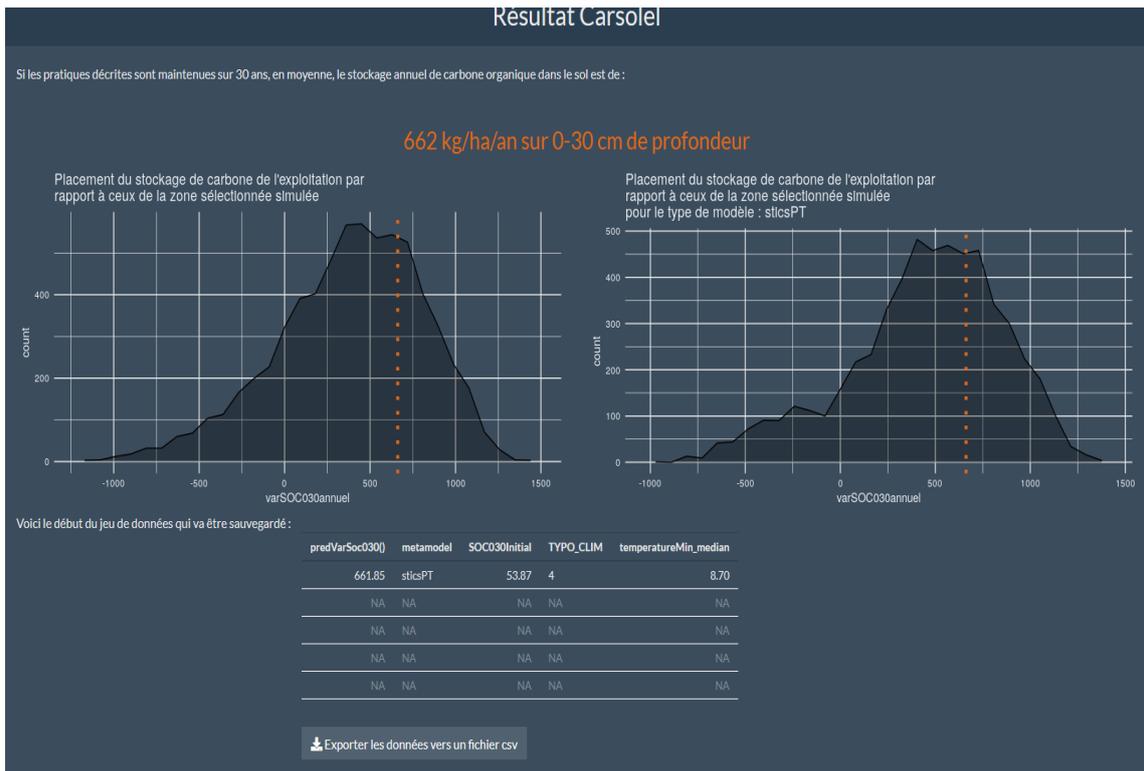
5,4

Les animaux pâturent 1.053 t MS/an

Les animaux pâturent 70,2 UGB x jours par an

La valorisation de l'herbe est de 5.053t MS/ha et /an.

Vous obtenez directement un résultat immédiatement une fois vos différents écrans remplis.



Pensez à :

- ⇒ Exporter vos données au format xls une fois la parcelle saisie. Cela vous permet de **sauvegarder et capitaliser le résultat** ' sous conduite agricole actuelle' et notamment de garder mémoire des éléments sélectionnés géographiquement, qui ne changent pas entre scénarios.
- ⇒ Faire une **copie d'écran des graphes**, si vous ne travaillez pas en direct avec l'agriculteur. Vous pourrez lui présenter ultérieurement (comparaison situation actuelle, versus améliorée une fois le scénario co-construit).

En cas de mauvaise saisie, vous pouvez toujours à ce stade modifier un élément de conduite agricole ou de sol saisi plus haut : le graphe et le tableau se mettent à jour mais il faut alors ré exporter les résultats corrigés, car les **calculs effectués sur l'application CarSolel en ligne ne sont pas sauvegardés**. Il faut donc bien penser à constituer un fichier xls d'export correspondant à la conduite sur la parcelle que vous venez de finir de saisir avant de passer à la situation type ou parcelle suivante

**Attention à bien repasser dans tous les écrans de saisie** car il n'y a pas forcément de remise à zéro des valeurs (sauf si vous sortez de l'application entre temps).

**Conseil d'organisation** si vous souhaitez faire une synthèse d'exploitation ' état des lieux' puis créer un scénario améliorant globalement :

- Une fois le fichier d'export réalisé pour la situation type, recopiez la ligne d'export dans un seul fichier excel qui regroupera toutes les situations types réalisées pour la ferme.
- Ajouter deux colonnes sur ce fichier initial d'export :
  - **Un codage de la situation type réalisé**
  - **Les ha concernés par cette situation type**
- Coder de façon explicite la situation calculée exportée : par exemple, numéro d'exploitation\_ nom de parcelle ou situation type\_ 0, 1 ou 2
  - 0 = situation de la situation actuelle en utilisant un paramétrage milieu ' par défaut'
  - 1 = situation de la situation actuelle en utilisant un paramétrage milieu ajusté à partir des analyses de sol ou de données de climat très local.
  - 2 = test de modification de conduite correspondant à ce qui a été discuté avec l'éleveur sur le vif, au vu des premiers résultats, ... D'autres idées pourront venir ensuite une fois les autres situations de parcelles faites !

Dans une première feuille « état des lieux » du fichier xls ne garder que les situations actuelles des parcelles ou situations type simulées. Mettre les options travaillées sur le vif (codage 2) dans une autre feuille.

Voir au chapitre 4 comment remobiliser ces informations ultérieurement au bureau, pour réfléchir globalement au(x) scénario(s) améliorant.

### **3.3. Pour une meilleure estimation : ajuster les paramètres de sol aux conditions initiales de la parcelle**

CarSolEl fournit par défaut des valeurs de paramètres physico chimiques, profondeur de sol, et stock de carbone initial par mode d'utilisation (prairies permanentes, grandes cultures ou mixte cultures/prairies). Ces valeurs correspondent à la moyenne de la zone que l'utilisateur a sélectionnée géographiquement (concernant l'exploitation ou son îlot de parcelles étudiées). Ces données viennent des bases de sol INRAE, capitalisées sur les différentes mailles pour l'étude 4/1000 Pellerin et al 2019.

Cependant **les conditions de sol sont très variables selon les caractéristiques pédologiques de la parcelle étudiée et de son historique** (apports de matières organiques, présence de prairies assolées anciennes, ...). Il est fortement conseillé de réviser la saisie par défaut avec les informations collectées auprès de l'éleveur dès lors que des analyses existent sur la ferme.

Le stock de carbone organique est généralement estimé en multipliant la teneur en carbone organique du sol, la densité apparente et l'épaisseur de l'horizon considéré tout en tenant compte des taux de cailloux. Sont rappelés ici les éléments à rassembler.

#### **3.3.1. Profondeur de sol et taux de cailloux**

Les éléments minéraux supérieurs à 2 mm, tout comme les racines, ne sont pas considérées dans le calcul du stock de carbone car on cherche à appréhender des variations de carbone organique présent dans les pools du sol et déjà humifiés (ce qui n'est pas le cas des résidus ou racines de plantes). Il est important d'estimer la pierrosité car les gros cailloux ne sont généralement pas prélevés pour être envoyés à l'analyse. Aussi même si le laboratoire a envoyé un résultat sur la mesure des éléments grossiers (> 2mm), ce résultat ne renseigne bien souvent que sur la présence de petits éléments (jusqu'à quelques centimètres envoyés dans l'échantillon).

Voir en annexe 3 les grilles proposées à monter à l'éleveur en vue d'estimer par ailleurs la part d'éléments importants présents (observable sur sol nu ou peu couvert, plus délicat en prairie permanente).

Par simplification, seul l'horizon supérieur de sol est considéré dans le chiffrage CarSolEl, de façon à restituer une valeur selon les directives minimales climatiques du GIEC. Dans le cas où la **profondeur moyenne du sol de la parcelle** est moins profonde que 30 cm, il est important de bien tenir compte de cet élément dans le chiffrage de stock de carbone initial.

#### **3.3.2. Taux de matières organiques**

Reprenez si possible l'analyse du dosage de carbone, généralement exprimé en masse de carbone par masse de terre fine.

Selon le laboratoire, c'est généralement une dosage méthode Anne NF ISO 14235 (carbone organique dosé par voie humide, traditionnellement utilisée), ou plus récemment la méthode DUMAS NF ISO 10694 (dose le carbone en combustion sèche). Attention, s'il s'agit d'un dosage par voie sèche (Dumas), c'est le carbone total qui est mesuré. Dans des parcelles riches en carbonates (calcaires, dolomie, ...), il faut déduire le carbone minéral pour retrouver le carbone organique. C'est ce dernier qui est utilisé pour calculer le stock de carbone initial.

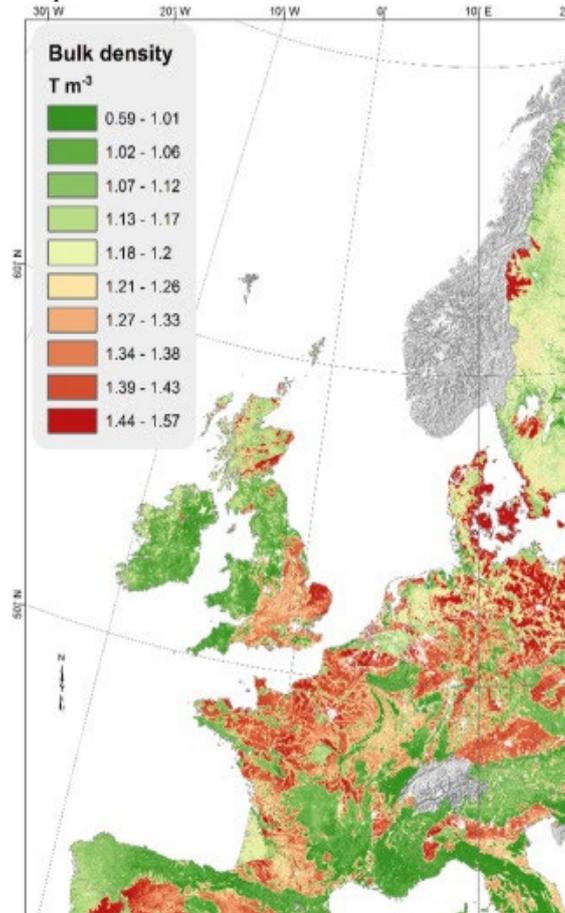
Enfin, si seul le taux de matières organique est communiqué par l'éleveur, recherchez auprès du laboratoire le coefficient de conversion du carbone en matières organique utilisé. C'est fréquemment une valeur de 1.72 mais ce coefficient peut varier selon les laboratoires.

#### **3.3.3. Quantité de terre fine par hectare**

La densité apparente est essentielle pour convertir des concentrations massiques en volume ou surface. Elle peut changer en raison des changements d'occupation des terres, de l'érosion, des cycles saisonniers d'humidité et de sécheresse ainsi que des perturbations anthropiques par le travail du sol et le compactage. Pour la mesurer aux champs, trois méthodes de calcul sont normées (norme NF EN ISO 11272). Les mesures doivent être répétées pour être fiables et sont rarement accessibles directement en ferme. Renseignez-vous localement pour voir si des références de densité apparente sont diffusés pour les principaux types de sol de votre région.

Sinon, il est possible d'utiliser des fonctions de pédotransfert qui estiment la densité à partir de données élémentaires de granulométrie, de taux de matières organiques. Selon les données dont vous disposez dans l'analyse de sol chez l'éleveur, vous aurez la possibilité d'utiliser une fonction de pédotransfert qui estime la densité à partir de certaines données comme les taux de matières organiques, et éléments de texture (% sable, argiles et limons).

Densité apparente de sols, quelques repères :



Densité apparente des sols sur site de la commission européenne, modélisation des densités apparentes à partir de la texture des sols par C. Ballabio (Geoderma 2016)

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/topsoil-physical-properties-europe-based-lucas-topsoil-data>

### 3.4. Comprendre le résultat délivré par l'outil

#### 3.4.1. Quel est le chiffre de stockage/déstockage de carbone restitué ?

Un chiffre positif correspond à du stockage de carbone (gain de matières organiques sur l'horizon supérieur), négatif à du déstockage, pertes de matières organiques).

Le chiffre restitué à l'utilisateur est une valeur moyenne annuelle, calculée sur 30 ans, pour la situation type simulée, cad une conduite agricole constante dans les conditions de milieu données.

Par exemple, au démarrage de son activité sur la ferme, le stock initial de carbone dans la parcelle choisie par monsieur X est de 47 T C/ha. Le calculateur CarSolEl prévoit une évolution de +100 kg C/ha/an : cela veut dire que telle que cette parcelle est utilisée, lorsque l'agriculteur va transmettre son exploitation (dans 30 ans), son stock de C sera de 50 T C/ha.

Si le calculateur CarSolEl prévoyait une évolution de - 100 kg C/ha/an, cela voudrait dire que lorsque l'agriculteur va transmettre son exploitation (dans 30 ans), le stock sera de 44 T C/ha.

#### 3.4.2. Echange avec l'éleveur : donner du sens au chiffre de stockage obtenu

Dans l'exemple ci-dessus, Monsieur x saura donc dès aujourd'hui si maintenir sa conduite sur la parcelle considérée est bénéfique ou non pour le stock de C sur du long terme.

Si le stock de carbone augmente, la fertilité et la réserve en eau de la parcelle auront tendance à s'améliorer au cours du temps. Le sol est globalement moins affecté par la battance (si c'est un type de sol concerné) et à l'érosion (cas des parcelles avec de longues pentes avec des périodes de sols nus au cours de la succession). La conduite est favorable au climat puisque sur 30 ans de maintien, c'est 3 tonnes de carbone organique par hectare qui se retrouvent 'piégées' dans le sol. Cela équivaut à 11 Tonnes équivalent CO<sub>2</sub>.

En élevage bovin, il est très pertinent de comparer le niveau de carbone séquestré par hectare à un équivalent CO<sub>2</sub> des émissions de méthane lors de la rumination et la fermentation des déjections. On considère pour cela le chargement moyen (UGB/ha SAU) de l'exploitation et le niveau d'émission de l'UGB, fourni par le diagnostic CAP2ER par exemple). En effet, il est préférable de comparer des flux de carbone entrant et sortant de la parcelle de même nature (carbone biogénique). Le carbone de la rumination ou des fermentations vient du carbone contenu dans l'alimentation des bovins (les fourrages et concentrés), lui-même capté par photosynthèse depuis l'atmosphère : c'est le cycle vivant du carbone. Notons que la séquestration de

carbone dans les trente premiers centimètres de sol peut toujours un jour retourner pour partie dans l'atmosphère (si les conduites favorables sont abandonnées, la prairie retournée, ...). La compensation de carbone provenant des horizons profonds de sol (carburant fossile) est davantage soumise à débat : ce carbone n'aurait jamais été déstocké sans l'intervention de l'homme et il est libéré dans l'atmosphère pour du long terme.

### 3.4.3. Comprendre la restitution graphique CarSoIEl : comparer son résultat à d'autres situations locales

Une restitution visuelle est proposée par l'application web à l'utilisateur, pour chaque situation simulée. L'utilisateur peut ainsi situer les résultats de sa parcelle (ou îlots de conduite et sols homogènes) par rapport aux références locales d'autres parcelles ayant le même type d'utilisation agricole ou non.

L'utilisateur détermine géographiquement la zone de comparaison choisie, territoire sur lequel il souhaite positionner son résultat de parcelles par rapport à d'autres. Les résultats appelés pour la comparaison sont ceux l'étude 4/1000 Pellerin et al 2019 actualisés (jeu de données amélioré) dans le cadre de CarSoIEl pour les prairies permanentes. L'utilisateur peut ainsi choisir de positionner la parcelle étudiée parmi d'autres sur un périmètre proche de l'exploitation, ou sur un zonage plus large (région, pays), en fonction de la zone sélectionnée dans l'étape de saisie.

Pour l'analyse du résultat, il peut choisir de comparer sa parcelle à d'autres, tous types d'utilisation agricole confondus. Ceci est intéressant si l'agriculteur envisage un changement d'utilisation sur des parcelles (conversion cultures vers prairie ou inversement) en vue d'augmenter l'autonomie alimentaire des animaux par exemple. Sinon, l'utilisateur choisira plutôt de comparer sa parcelle à un mode de gestion similaire : comparer sa prairie permanente à celles de la zone sélectionnée, ses cultures aux îlots de grandes cultures, ou les conduites mixtes entre elles.

Le graphe fournit le niveau de stockage de la parcelle (barre verticale de couleur orangée) par rapport aux niveaux de stockage obtenus dans la zone (axe horizontal). L'ombré représente le nombre de cas de parcelles ayant atteint ce niveau de stockage dans la zone choisie par l'utilisateur. Il s'agit des conduites agricoles dominantes (moyennes statistiques d'apports de fertilisants, assolements de cultures et nombres d'années en prairie dans les successions) rencontrés localement sur les types de sols présents.

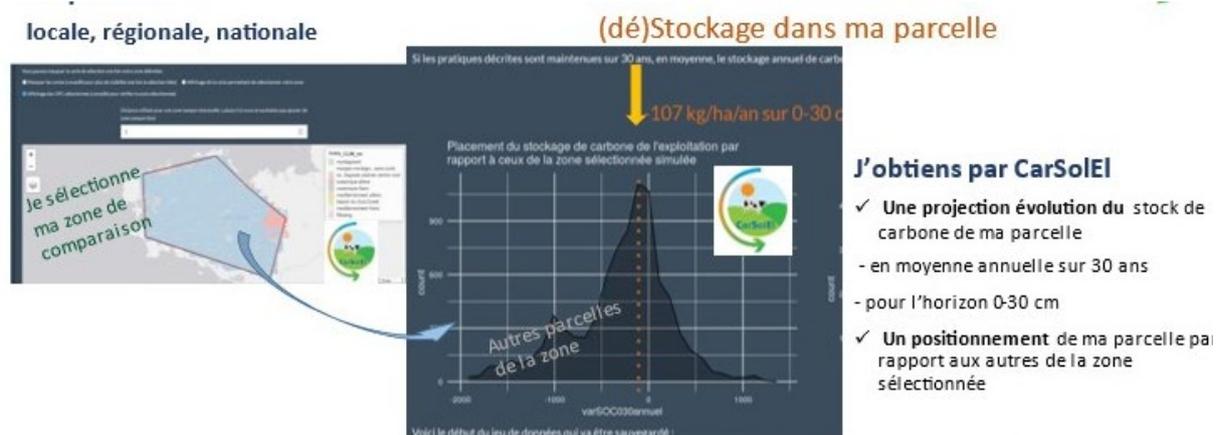


Figure 2 : Exemple de restitution par CarSoIEl

Pour que l'utilisateur puisse mieux appréhender les situations représentées en région lors de l'étude 4/1000, un référentiel de gammes de valeurs de stockage est proposé pour chaque zone climatique (8 zones sur la France métropolitaine, Joly et al 2010) et classe de texture de sol. Vous pouvez consulter ces graphes et tableaux en ligne sur le rapport complet du projet CarSoIEl.

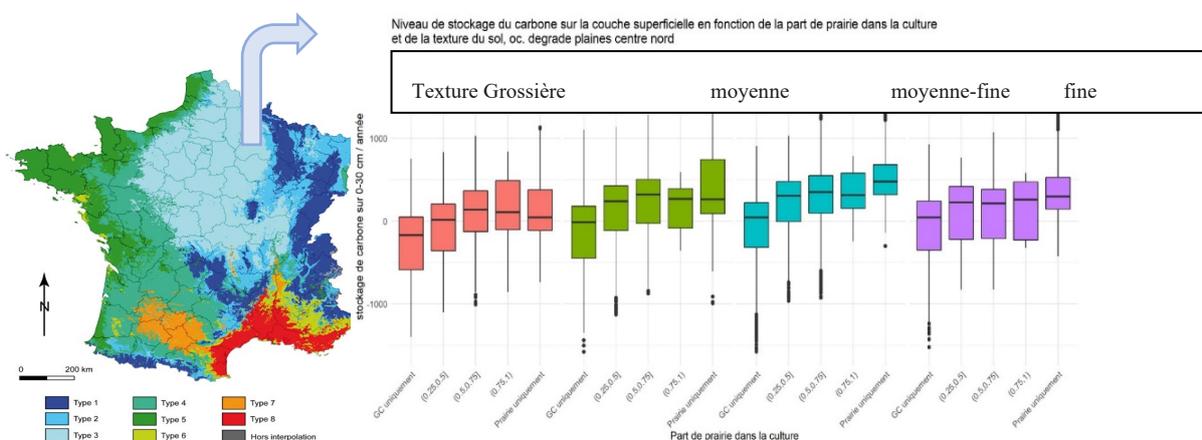
Se référer au type de sol correspondant le mieux à la situation, en termes de région, texture de sol, système de culture ou de prairie. Les graphes de stockage de carbone et les tableaux de pratiques simulées renseignent sur les gammes de valeurs rencontrées : moyenne, quartiles inférieur et supérieur. Les modes de conduite sont classés selon un gradient de durée de présence de la prairie sur la parcelle respectivement aux années en culture, depuis les îlots en grandes cultures seules jusqu'aux prairies permanentes. Les valeurs d'évolution de carbone organique du sol fournis dans ce référentiel sont issues d'une mise à jour des calculs PaSim pour CarSoIEl sur les prairies permanentes (et sont donc différentes des chiffres publiés en 2019). Les améliorations apportées sur les conduites prairies temporaires/cultures par re-paramétrage de STICS n'ont pas pu être intégrées au volet référentiel, ce qui rend l'estimation un peu pessimiste.

### 3.4.4. Oublier les repères forfaitaires de carbone stocké sous prairie et cultures

L'utilisation de l'outil CarSoIEl est proposée en remplacement des valeurs forfaitaires utilisées jusqu'ici dans Cap2ER. Globalement, dans l'état actuel des connaissances, le calcul CarSoIEl fournit des valeurs fortement variables car sensible aux milieux et aux pratiques. Par exemple, un utilisateur de CAP2ER était habitué à utiliser, pour des prairies permanentes hors estives et parcours, une valeur positive de + 570 kg C/ha/an quelle que soit la conduite de celle-ci et l'état initial du sol (plus ou moins riche en matières organiques ou pas, sol superficiel ou profond, ...). De même, le destockage de carbone de - 950 kg/ha/an affectée aux cultures suivant un retournement de prairie, quelle que soit la durée respective de ces deux phases et les conduites, n'est plus d'actualité. Ainsi, l'estimation d'évolution du stock de carbone restituée par CarSoIEl est adaptée aux situations étudiées, la même gestion de parcelle pouvant conduire à des valeurs (voire à des tendances) différentes selon les caractéristiques pédoclimatiques. De façon générale, des parcelles conduites de façon à restituer beaucoup de carbone au sol

(prairies permanentes pâturées, cultures fertilisées avec des fumiers-composts, CI enfouies), stockeront plus de carbone si le stock initial de C dans le sol est faible que s'il est élevé. Cela rend important le fait de considérer à la fois les stocks et le (dé)-stockage de C dans les sols pour le choix des modes d'exploitation. Cela rend aussi le plan d'action climat plus dynamique : si l'on envisage de modifier les temps au pâturage ou la fertilisation des parcelles dans le cadre d'une réduction d'émissions de gaz à effet de serre, on peut estimer les incidences induites sur les émissions ou captation du sol.

A titre indicatif, à une échelle nationale, les prairies permanentes, stockeraient autour de +220 à +460 kg C/ha/an, dans les sols de texture moyenne à fine (en moyenne de classe de sol, 109 600 simulations) pour des apports d'engrais de synthèse azotés faibles (30-40 kgN/ha par an). A contrario, les ilots en grande culture (238 700 simulations) ne peuvent en moyenne pas maintenir leur niveau de stock de carbone. Les cultures déstockent en moyenne autour de -100 à -130 kg C/ha/an pour apports de fertilisants minéraux nettement plus conséquents (145 à 160 unités d'azote en moyenne). Le nombre très limité de situations intégrées en sol à texture très fine (moins de 200 pour la France) doit inciter l'utilisateur à rester prudent quant à l'utilisation de situations repères dans les fermes concernées. Enfin, les pertes les plus importantes de carbone organique se retrouvent dans les sols à texture grossière, avec des ilots en culture déstockant en moyenne -280 kg C/ha/an (21 400 situations représentées, apport moyen de 155 unités d'azote minéral) et des prairies permanentes à -90 kg C/ha/an (17 400 simulations, apport moyen de 31 unités d'azote minéral). Ces contextes sont également sensibles aux pertes vers l'eau (lessivage de nitrate) et nécessitent donc des pratiques particulièrement ajustées aux contraintes du milieu.



La boîte à moustache comprend la médiane (barre horizontale), encadrée par le 1<sup>er</sup> et le 3<sup>ème</sup> quartile. Plus ces quartiles sont éloignés de la moyenne, plus la variabilité est grande. Les points qui vont au-delà des barres verticales sont des points extrêmes.

Figure 3 : Gamme de stockage (à droite) pour le climat de zone 3 (climat océanique dégradé centre nord, carte à gauche): Niveau de (dé)-stockage du carbone dans l'horizon 0-30cm du sol en fonction de la part de la prairie dans la rotation et de la texture des sols

Des tableaux complémentaires sont mis à disposition indiquant les conduites moyennes conduisant à ces niveaux de stockage : fertilisations organique et minérale appliquées, rendements de coupe et nombre de jours de pâturage, stock de carbone initial (annexe 4 du rapport CarSolEl complet).

## 4. Approche globale sur l'exploitation : construire un scénario favorable à la fertilité du sol

Les agriculteurs consultés lors de l'élaboration du cahier des charges de l'outil, soit des éleveurs spécialisés ou polyculteurs-éleveurs, en conventionnel et en agriculture biologique, ont souligné l'importance de garder une vision globale de la gestion de la fertilité des sols sur l'exploitation. C'est pourquoi le calculateur CarSolEl permet de réfléchir, avec le même formalisme d'estimation, à l'impact des conduites actuelles sur l'amélioration, le statut quo ou la dégradation du stock de carbone du sol. Sont intégrables dans cette approche les surfaces engageant l'atelier d'élevage, en fourragères annuelles, en prairies de courte ou longue durée ou en cultures autoconsommées. Par extension, il est possible d'associer les grandes cultures de vente, celles-ci bénéficiant souvent des apports d'engrais organiques issus de l'atelier d'élevage. La variété de cultures représentées reste cependant limitée aux grandes productions intégrées dans l'étude 4/1000 : céréales à pailles (blé tendre), maïs fourrage et maïs grain, colza, tournesol, pois d'hivers et de printemps, luzerne, à la fois simulables par le modèle Stics et occupant des surfaces importantes au moins localement.

### 4.1. Combien de temps du diagnostic au conseil d'amélioration « stockage carbone sol » ?

Le temps consacré est relié au nombre de situations types renseignées et à l'accessibilité des données sur la ferme. Aussi, l'outil CarSolEl est souple d'utilisation et n'impose pas de cadre. L'utilisateur peut s'en servir à des fins de sensibilisation en intégrant deux ou trois parcelles caractéristiques de la ferme, qui intéressent particulièrement l'éleveur, ou pour un conseil global en intégrant davantage de situations afin d'être représentatif. Il est également possible de l'appliquer à toutes les parcelles si cela facilite l'importation de fichiers (cas de cahier de fertilisation déjà enregistrés sur cette unité dans l'exploitation).

Rappelons que le temps dédié à la saisie est faible, celui au calcul lui-même minime. La collecte des informations et leur synthèse en amont de la saisie est l'étape la plus longue puisqu'il faut retranscrire des conduites moyennes (successions de culture) sur des années climatiques représentatives d'où la nécessité, même pour la prairie permanente, de considérer plusieurs années. Ainsi, selon l'état des enregistrements dans la ferme (bien organisé, informatisé de longue date) ou non, selon le souhait de l'éleveur (se faire une idée des leviers ou savoir le plus précisément possible comment faire pour redresser des situations de baisse de fertilité), le temps consacré sera plus ou moins long.

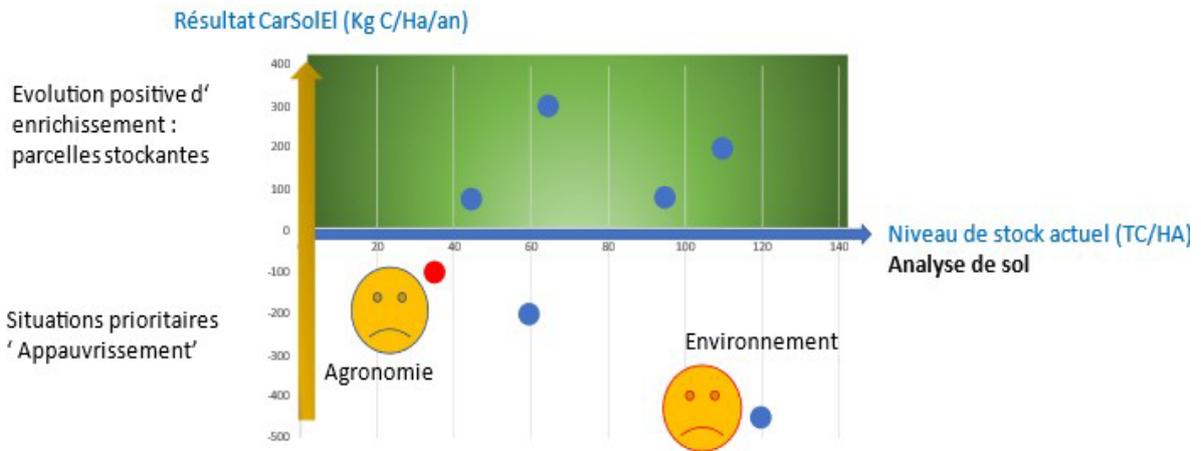
Enfin, chaque conseiller pourra aussi choisir la granulométrie à laquelle il souhaite utiliser l'outil, selon ses habitudes de conseil. Certains agronomes auront tendance à préférer une approche à la parcelle (enregistrements informatiques existants) reliée au potentiel de sol, ou chercheront à regrouper des îlots de culture ayant les mêmes successions et itinéraires techniques de cultures sur à un même profil de sol. Les conseiller d'élevage auront tendance à regrouper les parcelles par grand mode de gestion selon les contraintes et le gradient de présence des prairies : repérer les îlots pâturables (selon l'éloignement au site bâtiment, l'accès possible ou non par les chemins), leur aptitude aux récoltes (prairies mécanisables pouvant être fauchées ou non) et aux travaux de sol (prairies naturelles sur sols non labourables, prairies semées et renouvelées, alternant ou non avec des cultures), les îlots sur sols fertiles ou permettant des cultures annuelles (basse altitude des zones de montagne, état d'humidité des sols en plaine, ...). L'échange entre l'agriculteur et son conseiller permet d'identifier les conduites types et les hectares associés. Une fois cette étape menée, il est possible d'y apposer différents types de sols. Par exemple, des prairies uniquement pâturées et faiblement fertilisées en amendement organique car non mécanisables, peuvent se trouver sur un type de sol argileux et profond, d'autres sur un sol plus acide moyennement profond, d'autres encore sont séchantes sur sol calcaire superficiel. Les pratiques actuelles ou modifiées pourront engendrer des évolutions de C des sols différentes.

### 4.2. Repérer les situations problématiques sur l'exploitation où il est prioritaire d'agir

L'application CarSolEl fournit un résultat unitaire de situation type : le conseiller est libre de synthétiser les résultats selon sa sensibilité et la situation locale. Nous vous proposons ici quelques pistes 'à priori' pour vous familiariser à l'outil dans le cadre d'un objectif de plan d'amélioration.

#### Suggestion de restitution CarSolEl à l'éleveur

- Placer les niveaux de stock initiaux des parcelles sur l'axe horizontal, cela représente l'état du capital sol.
- Placer sur un axe vertical les tendances prédites par CarSolEl : cela représente la tendance, l'évolution à venir.
- Restituer à l'éleveurs les questions qui se posent dans sa configuration actuelle de gestion sur son exploitation : les conduites durables, celles dont l'état actuel organique actuel va se maintenir (entre -50 et + 50 kg C/An/an), les situations problématiques qui demandent de réfléchir à des solutions.



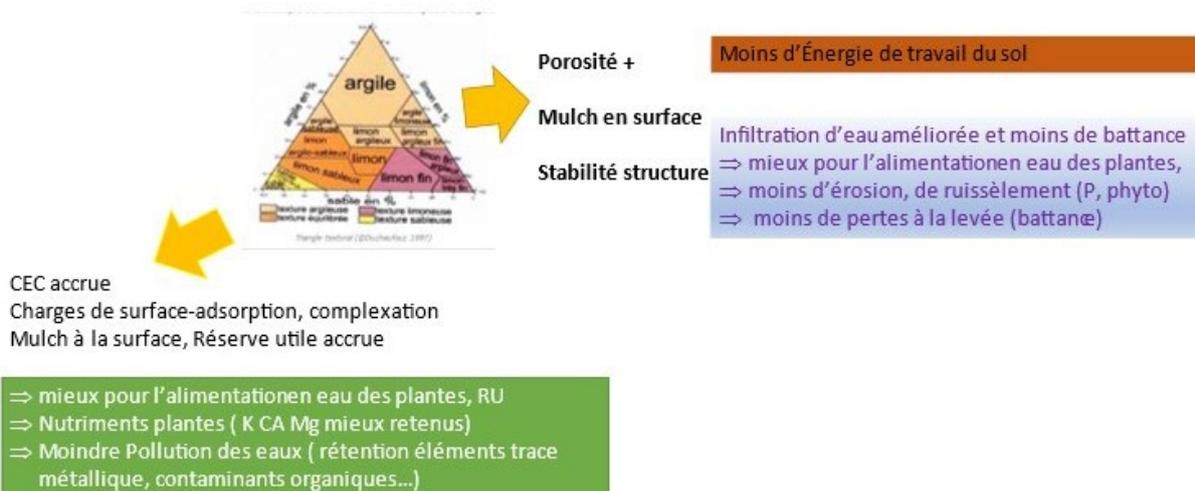
Notez dans le cas des parcelles types de la ferme exemple :

- La priorité pour l'environnement est d'agir pour réduire les niveaux de perte en carbone de la parcelle figurant en bas à droite : -450 kg C/ha/an sur 30 ans correspond à un départ vers l'atmosphère de 13.5 T C. Chaque hectare contribue à un effet 'réchauffement' de 49 T eq CO<sub>2</sub>. Si cette conduite type concerne une grande part de la SAU de l'exploitation alors la situation est vraiment problématique à la fois pour le climat et potentiellement pour l'eau. En effet, avec un rapport dans le sol de C/N = 10, c'est donc 1.3 Tonnes d'azote libéré depuis les matières organiques du sol de surface (0-30 cm), ressource pour partie captée par les racines des plantes (économie d'engrais minéraux) mais qui peut aussi provoquer une perte de nitrate par lixiviation en période humide hivernale. Le risque est d'autant plus fort que la rotation sur la parcelle génère un sol laissé fréquemment 'nu', ou avec une faible biomasse en place (couvert peu implanté, ...),
- La pédologie fait que les parcelles concernées sont plutôt drainantes et superficielles, avec des sols caillouteux, sableux, à faible réserve utile.
- Agronomiquement, la situation de la parcelle en bas à gauche est celle qui préoccupera le plus l'agriculteur car les sols des ilots sont déjà pauvres en matières organiques actuellement (stock à 35 T/ha). La prévision est à une baisse des taux de matières organiques dans les années à venir. Un déstockage de -100 kg C/ha/an correspond donc à une perte annuelle de 172 kg de matières organiques. En 30 ans, l'appauvrissement est de 5 tonnes de MO par hectare pour l'horizon de labour (30 cm). Selon la texture des sols, cette baisse de matière organique peut affecter progressivement plusieurs composantes de la fertilité.

Comme rappelé précédemment, un enrichissement en matières organique favorise la fourniture en nutriments utilisés par les plantes et constitue une ressource trophique pour les microorganismes et la faune du sol. Ceux-ci interviennent dans la régulation des ravageurs et pathogènes mais aussi réduisent le risque de contamination (biodégradation et minéralisation des contaminants organiques). Certains avantages à l'enrichissement en matières organiques sont encore plus sensibles sur les sols à texture sableuses (à gauche sur la figure), ou sur sols argileux ou limoneux battants (à droite de la figure).

Rappelons cependant qu'un excès d'apports organiques peut également générer des pertes de lessivage d'azote (sensible sur sols drainants, caillouteux ou/et sableux, en sols superficiels) ou générer des émissions de N<sub>2</sub>O accrues notamment dans les sols hydromorphes.

## Matières organiques et fertilité du sol



### 4.3. Leviers multiples à explorer

L'étude 4/1000 a exploré, à l'échelle nationale, différents leviers favorables aux matières organiques du sol. Ces leviers sont déclinés par région puisque celles-ci présentent des orientations agricoles différentes (grande cultures, d'élevage, de forêt, ...), ainsi que des caractéristiques de sol (sols sableux dans le sud-ouest, régions calcaires régions, massifs d'altitude à sol superficiel, ...). A l'échelle de l'exploitation des actions peuvent se concevoir en poursuivant une optimisation économique durable (maintien des produits et gain d'autonomie en intrants) en tenant compte des contraintes territoriales (disponibilités des masses d'eau à l'irrigation en situation d'évolution climatique, état de pollution azotée) et en ayant à cœur de préserver les conditions de travail et de revenu de l'agriculteur.

Dans un premier temps, chercher à détecter les situations problématiques en suivant un double axe de lecture des résultats CarSolel :

- Pour l'éleveur : relever les situations peu durables de sols avec perte de fertilité à long terme sur des parcelles à faible stock initial (ou état moyen), favoriser un ré-équilibre général (viser l'équilibre partout, et lorsque c'est possible un renforcement du stockage).
- Pour l'environnement : relever les situations à éviter par excès (trop de matières organiques apportées conduisant à minéralisation rapide, source de lessivage d'azote et de pertes de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère), les situations à maintenir (fort capital de carbone immobilisé dans le sol qu'il est important de préserver ou d'en limiter l'érosion : éviter notamment de déstabiliser ce carbone par un changement d'utilisation ou de gestion).

Dans un second temps chercher à ré-équilibrer : avec une approche globale des différents ilots voir comment mieux allouer les ressources de carbone générées par la photosynthèse sur l'exploitation (gestion des ressources internes, meilleure optimisation)

- Gestion des épandages : éviter les pertes (ouvrages de stockage aux normes permettant un épandage en période à faible risque de ruissèlement), réallocation des matières selon les besoins des couverts (éviter les situations de parcelles sans retour => échanges de service entre voisins), modification des types de produits (composts/fumiers/digesta/ effluents dilués, ... permettant d'épandre à juste dose ou sur de nouvelles parcelles) ;
- Davantage d'entrées par la biomasse : fertilisation raisonnée, présence de couverts systématique et implantés sur de longues durées, davantage productifs (choix et associations de plantes), flore de prairie plus résiliente face aux aléas climatiques ;
- Des gestions favorisant le retour au sol : moins d'exportation (agriculture de conservation valorisant qu'une faible partie des biomasses d'herbe produite, pâturage extensifs) ;
- Modification d'affectation : davantage de place dédiée aux prairies ;
- Nouvelles ressources : matières organiques ligneuses (plaquettes de bois pour les stabulations épandues sur parcelles) peuvent être une solution long terme à des ressources en pailles s'amenuisant.

Dans un dernier volet, faire appel à des ressources extérieures de matières, peu ou mal valorisées

- Compost urbains, digesta d'agro effluents, ...
- Importation de matières organique provenant d'élevage excédentaires, ...

Enfin, aborder d'autres volets si pertinents comme :

- Eviter l'artificialisation du sol : agrandissement des ouvrages, des logements des animaux, ...
- Favoriser l'implantation des arbres en intra parcellaire ou en haies, conserver par une gestion durable les linéaires de haies existants (cf. méthodologie Carbocage afin d'intégrer la séquestration de carbone dans les sols et les parties ligneuses).

La réflexion à ce stade doit interférer avec celle sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des autres atouts environnementaux :

- Moindre utilisation des engins (moins de carburant fossile)
- Limiter l'utilisation de fertilisant (consommation énergétique et émission N<sub>2</sub>O)
- Maintien d'une production animale (limiter CH<sub>4</sub> libéré pour la production de lait et viande)
- Préserver la ressource en eau des sols sensibles, selon la configuration du bassin versant : en pente et ruptures de pente, proximité des points d'eau, superficiels, drainant, ... sensibles à l'érosion ruissèlement
- Maintien de la biodiversité (maillage de haies) diversité des paysages

Le tableau 2 donne des exemples de leviers, simulables ou non avec CarSolel.

Tableau 2 : Exemple de leviers séquestration simulables ou non avec le métamodelle CarSolEl en élevage

Changements	Simulable avec CarSolEl
<b>Echelle exploitation</b>	<p>Ré-allocation des épandages vers des cultures, aux dépens des prairies (vérifier si cela ne crée pas de baisse de fertilité des sols sur ces ilots).</p> <p>Diminuer les apports de déjections épandues sur les ilots pâturés proches des bâtiments au profit des prairies de fauche plus éloignées.</p> <p>Incidence d'un accroissement de l'autonomie alimentaire des animaux, en produisant davantage de concentrés autoconsommés (céréales, protéagineux...) par réduction de la surface en herbe.</p> <p>Amélioration de la valorisation de l'herbe par une gestion plus maîtrisée en coupe ou pâturage (Incidence d'une extensification par augmentation des surfaces en herbe dans la SAU ? baisse des achats d'engrais minéraux (plus de légumineuses), modification de la part récolte/pâturage sur les prairies ? ...</p>
<b>Echelle parcelle, Prairies</b>	<p>Accroître la durée de vie des prairies et/ou réduire le nombre d'années en culture dans la succession.</p> <p>Incidence du passage d'un mode de gestion simple (uniquement récoltes mécaniques ou uniquement pâturage) à une gestion mixte ?</p> <p>Effet des changements de conduite des prairies : nombre de coupes, fréquence de pâturage et chargements instantanés, durée, ...</p>
<b>Actions cultures fourragères et grandes cultures</b>	<p>Nouveau matériel d'épandage utilisé sur l'exploitation permettant un apport de déjections sur des ilots auparavant uniquement fertilisés en engrais minéral.</p> <p>Réduction des doses de fertilisation organique et/ou minérale.</p> <p>Modification du type de fertilisation apportée (i.e fumier/lisier/vinasse, ...).</p> <p>Accroître la fréquence d'implantation en cultures intermédiaires, et leur chance de bon développement.</p> <p>Arrêt de l'irrigation sur l'ilot impliquant des changements dans la nature des cultures et/ou les rendements.</p>
<b>Leviers</b>	<b><u>NON Simulable</u></b>
Travail du sol	<p>Réduction de l'épaisseur de labour</p> <p>Modification de gestion des résidus (enfouis/exportés/laissés en surface)</p>
<b>Plantes</b>	<p>Modifier la nature ou le rendement des cultures intermédiaires implantées</p> <p>Effet de l'implantation de prairie sous couvert de céréales</p> <p>Des pâturages très intensifs (très forts chargements instantanés de pâturage tournant dynamique), situations de plein air hivernal (parcelles parking) sont hors de domaine de validation du calculateur CarSolEl.</p> <p>Flore prairial complexe favorisant un enracinement profond et multi strate</p> <p>Modification de la restitution au sol des résidus de culture (enfouis/exportés/laissés en surface)</p> <p>Pratiques innovantes visant à améliorer la qualité du sol et ne jamais avoir de sols nus (semis sous couvert, cultures sur couvert permanent, ...) Cultures associées (dont méteils céréales-légumineuses) non modélisées actuellement dans Stics.</p>
Déjections	<p>Passage d'un épandage lisier à du digestat de méthanisation</p> <p>Compostage de fumiers auparavant apportés brut</p>

#### **Bon à savoir** pour la réflexion sur les leviers

De façon générale dans les ilots avec grandes cultures seules, les variables de milieu influentes pour la prévision d'évolution de stock CarSolEl sont le stock initial de carbone (SOC 0-30), suivie du pH du sol, de la proportion d'argile et, au niveau des pratiques, de la dose totale d'engrais N minéral apporté par an et la fréquence des cultures intermédiaires en ilot grande cultures seules, les conduites de prairies temporaires dans les ilots en comprenant ( biomasses valorisées en coupe et au pâturage, proportions d'années en prairies versus cultures).

Dans les ilots en prairies permanentes, le modèle prédictif CarSolEl est plus complexe, c'est-à-dire qu'il y a beaucoup de variables importantes, peut-être du fait que ces données d'entrée sont souvent corrélées. Les variables qui influent le plus sont le nombre de coupes et les exportations de biomasse cumulée sur l'année pour ces interventions, ainsi que le fait d'avoir une exploitation mixte ou non (présence de pâturage accompagnant ou pas ces coupes), la nature du sol (% sable) et le niveau de stock C initial, et enfin le chargement (nombre cumulé d'UGB\*journées de pâturage/an/an) ont dans cet ordre décroissant, le plus d'importance.

#### 4.4. Finalisation du chiffrage : gestion des fichiers import/export

Une fois la réflexion globale exploitation réalisée et déclinée par parcelle type, calculez chacun des indicateurs caractérisant les nouvelles conduites de parcelles-type dans une nouvelle feuille excel.

**Conseil** : copier-coller la feuille diagnostic exporté pour récupérer les informations géographiques et mettez à jour les indicateurs de pratique souhaités suite à l'échange avec l'éleveur et la réflexion globale de scénario. Pensez à recoder le nom de la ligne.

Créer ainsi un fichier de donnée, sous xls à importer en csv, comprenant toutes vos lignes.

Depuis l'onglet d'accueil de l'application en ligne, importez votre fichier comprenant les x lignes de vos parcelles ' corrigées' du scénario améliorant.

Aller directement sur le résultat de stockage et exportez le fichier : tous les niveaux de stockage ont été mis à jour (première colonne).

Dans votre feuille excel, synthétisez les gains au niveau de l'exploitation : l'éleveur peut ne changer ses conduites que sur un certain % de surface affectées aux parcelles types, il est donc utile de créer cette colonne supplémentaire après export.

#### 4.5. Pour aller plus loin et affiner encore le chiffrage carbone

Une fois les divers scénarios présentés et discutés avec l'éleveur, vous finalisez celui qui lui correspond (ou l'intéresse) le plus. Il est possible à ce stade qu'un chiffrage complémentaire sur certaines variantes pour des parcelles grandes cultures soient souhaité, qu'il n'est pas possible actuellement de réaliser avec l'outil CarSolel.

Sur les ilots en **grande cultures seules ou avec peu de prairie** (1-2 ans, en fauche uniquement), un chiffrage à l'aide d'un outil basé sur AMG peut permettre d'affiner le scénario améliorant. Le calcul offre la possibilité de renseigner une plus grande variété de conduite de cultures annuelles, l'impact du mode de gestion des résidus laissés en surface/enfouis/exportés, plus grande variété de nature de PRO paramétrée. Vous y définirez également l'épaisseur labouré et pourrez moduler les doses d'irrigation plus finement (volumes apportés à renseigner). Le calcul est également très sensible au niveau de rendement des cultures intermédiaires ce qui peut être apprécié par des agriculteurs en techniques de conservation (non-labour avec forte biomasse intermédiaire restituée).

Attention toutefois : si vous complétez l'approche CarSoleL par l'utilisation d'AMG sur les ilots grande culture, il est **important de prendre une valeur de stock après 30 ans de mise en pratique** et de calculer ensuite le stockage selon la formule de l'IPCC :  $(\text{stock final} - \text{stock initial}) / \text{nombre d'années}$ . Sinon, les résultats des deux approches seraient incohérents entre eux.

	AMG	CARSOLEL
<b>Echelle</b>	Assolement avec une entrée culture	Rotation sur ilots types CONDUITE * SOL
<b>Accessibilité des données</b>	Accessible facilement.. Sur la partie pédologique, nécessite des analyses	Sélection zone => sol et climat par défaut Plan fumure et Planning pâturage
<b>Périmètre</b>	Grandes cultures et PT de 1-2 ans	Prairie permanente, temporaire, grandescultures
<b>sensibilité</b>	Outil très sensible aux rendements, gestion des résidus, rendement des intercultures	Sensible aux données de sol (MO, pH, %argile et sable) <b>Fertilisation, valorisation Fauche/pâturage, durée de vie prairies, fréquence des intercultures</b>
<b>fiabilité</b>	Sentiment terrain : Très optimiste avec localement un certains décalage entre les dynamiques de MO observé et les projections	Forte concordance avec les projections et INRAE 4/1000, mais bénéfices de la prairie temporaire reste sous estimé
<b>Restitution du résultat</b>	L'évolution du stock est modulée dans le temps : les taux annuels sont fortement accentués les premières années (5 ans)	Le stockage carbone est fournit sur une moyenne de 30 ans (ce qui minimise les variations initiales: $(\text{Stock final à 30 ans} - \text{stock initial})/30$ )

Figure 4 : Apports complémentaires de CarSolel et AMG sur une ferme de polyculture élevage

Sur le volet plantation et entretien des haies, en dehors de conseils techniques offert dans les plans de gestion durable des haies, vous pouvez vous référer à la méthodologie Carbocage afin d'intégrer la séquestration de carbone dans les sols et les parties ligneuses en place

## 5. Dans quel cadre utiliser CarSolEL ?

---

La démarche présentée dans ce document correspond à ce qu'il est possible de faire sur une ferme avec un éleveur pour imaginer de nouvelles conduites, en classe avec des étudiants en formation élevage-agronomie-environnement, en recherche de co-construction de démarche éco-conception.

Par ailleurs, elle pourra apporter des éléments utiles au chiffrage de l'impact de l'élevage sur les sols dans d'autres cadres comme les analyses de cycle de vie (ACV), pour les fermes d'élevage en France métropolitaine.

Dans ces situations, des cadres propres sont définis pour déterminer la part de l'effort de changement qui est valorisable. Renseignez-vous avant de fournir des chiffres.

Deux guides à portée ACV établissant des lignes directrices pour le calcul et la prise en compte du Carbone dans les systèmes d'élevage sont ou seront disponibles à savoir (i) un guide sur les changements d'usages des sols <sup>1</sup> et un guide sur la séquestration du Carbone (Projet C-Sequ)<sup>2</sup>.

Ces guides visent à fournir des recommandations en lien avec les évolutions du stock de carbone (0-30 cm) (sols et arbres) dans le cadre à la fois de modifications d'usages des sols et de modifications de pratiques. Basées sur des variations de stocks de carbone (stock final – stock initial), des connaissances sur ces évolutions sont donc indispensables pour prendre en compte finement l'ensemble des paramètres reconnus comme influençant cette variation (type de sol, température et pratiques).

Deux points d'importance sont à considérer pour cette prise en compte. Le premier est l'état de référence et le second est la fenêtre de responsabilité. En effet, si les guides recommandent de prendre en compte un état historique, difficilement mesurable, il est indiqué qu'une fenêtre de responsabilité de 20 ans apparaît comme étant une échelle cohérente avec les pratiques de gestion encourageant des changements de pratiques sur une échelle de temps gérable. Ainsi, l'état de référence du stock de carbone serait la valeur du stock à n-20 ans. Sur cette base, l'évolution des stocks modélisés par CarSolEL (appliqués sur un temps de 20 ans) issus de modélisation mécanistes (Tier III) répondent aux méthodologies actuelles.

## 6. Précautions d'usage

---

L'usage de l'application CarSolEL en ligne est libre et destiné à des utilisateurs avertis. Il vous est demandé de mentionner à minima dans vos rendus d'étude le nom de l'outil CarSolEL et les partenaires INRAE Idele ayant contribué à sa création. Mettre le logo de l'outil CarSolEL également dans les restitutions orales (présentations power point, ...).

Les résultats obtenus sont sous la responsabilité des utilisateurs et il est donc préconisé de bien lire entièrement ce guide.

Bonne utilisation.

N'hésitez pas à nous faire des retours par mail sur le niveau de satisfaction et suggestion d'améliorations à venir.

---

<sup>1</sup> [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard\\_041613.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf)

<https://quantis-intl.com/strategy/collaborative-initiatives/accounting-for-natural-climate-solutions/>

<sup>2</sup> Interim Guidelines (August 2021) – Not available for general public

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



#### HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

## CARSOLEL

Le modèle « CarSolEl » est basée sur une méthode de machine Learning utilisant des simulations STICS et PaSim de l'étude INRAE 4p1000 (Pellerin et al., 2019) et retravaillées en s'appuyant sur les données expérimentales de trois sites longue durée incluant des rotations fourragères et des prairies permanentes dans des milieux diversifiés en Bretagne (Rotations Kerbernez, 29), en Poitou (ORE ACBB Lusignan, 86) et sur le Massif Central (Theix-Laqueuille, 63). CarSolEl est disponible sur une interface Shiny facile à utiliser de façon à être intégré dans divers outils d'évaluation multicritères (CAP2ER®, ACV, ...).

Ce guide utilisateur présente comment utiliser l'outil en ligne, les informations à saisir, les limites d'application, la compréhension des résultats ainsi que la façon de l'utiliser pour simuler des leviers d'amélioration sur une ferme.

### ***L'Essentiel***

*Estimer l'évolution du stock de carbone du sol globalement en élevage est possible facilement avec CarSolEl qui intègre un module de calcul pour prairies de courtes et longues durées.*

*C'est un enjeu stratégique dans une optique 4/1000 car les prairies couvrent 44% du territoire Français.*

*L'outil CarSolEl en ligne est utilisable sur des situations de France métropolitaine, où il fournit une évolution moyenne annuelle du de stock de carbone de l'horizon supérieur (0-30cm), dans une perspective de travail à 30ans.*

*Ce guide pratique est conçu pour les utilisateurs de l'outil : saisie, résultats, scénarisation.*

