

## Règlement technique ClimaCert



Version n°4 du 18.08.2025

Adopté par le comité d'AgroImpact 18.08.2025

Entrée en vigueur le 1septembre 2025

## Table des matières

1. Généralités .....	4
1.1 Introduction.....	4
1.2 Objectif du dispositif ClimaCert.....	4
1.3 Documents relatifs au dispositif ClimaCert .....	5
1.4 Objectif du règlement technique .....	5
1.5 Demandeur.....	5
1.6 Droit d'usage de la marque ClimaCert .....	5
1.7 Transmission des indicateurs et registre.....	5
1.8 Média.....	6
1.9 Accès aux données des exploitations agricoles.....	7
1.10 Protection des données.....	7
2. Calcul des indicateurs ClimaCert .....	7
3. Contrôles .....	7
3.1. Contrôles des données pour le calcul des indicateurs de transition.....	7
3.2 Contrôle des personnes et organismes habilités .....	8
3.3 Audit et certification de la gérance .....	8
3.4 Sanctions .....	8
4. Attestation .....	8
5. Plan d'action .....	8
6. Bases légales.....	9
7. Facturation .....	9
8. For juridique .....	10

Version	Date de publication	Date effectives	Modifications
V1	11.12.2023	11.12.2023 - 24.05.2024	Première version adoptée
V2	24.05.2024	24.05.2024- 07.02.2025	<ul style="list-style-type: none"><li>- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...)</li><li>- Ajout objectifs du dispositif ClimaCert</li><li>- Précisions sur la fréquence des contrôles, le plan d'action et les bases légales</li></ul>
V3	07.02.2025	07.02.2025 - 01.09.2025	<ul style="list-style-type: none"><li>- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...)</li><li>- Précisions sur l'utilisation de la marque ClimaCert</li></ul>
V4	01.09.2025	01.09.2025 -	Adaptation de la coordination des contrôles (pour déploiement CH-DE)

## 1. Généralités

### 1.1 Introduction

Le changement climatique affecte d'ores et déjà les fermes suisses : l'adaptation de l'agriculture au changement climatique est un enjeu prioritaire pour le maintien de la production de denrées alimentaires, tout comme la réduction de son impact sur celui-ci. Le secteur agricole peut ainsi contribuer activement à la transition climatique en améliorant la résilience du système alimentaire face à la multiplication des effets des changements climatiques.

Par ailleurs, les attentes sociétales vis-à-vis du système alimentaire se font de plus en plus pressantes et multiples, que ce soit en termes d'autosuffisance, de décarbonation, de préservation de la biodiversité et des ressources (eau, sol, ...), de santé des consommateurs, de bien-être animal ou encore de préservation des conditions et qualité de vie des agriculteurs de moins en moins nombreux pour nourrir une population grandissante.

Pour les exploitants agricoles, limiter les changements climatiques à venir nécessitera notamment de pouvoir mesurer l'impact climatique de leurs activités de façon fiable et crédible. Ces mesures individuelles doivent permettre d'identifier les leviers d'action à l'échelle des exploitations, mesurer leur efficacité et de veiller à ce que ces changements améliorent également d'autres critères de durabilité.

Dans ce contexte, l'association AgroImpact propose le présent règlement qui définit un cadre organisationnel, rigoureux et transparent, pour la **mesure et le calcul d'indicateurs de transition agricoles** « **indicateurs ClimaCert** ». Les indicateurs ClimaCert portent notamment sur le carbone, la biodiversité, l'eau et sont en constante évolution, conformément aux nouvelles avancées scientifiques ainsi qu'aux propositions formulées par la commission technique ClimaCert.

Afin d'assurer la fiabilité du dispositif ClimaCert, ce dernier est certifié par l'Organisme Intercantonal de Certification (OIC). Le présent règlement accompagne un règlement organisationnel qui définit le système de gouvernance du dispositif ClimaCert. Ce dispositif permettra également de soutenir la mise en œuvre des volets agricoles des plans climats cantonaux qui le souhaitent.

### 1.2 Objectif du dispositif ClimaCert

Le dispositif ClimaCert vise à harmoniser auprès de ses adhérents des pratiques d'évaluation agro-environnementales utilisées notamment pour l'évaluation des services écosystémiques rendus par l'agriculture dans le cadre de la transition climatique, de garantir la fiabilité des données donnant lieu à l'émission d'indicateurs fiables et d'assurer une traçabilité de ces derniers. En outre, le dispositif permet de mesurer les efforts obtenus par le secteur agricole pour améliorer les indicateurs tout en s'assurant que la production de matière première ne soit pas impactée et que d'autres indicateurs de durabilité ne soient péjorés.

Objectifs :

- Un dispositif d'évaluation des pratiques agricoles du point de vue des services écosystémiques rendus et des impacts environnementaux.
- Un dispositif harmonisé entre les adhérents, reposant sur des bases scientifiques solides et reconnues
- Un système d'indicateurs partagés avec les partenaires de l'agriculture et permettant la valorisation des progrès consentis
- Une approche qui privilégie l'adaptation au changement climatique et la valorisation de produits décarbonés tout en évitant les effets pervers potentiels des marchés carbone
- Un système évolutif défini entre les parties prenantes et en mesure d'intégrer les progrès des connaissances sur la relation entre pratiques agricoles et gestion durable des services environnementaux.

### **1.3 Documents relatifs au dispositif ClimaCert**

Voir chapitre 1.3 du règlement organisationnel.

### **1.4 Objectif du règlement technique**

Le présent règlement technique définit les méthodes, outils et habilitations reconnues pour la mesure et le calcul d'indicateurs climatiques par le dispositif ClimaCert.

### **1.5 Demandeur**

Par *demandeur*, on entend une exploitation agricole, ou groupe d'exploitations au sens de la terminologie agricole produisant des matières premières agricoles, qui dépose une demande auprès de la gérance<sup>1</sup> pour le calcul ou la mesure d'indicateurs ClimaCert.

### **1.6 Droit d'usage de la marque ClimaCert**

Le droit d'usage des logos ClimaCert est défini dans l'annexe 1 du règlement technique.

L'usage de la marque et des indicateurs ClimaCert certifiés est interdit dans le cadre de démarches de compensation carbone, de crédits carbone ou de transfert de droits carbone.

### **1.7 Transmission des indicateurs et registre**

La gérance est autorisée à fournir les indicateurs ou attestations ClimaCert ainsi que toute information en lien avec le calcul ou la mesure de ces derniers aux instances concernées telles que cantons, labels de production, interprofessions, coopératives ou autres structures agricoles en lien avec l'exploitation

---

<sup>1</sup> La gérance est l'organisme qui assure la mise en œuvre du dispositif ClimaCert et le bon déroulement de la commission technique et des groupes de travail thématiques (cf. règlement organisationnel chapitre 1.6).

agricole ayant obtenu une attestation ClimaCert. L'exploitant peut s'opposer, par une demande explicite adressée à la gérance, à la transmission de ces données.

En outre, la transmission des données individuelles aux financeurs est soumise à des conditions spécifiques. Conformément aux engagements contractuels établis dans chaque programme, les financeurs reçoivent des indicateurs agrégés pour l'ensemble des producteurs soutenus, en lien avec les bilans de masses de produits agricoles engagés. Tout transfert de données individuelles doit respecter strictement l'anonymat des exploitations concernées. De plus, les demandes de transmission de données pour des projets de recherche par l'un des membres de l'association nécessitent la formalisation d'un contrat de confidentialité. AgroImpact assume le rôle de coordination dans l'utilisation des données, que ce soit pour des fins de recherche ou de communication. Toute demande de transmission de données individuelles sera soumise au comité pour approbation, en évaluant l'intérêt de la démarche pour l'association et ses membres.

Toute exploitation agricole ayant obtenu une attestation ClimaCert sera inscrite au registre public ClimaCert. Aucune valeur d'indicateur climatique certifiée n'est exposée dans ce registre.

Lors de transformation de l'exploitation agricole (notamment transmission, rachat, changement de gérant, reprise d'exploitation, fin d'un atelier, nouvel atelier), les indicateurs ClimaCert restent valides pour l'exploitation pour autant que des modifications majeures ne soient amenées à son système (e.g. arrêt d'un atelier, cessions de parcelles...). Toute transmission d'exploitation doit être annoncée à la gérance et ceci dans les 60 jours suivant la transmission. Après l'annonce à la gérance, une analyse sera entreprise par cette dernière afin de déterminer si l'exploitation reprenneuse peut faire usage des indicateurs ClimaCert. Dans le cas d'une analyse concluante, les indicateurs seront transmis à la nouvelle structure et une nouvelle attestation sera élaborée par la gérance. Dans le cas où la transmission est non recevable, une décision sera transmise aux responsables de la structure concernée. Un recours peut être adressé par voie écrite à l'instance de recours indépendante désignée par le comité d'AgroImpact.

Lors de fusion d'exploitations agricoles (fusion, mise en commun, association d'exploitation partielle ou totale, ...) les indicateurs ClimaCert ne sont pas valables pour la nouvelle entité sauf si toutes les exploitations agricoles fusionnant détiennent les mêmes indicateurs ClimaCert et que ceux-ci sont valides. Toute fusion d'exploitation agricole doit être annoncée à la gérance et ceci dans les 30 jours suivant la fusion. Après l'annonce à la gérance, les indicateurs seront mis à jour et une nouvelle attestation sera transmise à la nouvelle exploitation.

Si les délais d'annonces ne sont pas respectés, une sanction de niveau 1 sera appliquée (chapitre 3.4)

## **1.8 Média**

Lors de visites de média non annoncées ou planifiées en lien avec le dispositif ClimaCert sur une exploitation, la gérance doit être immédiatement informée.

Afin de faciliter la communication au grand public et d'aider les exploitations agricoles qui souhaitent mettre en évidence leur démarche, des supports de communications peuvent être commandés auprès de la gérance.

## **1.9 Accès aux données des exploitations agricoles**

L'exploitant agricole autorise la gérance à collecter toutes données auprès de ladite structure et de tiers en vue de la délivrance d'indicateurs ClimaCert.

La gérance peut utiliser les données de manière anonymisée à des fins statistiques et d'analyse technique. Le résultat de ces analyses peut être transmis à des tiers.

## **1.10 Protection des données**

La gérance et l'auteur du règlement s'engagent à ce que les données saisies, utilisées, transmises et stockées respectent la politique de confidentialité exposée dans l'annexe 2.

## **2. Calcul des indicateurs ClimaCert**

La transition climatique des exploitations agricoles suisses est très fortement liée à l'amélioration d'autres critères de durabilité comme les émissions de gaz à effet de serre, la protection de la biodiversité, l'utilisation d'eau ou d'énergie. Des indicateurs sont nécessaires pour mesurer et suivre l'évolution de ces critères de durabilité et d'ainsi mettre en lumière les efforts et bonnes pratiques mise en place dans les exploitations agricoles. Les indicateurs de transition sont calculés ou mesurés à l'aide d'outils et de méthodes spécifiques et reconnus par le dispositif ClimaCert. La description des indicateurs de transition et leurs méthodologies sont détaillées dans les fiches méthodologiques correspondantes.

## **3. Contrôles**

### **3.1. Contrôles des données pour le calcul des indicateurs de transition**

Le dispositif ClimaCert s'appuie sur des contrôles cantonaux existants dans le cadre de la politique agricole (paiements directs) et délègue des contrôles de terrain spécifiques pour les données contrôlables qui n'ont pas déjà fait l'objet d'un contrôle par des organismes tiers et accrédités.. Le contrôle des données spécifiques à ClimaCert est effectué par un organe de contrôle reconnu. Les contrôles de terrain se basent sur des listes de contrôle éditées par la gérance. Les listes de contrôles ne sont pas publiques.

La coordination des contrôles est déléguée à des organismes tiers reconnus et accrédités.

Lors des contrôles, les exploitations sont tenues de fournir aux organismes de contrôles et de certification tous les renseignements demandés et de leur garantir l'accès à tous les documents administratifs dans la mesure où cela est nécessaire au contrôle du respect des exigences. Tous les renseignements et documents sont traités de manière confidentielle.

En cas de fausse déclaration, manquement, de non-conformité ou toute autre fraude, le schéma de sanctions exposé au chapitre 3.4 sera appliqué par la gérance. En cas de sanction, la gérance peut mandater un contrôle supplémentaire au frais de l'exploitation concernée.

Si la personne contrôlée fait délibérément obstacle à ceux qui ont pour mission de réaliser le contrôle de manière adéquate, si les contrôleurs sont menacés physiquement ou verbalement, la collaboration avec le dispositif ClimaCert est immédiatement suspendue et dénoncée. Une sanction de degré 3 est appliquée dès la suspension.

Des supervisions lors de contrôles peuvent être réalisées sans annonce au préalable par un des organes qui coordonne les contrôles, un organe de contrôle reconnu ou la gérance.

La fréquence des contrôles et les spécificités de ces derniers sont définies dans les fiches méthodologiques.

### **3.2 Contrôle des personnes et organismes habilités**

La gérance veille à ce que chaque personne habilitée à utiliser un outil ou une méthodologie dispose des compétences requises, respecte les directives établies par la gérance et agisse avec impartialité et intégrité dans l'exécution de ses missions. La gérance peut proposer des formations continues pour les personnes habilitées afin de mettre à jour leurs compétences selon les dernières évolutions technologiques et méthodologiques pertinentes à leur domaine d'activité.

Des supervisions lors de contrôles peuvent être réalisées sans annonce préalable par un des organes qui coordonne les contrôles ou un organe de contrôle reconnu.

### **3.3 Audit et certification de la gérance**

La gérance est auditée annuellement par l'OIC afin d'être certifiée. L'OIC contrôle que le dispositif ClimaCert, régi par les règlements, leurs annexes et les fiches méthodologiques, est bien mis en œuvre et que les processus en lien avec le dispositif ClimaCert sont exécutés de manière conforme.

### **3.4 Sanctions**

Les sanctions relatives au non-respect des directives du dispositif ClimaCert sont exposées dans l'annexe 3.

## **4. Attestation**

Par attestation on entend le fait de délivrer au demandeur ou à un groupement de demandeurs un document récapitulatif des indicateurs de transition demandés et son inscription au registre public ClimaCert. Ce document fait état des indicateurs ClimaCert de l'exploitation ou d'un groupement d'exploitations pour une année donnée ayant été établi selon les procédures définies dans les fiches méthodologiques de chaque indicateur.

## **5. Plan d'action**

Un plan d'action est un moyen d'améliorer les indicateurs ClimaCert par le biais de changements structurels ou de pratiques au niveau de l'exploitation agricole. Il s'agit d'un document établi par l'exploitant lors d'un entretien avec son conseiller agréé par la gérance.

Ce plan d'action est un document qui:

- décrit des leviers d'amélioration choisis,
- établit une prévision chiffrée de ou des l'indicateur.s certifié.s,
- engage l'exploitant par sa signature à mettre en œuvre les leviers,
- valide, par la signature du conseiller, la compatibilité des changements avec d'autres programmes et leur faisabilité technique.

AgroImpact peut effectuer des vérifications pour s'assurer que les pratiques mentionnées dans le plan d'action sont effectivement mises en œuvre sur l'exploitation. Un plan d'action doit être élaboré à la suite d'un diagnostic ClimaCert datant de moins de cinq ans. Un plan d'action doit viser à améliorer les différents indicateurs de durabilité (émissions, état du sol, biodiversité, utilisation de l'eau, de l'énergie, situation socio-économique) et ne peut en aucun cas en améliorer un au détriment d'un autre.

## **6. Bases légales**

Le présent règlement s'appuie sur toutes les bases légales en lien avec l'agriculture, notamment la loi fédérale sur l'agriculture (RS 910.1) et ses ordonnances (RS 910.13, RS916.307, RS 916.307.1, RS 916.401, RS 916.404.1, RS 916.441.22, RS 916.307.11), la loi fédérale sur la protection des animaux (RS 455) et ses ordonnances (RS 455.1, RS 455.110.1), la loi fédérale sur la protection des eaux (RS 814.20) et son ordonnance (814.201), la loi fédérale sur les produits thérapeutiques (RS 812.21) et ses ordonnances (RS812.212.1 et RS 812.212.27) et la loi fédérale sur les denrées alimentaires (RS 817.0) et son ordonnance (RS 817.02).

Ce règlement s'appuie également sur les accords et réglementations internationaux en lien avec l'agriculture tel que les accords de Paris<sup>2</sup> ratifié par la Confédération<sup>3</sup>, les rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)<sup>4</sup>, le GHG protocol<sup>5</sup> et sur le Science Based Target Initiative (SBTi)<sup>6</sup>

## **7. Facturation**

Le détail relatif à la facturation des prestations de la gérance sont exposées dans l'annexe 4 du règlement technique.

---

<sup>2</sup> <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

<sup>3</sup> [https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/climat--affaires-internationales/l\\_accord-de-paris-sur-le-climat.html](https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/climat--affaires-internationales/l_accord-de-paris-sur-le-climat.html)

<sup>4</sup> <https://www.ipcc.ch/>

<sup>5</sup> <https://ghgprotocol.org/>

<sup>6</sup> <https://sciencebasedtargets.org/>

## **8. For juridique**

En cas de litige résultant de l'application du présent règlement, le for juridique est à Lausanne en Suisse.

## Annexes du règlement technique ClimaCert



Version n°3 du 07.02.2025

Adopté par le comité d'AgroImpact 07.02.2025

Entrée en vigueur le 7 février 2025

## Table des matières

Annexe 1: Droit d'usage de la marque et logo ClimaCert .....	4
Annexe 2: Politique de confidentialité .....	5
Annexe 3: Sanctions relatives au non-respect des directives du dispositif ClimaCert.....	8
3.1 Niveaux de sanction .....	8
3.2 Contestation de sanction.....	9
Annexe 4: Facturation des prestations de la gérance .....	10

<b>Version</b>	<b>Date de publication</b>	<b>Date effectives</b>	<b>Modifications</b>
V1	11.12.2023	11.12.2023 - 24.05.2024	Première version adoptée
V2	24.05.2024	24.05.2024- 07.02.2025	- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...) - Ajout collecte de données pour autres indicateurs ClimaCert possible
V3	07.02.2025	07.02.2025 –	- Correction du tableau de sanction

## **Annexe 1: Droit d'usage de la marque et logo ClimaCert**

Le demandeur est autorisé à faire usage des indicateurs ClimaCert et des droits relatifs dès l'obtention d'une attestation ClimaCert faisant l'état de ses indicateurs ClimaCert. L'usage des indicateurs et de la marque est autorisé pour une durée maximale de 5 ans après la réception de l'attestation ClimaCert.

Le logo ClimaCert est déclinée en deux niveaux comme exposé sur la figure 1 ci-dessous.



Figure 1 : Logo ClimaCert niveau 1 (gauche), niveau 2 (droite)

Les demandeurs ayant obtenu une attestation ClimaCert peuvent :

- Faire usage du logo niveau 1 (Figure 1) sur tous les documents de l'exploitation
- Utiliser le logo niveau 1 (Figure 1) à des fins de communication (logo sur bâtiment, sur machines, ...)
- Utiliser le logo niveau 1 (Figure 1) sur les produits et services de l'exploitation agricole
- Utiliser les résultats certifiés pour des allégations commerciales (*exemples : Le blé utilisé pour cette farine émet X kilos éq. CO<sub>2</sub> par kilo / Le lait contenu dans cette bouteille émet X kilos éq. CO<sub>2</sub> par litre, le sol de cette exploitation stocke Z tonnes éq. CO<sub>2</sub> par hectare .*

Les exploitations agricoles exclues ou non reconnues ne sont pas autorisées à utiliser le logo du règlement et doivent renvoyer tout support de communication en lien avec le règlement à la gérance à leur frais. Le matériel renvoyé ne sera en aucun cas remboursé par la gérance ou des tiers.

Les exploitations sont autorisées à utiliser le logo ClimaCert niveau 2 à la place du niveau 1, selon les conditions définies dans les fiches méthodologiques.

## **Annexe 2: Politique de confidentialité**

**Version 1.0 du 18.08.2023**

### **Généralités**

AgroImpact, Avenue des Jordils 1, 1001 Lausanne, (ci-après « l'auteur du règlement ») souhaite protéger au mieux vos données personnelles. Dans cette politique de confidentialité, nous vous informons sur la manière dont la gérance recueille, utilise, stock et transmet à des tiers vos données à caractère personnel en relation avec votre démarche de calcul d'indicateurs de transition climatique. Nous respectons ainsi les exigences de la loi suisse sur la protection des données.

### **Responsable du traitement**

La gérance du règlement est responsable du traitement de vos données à caractère personnel en relation avec l'application du présent règlement. Vous pouvez joindre notre responsable du traitement des données de la gérance à l'adresse [info@agroimpact.ch](mailto:info@agroimpact.ch) ou à notre adresse postale avec la mention «Responsable de la protection des données».

### **Types de données et finalité du traitement**

La gérance utilise les données communiquées par les demandeurs pour calculer les indicateurs climatiques et autres indicateurs, mais également pour planifier les activités de prélèvement sur le terrain. L'auteur du règlement et la gérance s'engagent à collecter seulement les données nécessaires au calcul des indicateurs prévus par le règlement, à l'élaboration de l'attestation et à l'établissement de la facture par la gérance.

### **Données demandées pendant le processus ClimaCert :**

Lors de la procédure du dispositif, nous collectons les données suivantes :

- Données générales (adresse, téléphone, numéro d'exploitation, ...)
- Données de recensement cantonal et fédéral
- Données géoréférencement
- Pratiques culturales et rendement des cultures
- Pratiques de transformation
- Bulletins de livraison/encavage, factures et décomptes
- Autoconsommation de produits et énergie
- Achats d'intrants et vente de produits
- Gestion du troupeau et recensement du troupeau
- Alimentation du troupeau
- Analyses de sol et carte pédologique
- Consommation énergétique (électricité, carburant, ...)
- Parc machine
- Travail par tiers et pour tiers

- Données de règlement tiers (Biosuisse, IP-SUISSE, ...)
- Données concernant la cession de droits carbone

L'ensemble des données demandées varient en fonction de l'exploitation agricole et du type de diagnostic sollicité par le requérant. Ainsi, bien qu'elle ne soit pas exhaustive, la liste ci-dessus fait l'état de catégorie de données pouvant être demandée au requérant. D'autres données nécessaires au calcul d'autres indicateurs de transition ne sont pas indiquées ici. Elles seront développées dans les fiches méthodologiques de chaque indicateurs

## Transmission de données personnelles

**Transmission de vos données aux sociétés du groupe Prométerre:** Dans la mesure où elles seraient nécessaires pour le calcul des indicateurs prévus par le présent règlement, la gérance pourra partager vos données avec l'association Prométerre qui héberge la gérance dans ses locaux.

**Transmission de données à des tiers:** La gérance du règlement peut déléguer certaines tâches et transmettre vos données à des tiers (prestataires de service, sous-traitant ou partenaires) en mesure de garantir la sécurité de ces données afin de mener à bien le calcul des indicateurs et de certifier les résultats. Les prestataires de services, les sous-traitants et les partenaires de la gérance sont contractuellement tenus aux finalités de traitement décrites dans le présent document. Ils ne peuvent traiter vos données que dans le cadre de l'exécution de leurs obligations contractuelles vis-à-vis de la gérance et de leurs obligations en vertu du droit applicable. Si l'auteur du règlement ou la gérance sont impliqués dans un regroupement d'entreprises (fusion), une entreprise commune (joint venture), une acquisition/vente d'entreprise ou une vente d'actifs, l'auteur du règlement ou la gérance peut transférer vos données pour traitement, le cas échéant, à l'autre partie à la transaction.

**Divulgarion dans le cadre d'une procédure pénale:** dans la mesure permise par la loi, nous pouvons divulguer des informations dont la divulgation est nécessaire ou opportune pour enquêter sur un délit réel ou présumé ou une autre violation de nos droits ou de droits de tiers ou pour prévenir un tel délit ou une telle violation.

**Données d'analyse agrégées et anonymisées:** Le propriétaire du règlement et la gérance peuvent transmettre au grand public et à d'autres partenaires des données regroupées (agrégées) ou des données qui ne permettent pas d'identifier les personnes concernées (anonymisées).

## Lieu de traitement et transfert vers des pays tiers

Vos données sont stockées sur les serveurs de Prométerre, sur les serveurs de l'Office Intercantonal de Certification Sàrl à l'Avenue d'Ouchy 66, Case postale 1080, CH-1001 Lausanne, sur les serveurs de l'Institut de l'Elevage français (IDELE) à Maison Nationale des Eleveurs 149, Rue de Bercy 75595, PARIS CEDEX 12, France, sur les serveurs de l'Institut Français de la Vigne et du Vin – IFV Services Domaine de l'Espiguette – 30240 LE GRAU DU ROI, France et sur les serveurs d'Infomaniak, Rue Eugène Marziano 25, CH-1227 Les Acacias.

## Durée de stockage

Toutes les données à caractère personnel stockées sont conservées aussi longtemps que cela est nécessaire pour maintenir la validité de l'attestation ClimaCert et pour les analyses statistiques anonymisées.

## Vos droits et leur exercice

**Révocation d'autorisations:** en ce qui concerne les traitements de données auxquels vous avez consenti, vous pouvez à tout moment révoquer votre consentement en demandant la suppression de vos données au moyen d'un courrier ou par e-mail. Dans ce cas, l'attestation est invalidée dès la date de suppression des données et il n'est plus possible de faire usage de la marque ou logo ou indicateur ClimaCert.

**Opposition:** vous pouvez à tout moment vous opposer aux traitements de vos données ou à un traitement déterminé.

**Droit d'accès et droit de transfert:** vous avez également le droit de savoir quelles données vous concernant nous traitons et à quelles fins, ainsi que de demander une copie gratuite de vos données.

**Droit de rectification:** si vos données sont incomplètes ou incorrectes, vous avez le droit d'exiger la rectification de vos données au moyen d'un courrier ou par e-mail.

**Droit d'effacement:** vous pouvez faire supprimer vos données à caractère personnel, en particulier si elles ne sont plus nécessaires aux finalités décrites.

**Décisions automatisées et profilage:** nous n'utilisons pas de système de décision automatisées ni n'effectuons aucun profilage.

Si vous souhaitez exercer vos droits décrits ci-dessus ou avez d'autres questions concernant le traitement de vos données, veuillez contacter notre responsable du traitement des données à l'adresse [info@agroimpact.ch](mailto:info@agroimpact.ch) ou à notre adresse postale avec la mention «Responsable du traitement des données».

## Réclamations

Si vous avez des raisons de penser que la gérance ne traite pas vos données à caractère personnel conformément aux lois et règlements en vigueur et/ou si vous n'êtes pas d'accord avec la réponse reçue à votre demande relative à l'exercice de vos droits, vous pouvez vous adresser au Préposé fédéral à la protection des données personnelles et à la transparence ou à l'autorité compétente.

## Mise à jour de cette politique de confidentialité

Nous pouvons modifier la présente politique de confidentialité à tout moment sans préavis. Veuillez vérifier régulièrement si des modifications ont été apportées aux présentes dispositions sur la protection des données. La version la plus récente sera publiée sur la plateforme électronique de la gérance. Les mises à jour seront datées au début du document de politique de confidentialité.

## **Annexe 3: Sanctions relatives au non-respect des directives du dispositif ClimaCert**

### **3.1 Niveaux de sanction**

En cas de demande explicite d'une exploitation sanctionnée, les délais fixés ci-dessous peuvent être adaptés mais ceci uniquement pour des situations valables présentées par écrit à la gérance au moins trois semaines avant le délai défini par le degré de sanction.

#### **1. Sanction de 1<sup>er</sup> degré**

Les sanctions de 1<sup>er</sup> degré relèvent d'un ou plusieurs manquements ou infractions mineurs. Les manquements doivent être corrigés dans un délai de deux mois consécutifs à la découverte de ces derniers et la gérance doit être informée immédiatement des corrections mises en place.

Une sanction de 1<sup>er</sup> degré n'entraîne pas de conséquence directe sur l'objet du règlement ou le droit d'usage des indicateurs. Toutefois, si les manquements ne sont pas corrigés dans le délai imparti, une sanction de deuxième degré est prononcée.

Dans le cas d'une correction induisant un changement de valeur des indicateurs de transition calculés, une mise à jour des indicateurs est réalisée par la gérance et une nouvelle attestation est délivrée. La création de nouveaux indicateurs invalide les indicateurs précédents.

#### **2. Sanction de 2<sup>ème</sup> degré**

Les sanctions de 2<sup>ème</sup> degré relèvent d'un ou plusieurs manquements ou infractions importants. Les manquements doivent être corrigés dans un délai de deux mois consécutifs à la découverte de ces derniers et la gérance doit être informée immédiatement des corrections mises en place.

Une sanction de 2<sup>ème</sup> degré entraîne une suspension immédiate du droit d'usage des indicateurs. L'attestation est également suspendue jusqu'à la correction du ou des manquements ou infractions. Toutefois, si les manquements ou infractions ne sont pas corrigés dans le délai imparti, une sanction de troisième degré est prononcée.

Lors d'une sanction de deuxième degré, des frais administratifs n'excédant pas CHF 180.00 peuvent être facturés à l'exploitation sanctionnée.

#### **3. Sanction de 3<sup>ème</sup> degré**

Les sanctions de 3<sup>ème</sup> degré relèvent de d'un ou plusieurs manquements ou infractions majeurs.

Une sanction de 3<sup>ème</sup> degré entraîne une exclusion immédiate du dispositif ClimaCert. Ainsi tout droit d'usage en lien avec le dispositif est interdit, les indicateurs ClimaCert sont invalidés de manière immédiate et l'attestation est retirée de manière immédiate.

L'exploitation est exclue pour une durée minimale de 12 mois mais peut, à l'échéance de ce délai, entamer une nouvelle procédure auprès de la gérance.

Une amende pour non-respect du règlement est facturée à l'exploitation sanctionnée au 3<sup>ème</sup> degré. Le montant de l'amende correspond à la moitié du montant facturé pour l'établissement des indicateurs ClimaCert pour un minimum de CHF 3000.00.

Lors d'une sanction de troisième degré, des frais administratifs n'excédant pas CHF 360.00 peuvent être facturés à l'exploitation sanctionnée.

Le tableau ci-dessous résume les sanctions et leur niveau en fonction de la faute commise :

		1 <sup>er</sup> degré	2 <sup>ème</sup> degré	3 <sup>ème</sup> degré
<b>1. Généralités</b>				
1.1	1 à 2 non-conformités lors du contrôle	X		
1.2	3 à 5 non-conformités lors du contrôle		X	
1.3	> 5 non-conformités lors du contrôle			X
1.4	Falsification intentionnelle établie			X
<b>2. Contrôle</b>				
2.1	Refus de contrôle			X
2.2	Agression verbale ou physique du contrôleur			X
<b>3. Facturation</b>				
3.1	Factures impayées après plusieurs rappels			X
<b>4. Droit d'usage</b>				
4.1	Utilisation non autorisée du logo		X	
4.2	Falsification de l'attestation / valeur d'un indicateur			X
<b>5. Diagnostic</b>				
5.1	Refus de prélèvement			X
5.2	Agression verbale ou physique du préleveur			X
<b>6. Changement d'exploitation, de structure</b>				
6.1	fusion, mise en commun, association d'exploitation partielle ou totale non annoncée		X	

### 3.2 Contestation de sanction

Un recours peut être adressé par courrier recommandé à la gérance dans les 10 jours suivant la communication de la sanction, qu'elle que soit son niveau. La commission indépendante qui gère les recours statue sur l'état des recours et rend sa décision à l'exploitation concernée et à la gérance.

## **Annexe 4: Facturation des prestations de la gérance**

Toute prestation en lien avec le dispositif ClimaCert réalisée par la gérance ou un tiers mandaté par cette dernière est facturée à l'exploitation par la gérance. Les frais administratifs et amendes découlant des sanctions sont également facturés par la gérance.

Toutes les factures sont émises une fois les prestations réalisées et sont payables sous 30 jours. Des acomptes peuvent être facturés.

Si la procédure ClimaCert est interrompue, les prestations réalisées sont facturées en prorata de l'avancement du dossier sous les mêmes conditions qu'une facture normale.

## Règlement organisationnel ClimaCert



Version n°4 du 18.08.2025

Adopté par le comité d'AgroImpact 18.08.2025

Entrée en vigueur le 1 septembre 2025

## Table des matières

1. Généralités .....	4
1.1 Introduction.....	4
1.2 Objectif du dispositif ClimaCert.....	4
1.3 Documents relatifs au dispositif ClimaCert .....	5
1.4 Objectif du règlement organisationnel .....	5
1.5 Auteur des règlements .....	5
1.6 Gérance .....	5
1.7 Propriété intellectuelle.....	5
1.8 Modification des règlements.....	6
2. Rôles et organes .....	6
2.1 Auteur des règlements .....	6
2.2 Gérance .....	6
2.3 Commission de recours .....	6
2.4 Commission technique .....	6
2.5 Organismes partenaires .....	7
2.6 Organisme de certification du dispositif ClimaCert.....	7
3. Missions de la gérance du dispositif ClimaCert.....	8
4. Bases légales.....	10
5. For juridique .....	10

Version	Date de publication	Date effectives	Modifications
V1	11.12.2023	11.12.2023 - 24.05.2024	Première version adoptée
V2	24.05.2024	24.05.2024-07.02.2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...)</li> <li>- Ajout objectifs du dispositif ClimaCert</li> <li>- Précision sur le rôle de la gérance et la commission technique et les bases légales</li> </ul>
V3	07.02.2025	07.02.2025 - 01.09.2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...)</li> <li>- Précisions sur la manière d'avertir les exploitants lors de modification du règlement</li> </ul>
V4	01.09.2025	01.09.2025 -	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptation de la coordination des contrôles (pour déploiement CH-DE)</li> <li>- Gérance centralise les demandes de modification du règlement et évalue les demandes avant de les soumettre à la comm. technique</li> </ul>

## 1. Généralités

### 1.1 Introduction

Le changement climatique affecte d'ores et déjà les fermes suisses : l'adaptation de l'agriculture au changement climatique est un enjeu prioritaire pour le maintien de la production de denrées alimentaires, tout comme la réduction de son impact sur celui-ci. Le secteur agricole peut ainsi contribuer activement à la transition climatique en améliorant la résilience du système alimentaire face à la multiplication des effets des changements climatiques.

Par ailleurs, les attentes sociétales vis-à-vis du système alimentaire se font de plus en plus pressantes et multiples, que ce soit en termes d'autosuffisance, de décarbonation, de préservation de la biodiversité et des ressources (eau, sol, ...), de santé des consommateurs, de bien-être animal ou encore de préservation des conditions et qualité de vie des agriculteurs de moins en moins nombreux pour nourrir une population grandissante.

Pour les exploitants agricoles, limiter les changements climatiques à venir nécessitera notamment de pouvoir mesurer l'impact climatique de leurs activités de façon fiable et crédible. Ces mesures individuelles doivent permettre d'identifier les leviers d'action à l'échelle des exploitations, mesurer leur efficacité et de veiller à ce que ces changements améliorent également d'autres critères de durabilité.

Dans ce contexte, l'association AgroImpact propose le présent règlement qui définit un cadre organisationnel, rigoureux et transparent, pour la **mesure et le calcul d'indicateurs de transition agricoles** « **indicateurs ClimaCert** ». Les indicateurs ClimaCert portent notamment sur le carbone, la biodiversité, l'eau et sont en constante évolution, conformément aux nouvelles avancées scientifiques ainsi qu'aux propositions formulées par la commission technique ClimaCert.

Afin d'assurer la fiabilité du dispositif ClimaCert, ce dernier est certifié par l'Organisme Intercantonal de Certification (OIC). Le présent règlement accompagne un règlement technique qui définit la méthodologie de calcul de ces indicateurs ClimaCert. Ce dispositif permettra également de soutenir la mise en œuvre des volets agricoles des plans climats cantonaux qui le souhaitent.

### 1.2 Objectif du dispositif ClimaCert

Le dispositif ClimaCert vise à harmoniser auprès de ses adhérents des pratiques d'évaluation agro-environnementales utilisées notamment pour l'évaluation des services écosystémiques rendus par l'agriculture dans le cadre de la transition climatique, de garantir la fiabilité des données donnant lieu à l'émission d'indicateurs fiables et d'assurer une traçabilité de ces derniers. En outre, le dispositif permet de mesurer les efforts obtenus par le secteur agricole pour améliorer les indicateurs tout en s'assurant que la production de matière première ne soit pas impactée et que d'autres indicateurs de durabilité ne soient péjorés.

Objectifs :

- Un dispositif d'évaluation des pratiques agricoles du point de vue des services écosystémiques rendus et des impacts environnementaux.
- Un dispositif harmonisé entre les adhérents, reposant sur des bases scientifiques solides et reconnues
- Un système d'indicateurs partagés avec les partenaires de l'agriculture et permettant la valorisation des progrès consentis
- Une approche qui privilégie l'adaptation au changement climatique et la valorisation de produits décarbonés tout en évitant les effets pervers potentiels des marchés carbone
- Un système évolutif défini entre les parties prenantes et en mesure d'intégrer les progrès des connaissances sur la relation entre pratiques agricoles et gestion durable des services environnementaux.

### **1.3 Documents relatifs au dispositif ClimaCert**

Le dispositif ClimaCert est régi par deux règlements complémentaires : le règlement organisationnel et le règlement technique. Ensemble ils établissent les éléments méthodologiques et de gouvernance permettant la mise en œuvre du dispositif sur le territoire suisse. Les annexes ainsi que les fiches méthodologiques sont constitutives du règlement technique. Les fiches méthodologiques établissent les méthodes pour le calcul ou la mesure d'indicateurs climatiques et processus de contrôles respectifs.

### **1.4 Objectif du règlement organisationnel**

Le présent règlement organisationnel définit le système de gouvernance du dispositif ClimaCert en spécifiant le rôle et pouvoir de l'auteur du règlement, de la gérance, des organes du dispositif, des partenaires et organismes mandatés par le propriétaire ou la gérance.

### **1.5 Auteur des règlements**

L'auteur des règlements technique et organisationnel, de leurs annexes et des fiches méthodologiques est l'association AgroImpact, Avenue des Jordils 1, CP 1080, 1001 Lausanne.

### **1.6 Gérance**

La gérance est l'organisme qui assure la mise en œuvre du dispositif ClimaCert et le bon déroulement de la commission technique et des groupes de travail thématiques. La gérance du dispositif ClimaCert est confiée à la direction d'AgroImpact.

### **1.7 Propriété intellectuelle**

Prométerre est le propriétaire de ClimaCert qui a été déposé comme marque auprès de l'Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle le 17.07.2023 par le cabinet Cosmovici Intellectual Property, Rue

du commerce 4, 1204 Genève. Prométerre confie à l'association AgroImpact l'utilisation et la gestion de la marque ClimaCert.

## **1.8 Modification des règlements**

La modification des règlements technique et organisationnel est la compétence de son auteur. Les annexes des règlements et les fiches méthodologiques peuvent être modifiées par la gérance sur propositions de la commission technique.

Les exploitations agricoles ou groupe d'exploitations pour lesquels des indicateurs ClimaCert auraient été délivrés sont avertis par voie électronique de tout changement dans le règlement dans le mois consécutif au changement.

## **2. Rôles et organes**

### **2.1 Auteur des règlements**

L'auteur peut modifier les règlements, leurs annexes et les fiches méthodologiques.

### **2.2 Gérance**

De manière générale, la gérance met en œuvre les directives édictées dans les règlements, s'assure du bon fonctionnement du dispositif ClimaCert, coordonne la réalisation des prestations en lien avec le dispositif, applique les sanctions, délivre les attestations et tient à jour le registre des exploitations agricoles. Sur proposition de la commission technique, elle peut modifier les annexes et fiches méthodologiques du présent règlement. Le détail des missions de la direction d'AgroImpact (la gérance) est exposé au chapitre 3 du présent règlement.

### **2.3 Commission de recours**

La commission de recours est désignée par le comité d'AgroImpact. Cet organe de recours indépendant est désigné pour statuer sur toute contestation lors de sanctions.

### **2.4 Commission technique**

Selon l'évolution des connaissances méthodologiques et scientifiques ainsi que des outils disponibles, la commission technique propose à la gérance des modifications du règlement technique, de ses annexes et des fiches méthodologiques. La commission technique assure la veille scientifique et technique ainsi que l'évolution des standards internationaux en lien avec le dispositif ClimaCert et répond aux demandes qui lui sont directement soumises par l'auteur du règlement ou la gérance. La commission technique génère des recommandations techniques qu'elle transmet directement à la gérance, en particulier l'évolution ou l'élaboration d'indicateurs ClimaCert.

La composition de la commission technique est exposée dans l'annexe 1 du règlement organisationnel. Elle est composée d'au moins 1 représentant des catégories d'organisation suivantes : Chambre d'agriculture, Groupement de producteurs, Formation et vulgarisation, Commerce, ONG, Recherche,

Canton. La représentativité de chaque catégorie est équilibrée. Les demandes de participation à la commission technique sont adressées à la gérance qui statue sur leur éligibilité.

La commission technique ClimaCert forme des groupes de travail thématiques, composés d'experts, dont la composition est exposée dans l'annexe 1 du règlement organisationnel. Ces groupes soumettent leurs propositions à la commission technique, jouant ainsi un rôle de force de propositions concrètes, notamment dans l'élaboration d'indicateurs et de méthodologies pour permettre l'évolution du règlement ClimaCert.

## **2.5 Organismes partenaires**

Les partenaires sont des tiers mandatés par la gérance afin de réaliser des prestations et tâches spécifiques en lien avec le dispositif ClimaCert.

## **2.6 Organisme de certification du dispositif ClimaCert**

Afin de mutualiser et coordonner l'organisation des contrôles des exploitations avec les contrôles agricoles déjà existants, le propriétaire confie à l'Office Intercantonal de Certification (OIC) le contrôle et la certification du dispositif ClimaCert.

Pour cela, l'OIC audite la gérance annuellement afin de vérifier la mise en œuvre du dispositif (processus internes), le respect des règlements, l'habilitation du personnel, la délivrance d'indicateurs ClimaCert, l'application des sanctions et la tenue du registre des exploitations agricoles ayant obtenu des indicateurs ClimaCert.

L'OIC coordonne les contrôles des exploitations agricoles romandes et mandate des organes de contrôles accrédités à cette fin. Les modalités de contrôles sont définies pour chaque indicateur ClimaCert dans les fiches méthodologiques. La reconnaissance des organes de contrôle romands est également déléguée à l'OIC. L'OIC signale immédiatement tout manquement d'une exploitation agricole à la gérance. Cette dernière applique le schéma de sanction (chapitre 3.4 du règlement technique) dès la réception de la notification de la part d'un organe de contrôle. L'OIC est responsable de la bonne conduite des contrôles qui lui sont délégués. La gérance tient à jour l'annexe 3 du règlement technique relative aux sanctions.

Tout comme pour les cantons romands, un organisme accrédité (pas encore défini à la date de modification de ce règlement) coordonne les contrôles des exploitations agricoles suisse alémanique et mandate des organes de contrôles accrédités à cette fin. Les modalités de contrôles sont définies pour chaque indicateur ClimaCert dans les fiches méthodologiques. La reconnaissance des organes de contrôle romands est également déléguée à cet organisme accrédité. Ce dernier signale immédiatement tout manquement d'une exploitation agricole à la gérance. Cette dernière applique le schéma de sanction (chapitre 3.4 du règlement technique) dès la réception de la notification de la part d'un organe de contrôle. L'organisme accrédité qui coordonne les contrôles en suisse alémanique est responsable de la bonne conduite des contrôles qui lui sont délégués. La gérance tient à jour l'annexe 3 du règlement technique relative aux sanctions.

### **3. Missions de la gérance du dispositif ClimaCert**

#### **Mise en œuvre du dispositif ClimaCert**

Il incombe à la gérance d'assurer la gestion opérationnelle, financière et humaine des ressources requises pour mettre en œuvre le dispositif ClimaCert. Concrètement, la gérance coordonne le déploiement du dispositif selon les spécificités de chaque canton partenaire, réalise et délègue à des tiers les activités et tâches du dispositif ClimaCert. Elle établit pour cela des conventions de partenariats spécifiques aux acteurs de chaque canton en s'appuyant sur les demandes et souhaits du comité de la chambre d'agriculture et service cantonal de l'agriculture concernés.

#### **Commission technique**

La gérance assure le secrétariat de la commission technique. La gérance centralise les demandes de modification du règlement ClimaCert, vérifie la validité et la conformité de la demande. Elle mandate des membres, des experts et chercheurs pour évaluer la demande. Une fois l'évaluation réalisée, cette évaluation est soumise à la commission technique qui statuera sur les résultats de l'évaluation, afin de les soumettre au comité ou de retravailler certains points si nécessaire.

#### **Modification des règlements**

Sur proposition de la commission technique, la gérance peut modifier les annexes du règlement technique ainsi que les fiches méthodologiques.

#### **Réalisation de diagnostics**

La gérance établit les diagnostics permettant le calcul d'indicateurs de transition. Cette dernière peut déléguer la réalisation de diagnostics à des tiers.

#### **Formation et habilitations**

La gérance s'assure de la formation et l'habilitation du personnel et des organismes, cantons partenaires ou membres AgroImpact, amenés à réaliser des activités pour le dispositif ClimaCert. La gérance peut donner des formations propres et peut déléguer le contenu de celles-ci à des tiers. La gérance s'assure donc que toutes les personnes et organismes habilités sont accrédités et compétents pour la réalisation des activités qui leur incombe (réalisation de diagnostic, collecte des données, ...). La gérance tient à jour une liste des personnes habilitées.

#### **Attestation**

La gérance établit et délivre des attestations ClimaCert.

#### **Registre des exploitations agricoles certifiées**

La gérance tient à jour et rend public un registre des exploitations agricoles ayant obtenu une attestation ClimaCert.

#### **Gestion et mise en valeur des données et résultats (indicateurs ClimaCert)**

La gérance collecte et stocke les données des exploitations afin de mesurer et/ou calculer des indicateurs de transition et d'entreprendre des analyses statistiques anonymisées publiées dans son rapport annuel. La gérance s'assure également du respect de la politique de confidentialité comme explicité dans le règlement technique chapitre 1.9

La gérance peut transmettre des informations sur les exploitations agricoles à des tiers privés ou publics selon les conditions exposées dans le règlement technique chapitre 1.6.

### **Média et communication**

Le comité d'AgroImpact coordonne la communication au grand public concernant le dispositif ClimaCert, la gérance accompagne les exploitations, les cantons et les membres AgroImpact qui souhaitent communiquer à ce propos et met à disposition des supports de communication.

La gérance fait la promotion du dispositif ClimaCert et des prestations qui y sont liées.

### **Droit d'usage**

La gérance s'assure du respect du droit d'usage de la marque ClimaCert comme explicité dans le règlement technique chapitre 1.5.

### **Contrôle, sanctions et contestations**

La gérance contrôle les données transmises par les exploitants.es pour le calcul d'indicateurs de transition. La gérance réalise une analyse de risque basée sur la cohérence des données pour chaque exploitation. Sur cette base, la gérance peut demander à l'OIC la réalisation de contrôles supplémentaires spécifiques. La gérance s'assure que les activités déléguées sont réalisées selon les termes contractuels.

La gérance notifie aux exploitations les résultats des contrôles et applique le régime de sanctions (chapitre 3.4 du règlement technique). La gérance recueille les recours et les transmet pour décision à l'auteur des règlements.

### **Coordination des organes et partenaires**

De manière générale, la gérance coordonne toutes les personnes et organisations en lien avec le dispositif ClimaCert et fait office d'interlocuteur principal du dispositif. La gérance établit les contrats et conventions ad hoc. La gérance est également chargée du secrétariat de la commission technique.

### **Gestion des flux financiers**

La gérance gère les flux financiers liés au dispositif ClimaCert. Cette dernière établit les factures aux clients et paie les prestations aux tiers mandatés. La gérance peut également instruire les mesures cantonales qui lui sont déléguées.

#### **4. Bases légales**

Le présent règlement s'appuie sur toutes les bases légales en lien avec l'agriculture, notamment la loi fédérale sur l'agriculture (RS 910.1) et ses ordonnances (RS 910.13, RS916.307, RS 916.307.1, RS 916.401, RS 916.404.1, RS 916.441.22, RS 916.307.11), la loi fédérale sur la protection des animaux (RS 455) et ses ordonnances (RS 455.1, RS 455.110.1), la loi fédérale sur la protection des eaux (RS 814.20) et son ordonnance (814.201), la loi fédérale sur les produits thérapeutiques (RS 812.21) et ses ordonnances (RS812.212.1 et RS 812.212.27) et la loi fédérale sur les denrées alimentaires (RS 817.0) et son ordonnance (RS 817.02).

Ce règlement s'appuie également sur les accords et réglementations internationaux en lien avec l'agriculture tel que les accords de Paris<sup>1</sup> ratifié par la Confédération<sup>2</sup>, les rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)<sup>3</sup>, le GHG protocol<sup>4</sup> et sur le Science Based Target Initiative (SBTi)<sup>5</sup>

#### **5. For juridique**

En cas de litige résultant de l'application du présent règlement, le for juridique est à Lausanne en Suisse.

---

<sup>1</sup> <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

<sup>2</sup> [https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/climat--affaires-internationales/l\\_accord-de-paris-sur-le-climat.html](https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/climat--affaires-internationales/l_accord-de-paris-sur-le-climat.html)

<sup>3</sup> <https://www.ipcc.ch/>

<sup>4</sup> <https://ghgprotocol.org/>

<sup>5</sup> <https://sciencebasedtargets.org/>

## Annexes du règlement organisationnel ClimaCert



Version n°4 du 18.08.2025

Adopté par le comité d'AgroImpact 18.08.2025

Entrée en vigueur le 1 septembre 2025

## Table des matières

Annexe 1: Composition de la commission technique ClimaCert ..... 4

Version	Date de publication	Date effectives	Modifications
V1	11.12.2023	11.12.2023 - 24.05.2024	Première version adoptée
V2	24.05.2024	24.05.2024 - 07.02.2025	- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...) - Adaptation de la composition des groupes technique et commission
V3	07.02.2025	07.02.2025 - 01.09.2025	- Adaptation de la composition des groupes technique et commission
V4	01.09.2025	01.09.2025 -	- Création du groupe CO-indicateur qui remplace les GT Biodiv et eau - Adaptation de la composition des groupes technique et commission

## Annexe 1: Composition de la commission technique ClimaCert et des groupes de travail thématique

Commission	Chambres agriculture	Groupement de producteurs	Formation et vulgarisation	Associations et ONGs	Industrie et commerce	Recherche	Cantons
Commission technique ClimaCert  Secrétariat : P. Bovy, AgroImpact  Présidence : Y. Loerincik	P-Y Felley, chambre valaisanne d'agriculture (VS) C. Longchamps, Prométerre (VD)	A. Nguyễn, UFL (VD) Selina Fischer (CH)	D. Rojard, Proconseil (VD) D. Roulin, Grangeneuve (FR)	B. Stadelmann, WWF (CH) I. Koog, Earthworm (CH)	U. Schenker (Nestlé R&D) A pourvoit	P. Boivin, HEPIA (GE) J. Grenz (HAFL) (BE)	G. Bregy, SAVS (VS) A. Charpigny, OCAN (GE) Y. Loerincik, OCDC (VD)

## Groupes thématique, composition :

## Collèges

Groupe technique	Chambres agriculture	Groupement de producteurs	Formation et vulgarisation	Associations et ONGs	Industrie et commerce	Recherche	Cantons
Emission gaz à effet de serre (GES)  Secrétariat : P. Bovy, AgrolImpact  Coordinateur(s) GT : P. Python, Agridea (CH)	V. Maudonnet, UPF (FR) V. Pasquier, UPF (FR)	M. Gysler (Ökostrom, CH) <b>A pourvoir</b>	J.C. Philipona, Grangeneuve (FR) P. Python, Agridea (CH) J.L. Oberson, Proconseil (VD)	<b>A pourvoir</b> <b>A pourvoir</b>	U. Schenker (Nestlé R&D) E. Soussan (Nestlé R&D)	J. Grenz, HAFL (BE) <b>A pourvoir</b>	S. Boechat, DGAV (VD) <b>A pourvoir</b>
Sol et stockage carbone  Secrétariat : T. Lemaître, AgrolImpact  Coordinateur : I. Koog, Earthworm (CH)	M. Petignat, AgriJura (JU)	<b>SVZ/FSB</b> P.Y Perrin, SGPV/FSPC	E. Carrard, Proconseil (VD) N. Dakhel, Agridea (VD) A. Fietier, FRI (JU) W. Sturny, Swiss-no-till (CH)	I. Koog, Earthworm (CH) S. Amiguet, Sol Conseil	U. Schenker (Nestlé R&D) A. Ho Kah Wye (Nestlé R&D) A. Racca (Nestlé R&D)	O. Sauzet, HEPIA (GE) P. Boivin, HEPIA (GE) A. Johannes, Agroscope (CH) R. Wittwer, Agroscope (CH) B. Reichlin, FIBL <b>H. Liniger, UNIBE (BE)</b>	S. Gassmanni, OCAN (GE) F. Fullemann, DGE (VD) C. Degen, Grangeneuve (FR) A. von Niederhäusern, Grangeneuve (FR) R. Krischer, DAGRI <b>Canton du Valais</b>
Co-Indicateurs  Secrétariat : A. Jarabo, AgrolImpact  Coordinateur : <b>A pourvoir</b>	Experts.es selon besoin	Experts.es selon besoin	Experts.es selon besoin	Experts.es selon besoin	Experts.es selon besoin	Experts.es selon besoin	Experts.es selon besoin

**En jaune** : personne proposée, participation à confirmer

## Fiche méthodologique 1 : Mesure et calcul des indicateurs carbone



Version n°5 du 18.08.2025

Adopté par le comité d'AgroImpact 18.08.2025

Entrée en vigueur le 1 septembre 2025

## Table des matières

1. Généralités .....	5
1.1 Définitions .....	5
1.3 Droit d'usage du logo ClimaCert niveau 2 .....	5
2. Démarche pour l'obtention d'indicateur carbone .....	5
2.1 Demande de diagnostic carbone.....	6
2.2 Acceptation du devis .....	6
2.3 Transmission des données .....	6
2.4 Diagnostic .....	6
2.5 Attestation .....	6
2.6 Facturation et contrôles .....	7
2.7 Plan d'action .....	7
2.8 Mise à jour des indicateurs .....	7
3 Calcul des indicateurs carbone.....	8
3.1 Calcul des émissions de GES.....	8
3.2 Calcul du stock et du stockage carbone dans les sols .....	10
3.3 Méthode d'estimation du potentiel de stockage.....	10
3.4 Allocation du stockage carbone pour le calcul du bilan carbone.....	11
3.5 Calcul en cas de cession de droit carbone.....	12
4. Contrôles .....	12
4.1. Contrôles des données pour le calcul des indicateurs carbone.....	12
4.2 Donnée contrôlées en routine .....	12
4.3. Données spécifiques au dispositif ClimaCert .....	13
4.4 Contrôle des personnes et organismes habilités au calcul d'indicateurs d'émissions de GES	14
4.5 Contrôle des personnes habilitées au prélèvement d'échantillons.....	14
4.6 Contrôle des personnes habilitées au calcul du stock de carbone et du potentiel de stockage carbone.....	14
5. Attestation.....	14
6. Références.....	17

Annexe FM1.1 : Données à fournir par les exploitations .....	18
Annexe FM1.2 : Méthodologie HEPIA pour prélèvement de sol, mesure du stock de carbone et du potentiel de stockage carbone .....	29
1.1.1.    Protocoles de prélèvement .....	30
1.1.2.    Protocole de traitement de l'échantillon EN LABORATOIRE .....	32
Annexe FM1.3 : Méthodologie pour la prise en compte des réductions de méthane par l'incorporation dans les rations pour les vaches laitières de l'additif 3-NOP (Bovaer®10) .....	65
Annexe FM1.4: Méthodologie pour l'utilisation d'un facteur d'émission spécifique pour l'engrais bas carbone Sulfammo N-process 26 .....	69

Version	Date de publication	Date effectives	Modifications
V1	11.12.2023	11.12.2023 - 24.05.2024	Première version adoptée
V2	24.05.2024	24.05.2024-07.02.2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...)</li> <li>- Précisions sur la méthode d'estimation du stockage (modèle HEPIA), allocation du stockage,</li> </ul>
V3	07.02.2025	07.02.2025 – 13.06.2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifications mineures (orthographe, syntaxe, ...)</li> <li>- Précisions sur la proportion d'exploitation contrôlée et sur les types et surfaces des parcelles prélevées pour l'estimation du stockage carbone dans les sols</li> <li>- Ajout annexe pour utilisation du 3-NOP (Boaver)</li> </ul>
V4	13.06.2025	13.06.2025 - 01.09.2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précisions sur la séparation d'atelier minoritaire</li> <li>- Reconnaissance de l'outil WCFT pour le calcul GES</li> <li>- Ajout annexe pour utilisation d'engrais décarboné de Timac Agro</li> </ul>
V5	01.09.2025	01.09.2025 -	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptation de la procédure pour réaliser bilan carbone (entretien tél plus obligatoire)</li> <li>- Clarification de la procédure de mise à jour des indicateurs</li> <li>- Ajout de références scientifiques publiées</li> </ul> Stockage carbone calculé seulement sur les terres sollées ayant un rapport MO/A inférieur à 24%
			-
			-
			-
			-
			-

## 1. Généralités

### 1.1 Définitions

Par *indicateur carbone*, on entend le total des émissions de GES annuel, le stock de carbone des sols, le potentiel de stockage carbone minimal des sols annuel, établi pour l'ensemble de l'exploitation et par unité de matière première brute produite. Les indicateurs sont calculés pour l'année *n*, à partir des éléments fournis par le demandeur (valeurs, descriptifs, pratiques...) relevés pour l'année *n* et/ou *n-1* (sol, rendement...) et d'un diagnostic carbone réalisé avec les outils et méthodes définis dans la présente fiche méthodologique.

Par *potentiel de stockage minimal*, on entend la valeur théorique de stockage carbone de l'ensemble de la SAU de l'exploitation basée sur la somme du *potentiel de stockage minimal* de chaque parcelle modélisée par le model prédictif développé par la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA, version du 1<sup>er</sup> janvier 2023<sup>1</sup>)

Par *demandeur*, on entend toute exploitation agricole demandant l'établissement d'indicateurs carbone ClimaCert.

Par *attestation*, on entend un document récapitulatif des indicateurs de transition ClimaCert.

Par *droit carbone*, on entend tout crédit, certificat, titre ou comptabilité carbone propriété d'une personne physique ou morale agricole. Ce droit peut être cédé, vendu ou utilisé librement.

Le calcul d'indicateur carbone s'applique à l'échelle d'une exploitation agricole à l'exception de tout atelier équin, porcin, de volaille car il n'existe pas d'outil pour prendre en compte ces ateliers.

Les indicateurs carbone sont calculés et mesurés pour l'année *n*.

### 1.3 Droit d'usage du logo ClimaCert niveau 2

L'exploitation ayant obtenu une attestation ClimaCert est autorisée à faire usage du logo niveau 2 si 1) elle est en mesure de justifier auprès de la gérance une démarche de transition (réduction des émissions de GES ou amélioration de son potentiel de stockage carbone notamment par l'élaboration d'un plan d'action) et 2) qu'un second calcul / mesure d'indicateur sera effectué avant l'échéance des premiers indicateurs. Le second calcul / mesure ne nécessite pas forcément le calcul / mesure de tous les indicateurs carbone car certains indicateurs ont une durée d'évolution qui est plus longue qu'une année

## 2. Démarche pour l'obtention d'indicateur carbone

Pour obtenir une attestation ClimaCert concernant les indicateurs carbone, toute exploitation agricole doit avoir réalisé les 6 premières étapes de la démarche exposée à la figure 1 ci-après. Seules les trois premières étapes requièrent du travail de la part des exploitations agricoles (transmission des données agricoles).

---

<sup>1</sup> Se référer à l'annexe FM1.2 sur la méthodologie de quantification du stock de carbone développée par l'HEPIA

## 2.1 Demande de diagnostic carbone

Pour obtenir un devis pour un diagnostic, l'exploitation doit remplir le formulaire en ligne disponible au lien suivant : <https://forms.office.com/e/tCysSmy9Y4>. La demande de diagnostic permet d'établir un devis qui estime les coûts liés aux prestations demandées. Tant que le devis n'est pas signé et retourné à la gérance, celui-ci reste informatif. Les montants des devis et conditions de ceux-ci pouvant changer avec le temps, une actualisation de ces derniers est en tout temps possible. Les exploitations concernées par l'actualisation des devis sont informées par la gérance.

## 2.2 Acceptation du devis

Le devis est accepté une fois signé et retourné à la gérance par voie postale ou électronique et ceci, dans le délai imparti figurant sur le devis. Par la signature du devis, l'exploitant.e accepte les conditions figurant sur le devis et accepte les directives édictées par le règlement ClimaCert. L'exploitation agricole s'engage donc dans une démarche de transition et met en oeuvre les leviers sélectionnés dans son plan d'action. L'exploitant.e accepte d'être contrôlé.e dans le cadre du dispositif ClimaCert. Si le délai du devis est dépassé mais que les conditions et les montants correspondent aux conditions du jour de la réception du devis, la gérance se réserve le droit d'accepter le devis même si ce dernier est hors délai. Un email confirmant la bonne réception du devis signé est transmis à l'exploitant.e dès sa réception.

## 2.3 Transmission des données

Une fois le devis accepté par l'exploitation agricole, les données nécessaires au calcul des indicateurs sont récoltées par des formulaires spécifiques émis par la gérance et par des documents déjà existants. L'exploitation agricole est responsable de la transmission de l'ensemble des données nécessaires au calcul et de la véracité des données transmises.

## 2.4 Diagnostic

Sur la base des données collectées auprès des exploitants.es, les diagnostics (mesure et calcul des indicateurs) sont réalisés par la gérance ou des tiers habilités et mandatés par cette dernière. Les diagnostics sont réalisés avec des outils informatiques reconnus et/ou des prélèvements sur le terrain. Aucun travail de l'exploitant.e n'est requis pour la réalisation du diagnostic. Si un besoin de données supplémentaires venait à émerger lors de la réalisation d'un diagnostic, celles-ci seront récoltées directement par la gérance ou le tiers mandaté qui réalise le diagnostic. Les types de diagnostics et les indicateurs calculés sont détaillés dans les chapitres 3 et 5.

Au terme du ou des diagnostics, un rapport de diagnostic rassemblant en détail 1) les résultats et indicateurs carbonés 2) des comparaisons à des moyennes de références si celles-ci sont disponibles et 3) des explications méthodologiques, est transmis à l'exploitation.

## 2.5 Attestation

Une attestation exposant la valeur de chaque indicateur carbone est établie et transmise à l'exploitation. La liste complète des éléments pouvant figurer sur l'attestation est détaillée dans le chapitre 5. L'exploitation qui reçoit une attestation ClimaCert est inscrite au registre public ClimaCert.

Les demandes de soutiens cantonaux pour l'exploitation peuvent être transmises par la gérance auprès de l'autorité cantonale compétente.

## 2.6 Facturation et contrôles

Sur la base du devis établi en début de la démarche, les prestations réalisées par la gérance ou des tiers mandatés sont facturées à l'exploitation. Si la procédure est interrompue, les prestations réalisées sont facturées en prorata de l'avancement du dossier. Les factures sont payables sous 30 jours sur le compte figurant sur la facture adressée à l'exploitation concernée.

Des contrôles externes pourront avoir lieu sur les exploitations ayant reçu une attestation et cela dans les 4 années suivant l'émission de l'attestation. Ainsi, les exploitations s'engagent à garder tous les éléments notamment les pièces comptables, calculs, décomptes et autres documents relatifs aux données transmises durant les 5 années consécutives à la signature du devis.

## 2.7 Plan d'action

Sur la base des résultats calculés / mesurés lors des diagnostics, un plan d'action est élaboré avec l'aide d'un conseiller agréé par la gérance. Le plan d'action liste les mesures que l'exploitant.e mettra en place sur son exploitation. Le choix des mesures est libre. L'effet des leviers sélectionnés est simulé par la gérance et la réduction du bilan induite par la mise en oeuvre des leviers est communiquée à l'exploitant.e.

## 2.8 Mise à jour des indicateurs

Afin de faire l'état de la transition climatique d'une exploitation, la mise à jour du diagnostic, suivant une procédure simplifiée (collecte de données et d'échantillons simplifiée), est réalisé. Ainsi, de nouvelles valeurs pour les indicateurs carbone peuvent être calculées et une nouvelle attestation est délivrée.

Afin de garantir une procédure efficace et économiquement viable, la mise à jour se concentre sur les variables clés responsables du 80 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les bilans carbone. Ces variables ont été déterminées à partir de l'analyse de la base de données des diagnostics réalisés par AgroImpact à l'aide des différents outils ClimaCert. La mise à jour inclut également l'évolution du plan d'action, en intégrant les mesures choisies l'année précédente et en tenant compte des éventuelles modifications apportées par l'agriculteur.

Données à mettre à jour selon le type de diagnostic :

### 1. Diagnostic Grandes Cultures

- Assolement
- Fertilisation minérale et organique
- Consommation de carburant et d'électricité
- Données du Plan d'action
- Changements structurels de l'exploitation

## 2. Diagnostic avec bétail

- Cheptel
- Gestion des effluents
- Assolement
- Fertilisation minérale et organique
- Alimentation
- Données du Plan d'action
- Changements structurels de l'exploitation

## 3 Calcul des indicateurs carbone

Dans le cadre du règlement ClimaCert, il existe 3 indicateurs carbone distincts : les émissions de GES, le stock de carbone dans les sols et le potentiel de stockage minimal de ces derniers.

### 3.1 Calcul des émissions de GES

La quantification des émissions de GES d'une exploitation agricole est calculée avec les outils de calculs reconnus par le présent règlement. La liste des outils reconnus pour chaque type de production est exposée dans le tableau 1 ci-après :

Tableau 1 : outils reconnus pour le calcul d'indicateur carbone

<b>Catégorie</b>	<b>Outil de calcul des émissions</b>	<b>Organisation</b>	<b>Adresse</b>
Grandes cultures	CAP'2ER®	Institut de l'Élevage (idele)	Maison Nationale des Eleveurs 149 rue de Bercy 75595 PARIS CEDEX 12
	WCFT	Carbon Standards International AG	Ackerstrasse 117, 5070 Frick, Suisse
Gros bétail (Bovin lait et viande)	CAP'2ER®	Institut de l'Élevage (idele)	Maison Nationale des Eleveurs 149 rue de Bercy 75595 PARIS CEDEX 12
	WCFT	Carbon Standards International AG	Ackerstrasse 117, 5070 Frick, Suisse
Bovins laitier (Exploitation avec seulement un atelier lait uniquement)	KLIR	Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL)	Länggasse 85, 3052 Zollikofen
Petit Bétail (Ovins et Caprins)	CAP'2ER®	Institut de l'Élevage (idele)	Maison Nationale des Eleveurs 149 rue de Bercy 75595 PARIS CEDEX 12
	WCFT	Carbon Standards International AG	Ackerstrasse 117, 5070 Frick, Suisse
Equins	WCFT	Carbon Standards International AG	Ackerstrasse 117, 5070 Frick, Suisse
Atelier de volaille et poule pondeuse	WCFT	Carbon Standards International AG	Ackerstrasse 117, 5070 Frick, Suisse
Atelier porcin	WCFT	Carbon Standards International AG	Ackerstrasse 117, 5070 Frick, Suisse
Viticulture	GES&Vit	Institut Français de la Vigne et du Vin	Domaine de l'Espiguette 30240 Le Grau du Roi
Arboriculture	Pas d'outil actuellement disponible		
Maraichage	Pas d'outil actuellement disponible		
Stock de carbone et potentiel de stockage carbone	Feuille de calcul HEPIA (Version du 31.03.2023)	HEPIA Genève	Rue de la Prairie 4 CH-1202 Genève

Les outils reconnus doivent (i) respecter les standards établis par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC /IPCC) (ii) reposer sur les méthodes de l'analyse de cycle de vie (ISO 14064) (iii) reposer sur des données contrôlables et spécifiques à l'exploitation (iv) produire des indicateurs propres à l'exploitation agricole.

Dans le cas d'ateliers accessoires représentant qu'une petite partie de l'exploitation, il est possible de sortir cet atelier de l'analyse. Sur la base des caractéristiques de l'exploitations et des moyennes cantonales, nous estimons si l'atelier concerné, représente plus de 5% des émissions de GES et 5% du stockage carbone de l'exploitation. Dans le cas ou cet atelier représente moins de 5% des émissions et

respectivement du stockage, l'exploitant a la possibilité de diagnostiquer l'atelier ou de sortir, si cela est techniquement possible, l'atelier du bilan.

Les données permettant le calcul des émissions de GES sont des données administratives et techniques collectées directement auprès de l'exploitant.e agricole à l'aide de formulaires de collecte et de liste de documents à fournir. Les documents et catégories de données à fournir sont exposés dans l'annexe FM1.1.

### 3.2 Calcul du stock et du stockage carbone dans les sols

L'échantillonnage des parcelles et la quantification du stock de carbone est réalisée selon la méthodologie de l'HEPIA, basée sur la méthodologie de prélèvement de masse de sol équivalent (ESM, Equivalent Soil Mass) d'après la publication scientifique de Boivin et al. 2025. Le protocole respecte les standards établis par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC /IPCC) et fait consensus dans la communauté scientifique internationale. Le protocole détaillé est exposé dans l'annexe FM1.2.

### 3.3 Méthode d'estimation du potentiel de stockage

Le potentiel de stockage est estimé sur toutes les terres assolées ayant un rapport MO/A inférieur à 24 %. Ce calcul est réalisé en appliquant au stock de carbone d'une parcelle (mesuré via prélèvements de sol), son taux d'évolution annuel de la teneur en carbone du sol, estimé à l'aide du modèle développé par Dupla et al (2022) (voir équation ci-dessous).

$$S_{\text{tot}} = Tx * \text{Stock}$$

Avec :

- $S_{\text{tot}}$  = Potentiel de stockage total en t eq.CO<sub>2</sub>/ha/an
- Tx = Taux d'évolution annuel estimé de la teneur en carbone organique du sol en ‰
- Stock = Stock de carbone du sol en t eq.CO<sub>2</sub>/ha

Ce modèle considère les pratiques agricoles accessibles via le carnet des champs mises en œuvre par l'exploitant ainsi que les rapports carbone organique sur argile (rapport Corg/A) des différentes parcelles. Les pratiques agricoles considérées sont en lien avec : (1) la couverture du sol dans le temps, (2) les apports de matière organique et (3) l'intensité de travail du sol (voir équation ci-dessous).

$$Tx = 37.03 + (\text{ISMO} * 0.53) - (\text{Corg/A} * 2.95) - (\text{STIR} * 0.12) - (\text{CI} * 1.26)$$

Avec :

- Tx = Taux d'évolution annuel estimé de la teneur en carbone organique du sol en ‰
- ISMO = Masse de matière organique humifiée apportée sur 10 ans en t/ha
- Corg/A = Rapport entre la teneur en carbone organique d'un sol et sa teneur en argile
- STIR = Indice de perturbation du sol moyen de la rotation
- CI = Nombre d'intercultures supérieures à six semaines non couvertes sur 10 ans

Comme toutes les prédictions basées sur un modèle mathématique, l'estimation du potentiel de stockage est entachée d'une erreur. De manière à réaliser une prédiction de stockage qui soit

conservatrice, l'erreur est soustraite au potentiel de stockage total afin d'obtenir le potentiel de stockage minimum (voir équation ci-dessous).

$$S_{\min} = S_{\text{tot}} * (-0.88 + (0.65 * T_x))$$

Avec :

$S_{\min}$  = Potentiel de stockage minimum t eq.CO<sub>2</sub>/ha/an

### 3.4 Allocation du stockage carbone pour le calcul du bilan carbone

Le bilan carbone d'une exploitation ou d'un produit agricole est calculé en soustrayant aux émissions de gaz à effet de serre le potentiel de stockage minimal de carbone. Pour le bilan carbone d'un produit agricole, il est nécessaire d'allouer spécifiquement le stockage minimal aux surfaces utilisées pour sa production. Les équations ci-dessous généralisent le calcul du bilan carbone à l'échelle des produits agricoles issus des grandes cultures et des ateliers de production animale. Ces équations répartissent le stockage du carbone dans les ateliers de l'exploitation en fonction des surfaces qui leur sont dédiés.

#### Pour les cultures:

Pour le bilan annuel des produits agricoles issus des grandes cultures, on considère le stockage minimal effectué sur les surfaces de terre assolée qui servent à produire ces cultures.

$$BPB_i \text{ [kg eq-CO}_2\text{/dt]} = \frac{GES_i \text{ [kg eq-CO}_2\text{/ha]} - S_{\min} \text{ [kg eq-CO}_2\text{/ha]}}{\text{Rendement}_i \text{ [dt/ha]}}$$

$BPB_i$  = Bilan annuel au produit agricole de la culture  $i$

$GES_i$  = Émissions de gaz à effet de serre par hectare de culture  $i$

$S_{\min}$  = Stockage minimal de carbone par hectare

$\text{Rendement}_i$  = Rendement de la culture  $i$

#### Pour les produits animaliers:

Pour le bilan annuel des produits agricoles issus des ateliers avec bétail, on considère le stockage minimal effectué sur les surfaces de terre assolée qui servent à fourrager le bétail de l'atelier. Pour rappel, le stockage sur les herbages permanents n'est pas encore considéré dans ce calcul car il n'est pas possible de modéliser le potentiel de stockage carbone annuel et que l'on fait l'hypothèse que ces sols sont pour la plupart à l'équilibre. Le stockage de ces surfaces pourra être pris en compte une fois que le stockage réel aura été mesuré (après un deuxième échantillonnage).

$$BPB_j [\text{kg eq-CO}_2/\text{U}] = \text{GES}_j [\text{kg eq-CO}_2/\text{U}] - \frac{(\text{Surf cult. conso}_j [\text{ha}] + \text{Surf PT}_j [\text{ha}]) \times S_{\text{min}} [\text{kg eq-CO}_2/\text{ha}] \times \text{Alloc}_j}{\text{Production totale}_j [\text{U}]}$$

BPB<sub>j</sub> = Bilan annuel au produit agricole j de(s) l'atelier(s) laitier(s) ou d'élevage

U = Unité du produit en kilo ou litre

GES<sub>j</sub> = Émissions de gaz à effet de serre par unité de produit j

Surf cult. conso<sub>j</sub> = Surface de culture consommée par l'atelier animalier concerné

Surf PT<sub>j</sub> = Surface prairie temporaire dédiée à l'atelier animalier concerné

S<sub>min</sub> = Stockage minimal de carbone par hectare

Alloc<sub>j</sub> = Coefficient d'allocation des émissions au produit (viande, lait, laine) j

Production totale<sub>j</sub> = Production totale du produit j

### 3.5 Calcul en cas de cession de droit carbone

Pour éviter la double comptabilisation, toute vente ou cession de droit carbone à un tiers par l'exploitant est prise en compte dans le calcul des indicateurs carbone et mentionné sur l'attestation. L'exploitant doit faire part à la gérance de toute cession de droit carbone.

## 4. Contrôles

### 4.1. Contrôles des données pour le calcul des indicateurs carbone

La majorité des données utilisées pour les calculs d'indicateurs sont contrôlées en routine de façon exhaustive par les organes de contrôles cantonaux (chapitre 4.2). Les données qui ne sont pas contrôlées en routine font l'objet d'un contrôle spécifique de la gérance et par un organe de contrôle reconnu mandaté par l'OIC (contrôle agricole de terrain). Les contrôles de terrain se basent sur des listes données, contrôlées, éditées par la gérance. Celles-ci ne sont pas publiques.

Toute exploitation agricole détenant une attestation ClimaCert peut être contrôlée dans les quatre années suivant l'émission de l'attestation. A la demande de la gérance, certaines exploitations peuvent être contrôlées. Annuellement, 20 % des exploitations ayant reçu leur première attestation ClimaCert sont contrôlées.

En cas de fausse déclaration, non-conformité ou fraude, le schéma de sanctions exposé au chapitre 3.4 du règlement technique sera appliqué immédiatement par la gérance.

Des supervisions lors de contrôles peuvent être réalisées sans annonce au préalable par l'OIC, un organe de contrôle reconnu ou la gérance.

### 4.2 Donnée contrôlées en routine

Les données contrôlées en routine sont listées de manière non exhaustive ci-dessous :

- Données de recensement cantonal et fédéral
  - Parcellaire, assolement, surfaces, programmes cantonaux, surfaces de promotion de biodiversité, surface de qualité 2, mise en réseau, programmes cantonaux et fédéraux,

conventions cantonales pour des surface de biodiversité, données paysagères, recensement des animaux (BDTA), protection de l'air et de l'eau

- Données géoréférencement
  - Données spatiales (géoréférencement des parcelles)
- Pratiques culturales / achats et utilisation d'intrants
  - Carnet des champs
  - Utilisation de fertilisants et produits de protection des plantes
- Analyses de sol
- Données de labels tiers (Biosuisse, IP-SUISSE, ...)
- Données viticoles et d'encavage
  - Acquis et productivité
  - Quantité encavée

#### 4.3. Données spécifiques au dispositif ClimaCert

Les contrôles spécifiques au règlement ClimaCert portent sur des données qui ne sont pas contrôlées par des organismes / autorités tierces lors de contrôles agricoles. Ces données sont contrôlées par un contrôle de cohérence par la gérance et/ou par un contrôle terrain.

##### **Partie grande culture et bétail :**

- Achat et vente des animaux
- Poids des animaux
- Gestion du troupeau (mortalité, âge à la mise bas, au sevrage, ...)
- Logements des animaux de la ferme
- Stockage des effluents sur la ferme
- Type d'épandage des effluents
- Répartition des engrais
- Type et rendement des cultures et intercultures
- Composition botanique des prairies
- Alimentation du bétail
- Autoconsommation de produits et énergie
- Consommation énergétique
- Réalisation de travaux pour / par tiers

##### **Partie viticole :**

- Densité de plantation
- Enherbement de l'inter-rang
- Palissage
- Destination de la vendange
- Achat et utilisation semences / intrants / produit de protection des plantes
- Travaux d'entretien manuel de la vigne
- Parc machines
- Autoconsommation de produits et énergie
- Consommation énergétique

#### 4.4 Contrôle des personnes et organismes habilités au calcul d'indicateurs d'émissions de GES

Les personnes habilitées au calcul des émissions ont suivi une formation dispensée par l'organisme détenteur de l'outil ou un tiers habilité. Afin de s'assurer de l'homogénéité des calculs réalisés par les différentes personnes habilitées, 1% des diagnostics, sélectionnés de manière aléatoire, sont contrôlés par la gérance (réalisation du diagnostic par la gérance sur la base des mêmes données). La gérance s'assure que toute personne habilitée participe à un groupe d'échange technique relatif à l'outil utilisé.

Dans le cas d'un changement majeur de la méthodologie de calcul des émissions ou de l'outil, toutes les personnes habilitées au calcul d'émission de GES devront suivre une formation continue afin de se tenir à jour.

#### 4.5 Contrôle des personnes habilitées au prélèvement d'échantillons

Les personnes habilitées au prélèvement de sol ont suivi une formation organisée par la gérance et validée par HEPIA. Afin de s'assurer de l'homogénéité des prélèvements, la gérance organise des formations validées par l'HEPIA pour que les personnes habilitées suivent une formation continue au moins une fois tous les trois ans dès leur première formation. Au terme de la formation, la personne habilitée doit réussir à fournir des échantillons de sol correspondant à la méthodologie de l'HEPIA.

Dans le cas d'un changement majeur de la méthodologie de prélèvement, toutes les personnes habilitées au prélèvement d'échantillons devront suivre une formation continue afin de se tenir à jour.

#### 4.6 Contrôle des personnes habilitées au calcul du stock de carbone et du potentiel de stockage carbone

Les personnes habilitées au calcul du stock de carbone et du potentiel de stockage carbone ont suivi une formation organisée par la gérance validée par l'HEPIA. Afin de s'assurer de l'homogénéité des calculs réalisés par les différentes personnes habilitées, 1% des diagnostics, sélectionnés de manière aléatoire, sont contrôlés par la gérance (réalisation du diagnostic par la gérance sur la base des mêmes données). La gérance s'assure que toute personne habilitée participe à un groupe d'échange technique relatif à l'outil utilisé.

Dans le cas d'un changement majeur de la méthodologie de calcul du stock de carbone et du potentiel de carbone, toutes les personnes habilitées au calcul du stock devront suivre une formation continue afin de se tenir à jour.

### 5. Attestation

Une exploitation ayant réalisé les six premières étapes de la procédure exposée dans la figure 1 (chapitre 2) se voit délivrer une attestation ClimaCert par la gérance pour l'année concernée par la mesure des indicateurs carbone. Ainsi, l'exploitation et les résultats peuvent faire usage de la marque ClimaCert et des résultats de l'année  $n$  pour une durée de 5 ans. Les attestations ont une durée de validité de 5 ans. Les attestations émis par la gérance contiennent les éléments exposés à la page suivante :

#### Informations générales

- Niveau du logo de ClimaCert

- Numéro d'attestation
- Date de délivrance de l'attestation
- Année de calcul des indicateurs
- Coordonnées de l'exploitation agricole
- Adresse de l'émetteur de l'attestation

#### **Indicateurs généraux (si calculé)**

- Emissions globales à l'échelle de l'exploitation agricole [t eq-CO<sub>2</sub>/an & t eq-CO<sub>2</sub>/ha\*an]
- Somme des stocks de carbone à l'échelle de l'exploitation agricole et moyenne par hectare [t eq-CO<sub>2</sub>/an & t eq-CO<sub>2</sub>/ha\*an]
- Potentiel de stockage carbone minimal à l'échelle de l'exploitation agricole [t eq-CO<sub>2</sub>/an]
- Moyenne du potentiel de stockage carbone par hectare [t eq-CO<sub>2</sub>/ha\*an]

#### **Données de l'exploitation**

- Ateliers de production diagnostiqué
  - Bovin lait
  - Bovin viande
  - Ovin lait
  - Ovin viande
  - Caprin
  - Grandes cultures
  - Viticulture
- Autres labels détenus par l'exploitation agricole, engagement dans des projets en faveur du climat, engagement dans des programmes en lien avec le climat
- Contrat de cession de droits carbone existant décompté si présent

#### **Résultats par indicateur**

Une fois l'attestation émise, l'exploitation agricole est inscrite au registre public des exploitations ClimaCert. Les valeurs des indicateurs ne sont en aucun cas publiées, sauf demande explicite de l'exploitation agricole.

Tous les indicateurs dans le tableau 2 ci-dessous résultent d'un diagnostic et peuvent figurer sur l'attestation. Néanmoins, il n'est pas obligatoire de calculer / mesurer tous les indicateurs ci-dessous pour obtenir une attestation ClimaCert.

Tableau 2 : Indicateurs pouvant être attesté ClimaCert

Indicateur	Unité	Diagnostics		
		Emissions	Sol	Combiné
<b>Emissions de GES</b>				
Emissions GES totales exploitation	T eq-CO <sub>2</sub>	X		X
Emissions GES par hectare de SAU	T eq-CO <sub>2</sub> / ha	X		X
Emissions GES par 100kg MS prairie	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt MS	X		X
Emissions GES par 100 kg de culture fourragère	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Emissions GES par 100 kg de céréales	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Emissions GES par 100 kg de maïs grain	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Emissions GES par 100 kg de protéagineux	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Emissions GES par 100 kg d'oléagineux	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Emissions GES par 100 kg de culture spécialisée	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Emissions GES par kg de viande vive (bovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X
Emissions GES par kg de viande vive (ovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X
Emissions GES par kg de viande vive (caprin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X
Emissions GES par litre de lait (bovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / L	X		X
Emissions GES par litre de lait (ovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / L	X		X
Emissions GES par litre de lait (caprin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / L	X		X
Emissions GES par kilo de raisin	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X
<b>Stock de carbone dans les sols</b>				
Stock de carbone total de l'exploitation	T eq-CO <sub>2</sub>		X	X
Stock moyen par ha de SAU	T eq-CO <sub>2</sub> / ha		X	X
<b>Potentiel de stockage carbone</b>				
Potentiel de stockage carbone minimal de l'exploitation	T eq-CO <sub>2</sub> / an* an		X	X
Potentiel de stockage carbone minimal moyen par ha de SAU	T eq-CO <sub>2</sub> / ha * an		X	X
<b>Bilan carbone</b>				
Bilan carbone annuel moyen	T eq-CO <sub>2</sub> / an	X		X
Bilan carbone par 100kg MS prairie	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt MS	X		X
Bilan carbone par 100 kg de culture fourragère	Kg eq-CO <sub>2</sub> / T MS	X		X
Bilan carbone par 100 kg de céréales	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Bilan carbone par 100 kg de maïs grain	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Bilan carbone par 100 kg de protéagineux	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Bilan carbone par 100 kg d'oléagineux	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Bilan carbone par 100 kg de culture spécialisée	Kg eq-CO <sub>2</sub> / dt	X		X
Bilan carbone par kg de viande vive (bovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X
Bilan carbone par kg de viande vive (ovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X
Bilan carbone par kg de viande vive (caprin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X
Bilan carbone par litre de lait (bovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / L	X		X
Bilan carbone par litre de lait (ovin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / L	X		X
Bilan carbone par litre de lait (caprin)	Kg eq-CO <sub>2</sub> / L	X		X
Bilan carbone par kilo de raisin	Kg eq-CO <sub>2</sub> / kg	X		X

## 6. Références

Dupla, X., Lemaître, T., Grand, S., Gondret, K., Charles, R., Verrecchia, E., & Boivin, P. (2022). On-farm relationships between agricultural practices and annual changes in organic carbon content at a regional scale. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 834055.

Boivin P., Lemaître T. , Clark J. , Guittonneau M. , Deluz C. (2025). The single-layer equivalent soil mass method for the evaluation of soil organic carbon stocks: Sources of errors, simplification, and associated detectable change. *Geoderma*, 45., 117279.

## Annexe FM1.1 : Données à fournir par les exploitations

### Exploitation agricole

De manière générale, les exploitations agricoles, dépendamment de leur atelier de production doivent notamment fournir les documents suivants :

- Données de recensement cantonal et fédéral
- Données géoréférencement
- Pratiques culturales et rendement des cultures
- Bulletins de livraison/encavage et factures
- Autoconsommation de produits et énergie
- Achats et utilisation d'intrants et vente de produits
- Gestion du troupeau et recensement du troupeau
- Alimentation du troupeau
- Analyses de sol et carte pédologique
- Consommation énergétique (électricité, carburant, ...)
- Parc machines
- Travail par tiers et pour tiers
- Données de règlement tiers (Biosuisse, IP-SUISSE, ...)
- Données concernant la cession de droits carbone

### Exploitation en grande culture sans bétail et sans viticulture et pour un diagnostic émissions gaz à effet de serre

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Hoduflu	Année précédente

**Exploitation en grande culture sans bétail, avec viticulture et pour un diagnostic avec émission gaz à effet de serre**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Carnet des champs (GC et vigne)	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Déclaration d'encavage	Année précédente
Dossier Viti+	Année précédente

**Exploitation en grande culture sans bétail et sans viticulture et pour un diagnostic combiné**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Année en cours
Liste des parcelles	Année en cours

**Exploitation en grande culture sans bétail, avec viticulture et pour un diagnostic combiné**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Carnet des champs (GC et vigne)	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Années en cours
Liste des parcelles	Année en cours
Déclaration d'encavage	3 années précédentes
Dossier Viti+	Année précédente

**Exploitation en grande culture sans bétail avec ou sans viticulture et pour un diagnostic sol**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	Année précédente
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Carnet des champs	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Année en cours
Liste des parcelles	Année en cours
Hoduflu	Année précédente

**Exploitation en grande culture avec bétail, sans viticulture et pour un diagnostic émission gaz à effet de serre**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Bulletins de livraison BD lait	3 années précédentes
Analyse qualité BD lait	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Cheptel 1 <sup>er</sup> janvier	Année précédente
Cheptel 31 décembre	Année précédente
Cheptel moyen	Année précédente
Hoduflu	Année précédente

**Exploitation en grande culture avec bétail et avec viticulture pour un diagnostic émission gaz à effet de serre**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Bulletins de livraison BD lait	3 années précédentes
Analyse qualité BD lait	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Cheptel 1 <sup>er</sup> janvier	Année précédente
Cheptel 31 décembre	Année précédente
Cheptel moyen	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Déclaration d'encavage	3 années précédentes
Dossier Viti+	Année précédente

**Exploitation en grande culture avec bétail, sans viticulture et pour un diagnostic combiné**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Bulletins de livraison BD lait	3 années précédentes
Analyse qualité BD lait	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Cheptel 1 <sup>er</sup> janvier	Année précédente
Cheptel 31 décembre	Année précédente
Cheptel moyen	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Années en cours
Liste des parcelles	Année en cours

**Exploitation en grande culture avec bétail et viticulture et pour un diagnostic combiné**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendements)	3 années précédentes
Bulletins de livraison BD lait	3 années précédentes
Analyse qualité BD lait	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Cheptel 1 <sup>er</sup> janvier	Année précédente
Cheptel 31 décembre	Année précédente
Cheptel moyen	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Années en cours
Liste des parcelles	Année en cours
Déclaration d'encavage	3 années précédentes
Dossier Viti+	Année précédente

**Exploitation en grande culture avec bétail, avec ou sans viticulture et pour un diagnostic sol**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	Année précédente
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Carnet des champs	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Années en cours
Liste des parcelles	Année en cours
Hoduflu	Année précédente

## Exploitation viticole

De manière générale, les exploitations viticoles, dépendamment de leur cépages et modes de production doivent fournir les documents suivants :

- Données de recensement cantonal et fédéral
- Données géoréférencement
- Pratiques culturales et rendement des cépages
- Achats d'intrants et vente de produits
- Gestion du troupeau et recensement du troupeau
- Alimentation du troupeau
- Analyses de sol et carte pédologique
- Consommation énergétique (électricité, carburant, ...)
- Parc machines
- Travail par tiers et pour tiers
- Données de règlement tiers (Biosuisse, IP-SUISSE, ...)
- Données concernant la cession de droits carbone

### Exploitation exclusivement viticole pour un diagnostic émissions de gaz à effet de serre

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison (rendements)	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Déclaration d'encavage	3 années précédentes
Dossier Viti+	Année précédente
Hoduflu	Année précédente

**Exploitation exclusivement viticole pour un diagnostic combiné**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	3 années précédentes
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Bulletins livraison récolte (rendement)	3 années précédentes
Carnet des champs	Année précédente
Factures travail par et pour tiers	Année précédente
Déclaration d'encavage	3 années précédentes
Dossier Viti+	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Années en cours
Liste des parcelles	Année en cours

**Exploitation exclusivement viticole pour un diagnostic sol**

Documents à fournir	Informations générales
Dossier PER	Année précédente
Formulaire de recensement complet	Année précédente
Carnet des champs	Année précédente
Hoduflu	Année précédente
Analyses de sol (PER et autres)	Toutes celles disponibles
Géoréférencement des parcelles	Années en cours
Liste des parcelles	Année en cours

## **Annexe FM1.2 : Méthodologie HEPIA pour prélèvement de sol, mesure du stock de carbone et du potentiel de stockage carbone**

### **Méthode d'établissement du bilan de stock de carbone du sol en parcelle de grande culture (partie HEPIA)**

#### **Résumé exécutif**

Ce travail avait pour but de tester et simplifier une méthode d'établissement du bilan de stock de carbone organique du sol en grandes cultures sur la couche de surface (0-30 cm). Cette couche est celle recommandée par IPCC (GIEC) pour l'établissement des bilans de stock car elle rassemble en moyenne 80% des changements de stocks pour les 50 années à venir.

Plusieurs problèmes sont soulevés :

- Alors qu'il est bien connu que le bilan doit se faire à masse de sol échantillonné constante (méthode dite « *Equivalent Soil Mass* », ESM), les prestataires privés travaillent à profondeur constante (avec des préleveurs automatisés), ce qui fait l'impasse sur les variations d'épaisseur du sol et engendre des erreurs non supportables (Fowler et al. 2023).
- La méthode ESM permet notamment de contourner la mesure de densité apparente du sol, délicate et coûteuse, grâce à des prélèvements à la gouge. Mais ces gougues peuvent être de différent diamètre, opérée manuellement ou avec un système mécanisé. Tous les systèmes conviennent-ils pour obtenir des masses volumiques de sol réalistes ?
- Une méthode ESM « one-layer » adaptée au cas d'étude a été proposée (J. W. Wendt et Hauser 2013), elle est relativement simple mais elle suppose encore de prélever et analyser deux couches de sol, ce qui demeure coûteux.
- Le pourcentage volumique d'éléments grossiers dans la couche échantillonnée doit être soustrait à ce volume de sol, mais ce point et les erreurs associées forment une zone d'ombre dans la littérature.
- Les erreurs associées, et donc les changements minimaux détectables, doivent être aussi faibles que possibles pour permettre une évaluation régulière des stocks de carbone dans des intervalles de temps raisonnables ( $\leq 10$  ans).

L'objectif de cette étude est de résoudre toutes ces inconnues tout en proposant une méthode ESM « One-Layer » simplifiée plus économique. Les erreurs associées aux différents protocoles possibles sont chiffrées et un protocole optimal en termes de coût et de précision est défini.

#### **Résumé des conclusions**

Les conclusions suivantes sont apportées :

- L'estimation du % volumique d'éléments grossiers est faite visuellement lors du premier échantillonnage d'une parcelle. Ce chiffre doit être conservé dans le temps. L'erreur associée à cette estimation est quantifiée, elle augmente avec le % d'éléments grossiers et pèse sur la précision de l'établissement du stock.

- Échantillonner à profondeur constante introduit des erreurs non supportables pour une estimation correcte des stocks. La méthode par masse de sol équivalente (ESM) doit impérativement être employée.
- Les prélèvements par système hydraulique automatisé et motorisé ne permettent pas d'échantillonner correctement la masse de sol. En moyenne moins de 50% d'une couche est récolté, ce qui représente donc une erreur d'un facteur supérieur à 2. **Les systèmes motorisés ne permettent en aucun cas d'établir des stocks de carbone fiables** (ou de tout autre élément).
- **Les différentes gouges manuelles sont adaptées au prélèvement pour mesure des stocks** par méthode ESM. Elles extraient des masses de sol en accord avec la densité apparente mesurée directement dans les sols.
- L'échantillonnage adapté est donc le prélèvement d'un échantillon composite sur 30 cm, **prélever 20 aliquotes sur les diagonales de la parcelle est une pratique de rapport coût / précision optimal.**
- Lorsque l'échantillonnage est répété sur la couche 0-30 cm, on doit corriger le stock trouvé en complétant ou soustrayant une masse de sol pour se ramener à celle obtenue lors du premier échantillonnage. Le facteur de correction a les caractéristiques (teneur en carbone par gramme) de la couche inférieure. La simplification proposée est de ne pas prélever et analyser cette seconde couche mais de lui attribuer les valeurs moyennes de teneur en carbone organique observées sur la région. Sous la semelle de labour, la variance de la teneur en carbone est en effet faible. **Cette simplification entraîne une erreur négligeable pour un coût de mesure du stock divisé par deux.**
- Les *Minimum Detectable Change* (MDC) correspondants dépendent principalement de la teneur volumique en éléments grossiers, de la vitesse d'évolution des taux de carbone organique du sol, et de l'importance du terme correctif nécessaire. **Une détectabilité inférieure à 10 ans est garantie pour la plupart des taux d'évolution observés sur la région.**
- Les protocoles de prélèvement et d'analyse correspondants sont précisés (ci-dessous).
- Nous recommandons de rassembler l'ensemble de la saisie et traitement de l'information (y compris les critères de rejet d'un échantillonnage) dans un même outil de saisie non modifiable.
- Nous recommandons de mettre en œuvre une interface de saisie reliée à un GIS adapté à la gestion des informations (polygones transformés en fichier raster, valeurs standardisées de stock et critères associés à chaque carré raster).

### 1.1.1. Protocoles de prélèvement

#### *Conditions d'échantillonnage*

Le stock de carbone doit être établi par parcelle. Il est parfois nécessaire de laisser de côté une portion de parcelle ou de segmenter une parcelle. Il est parfois possible de rassembler des parcelles.

- En cas de présence de terres noires.
  - Par convention on considère ce cas lorsque la teneur en matière organique excède 8%.
  - Lorsque les terres noires font plus de 30 cm d'épaisseur, elles ne peuvent pas être prises en compte dans le protocole ESM décrit ici. Il faut alors utiliser le protocole ESM complet jusqu'à la couche sous la terre noire. (J. W. Wendt et Hauser 2013).

- Pour une petite surface<sup>2</sup> (e.g. moins de 3000 m<sup>2</sup> ou moins de 10% de la parcelle) cette portion doit être ignorée lors de l'échantillonnage et des calculs.
- Au-delà cette surface doit être traitée séparément.
- En cas de forte hétérogénéité, de même que pour les analyses PER, la parcelle doit être segmentée.
- Des petites parcelles attenantes et dont la mise en valeur est voisine peuvent être rassemblées. La parcelle rassemblée ne peut pas faire plus de 8 ha.
- Ce sont les polygones saisis dans Acorda qui décrivent les parcelles.

Les sondages sont faits à la gouge manuelle

- Le volume intérieur de la gouge doit être conservé dans les informations d'échantillonnage, ainsi que le nom de l'opérateur et la date d'opération.
  - En cas de répétition de l'échantillonnage avec une gouge de volume intérieur différent, une règle de 3 doit être appliquée pour corriger la masse sèche de terre fine prélevée en fonction de la différence de volume des gougues.
- Après avoir enlevé la végétation et les résidus non décomposés (litière) en surface du sol la gouge est enfoncée à 30 cm, elle est arrasée et son contenu est versé dans un seau.
- Cette opération est répétée 20 fois (selon un schéma en croix) sur la parcelle pour réaliser le prélèvement composite.
- Un sol trop sec ou trop humide risque de poser des problèmes de remplissage de la gouge. Ceci conduira à rejeter les résultats obtenus lors de leur traitement (voir section dédiée). L'échantillonnage ne doit donc être réalisé que si l'opérateur observe un bon remplissage de la gouge lors de l'extraction de cette dernière.

#### *Premier prélèvement (état initial)*

- **Ce premier prélèvement (T0) doit être fait par un expert autorisé**, en effet il doit fixer les valeurs initiales qui feront référence pour la suite : % volumique en éléments grossiers et masse de terre fine sur 30 cm.
- 20 aliquotes sont prélevées à la gouge sur la couche 0-30 cm.
  - Les gougues sont arasées, après contrôle de leur bon remplissage (le prélèvement est refait si la gouge n'est pas bien remplie).
  - Le modèle de gouge (volume intérieur) est noté.
    - Volume prélevé VP = (volume de la gouge) X 20.
  - Les 20 aliquotes sont prélevées sur les deux diagonales. **Une géolocalisation au GPS différentiel n'est pas utile.**
  - L'ensemble du sol prélevé (gouge arasée) est expédié au laboratoire (ci-dessous).
- 5 mini profils de 30 cm de profondeur sont ouverts et le % volumique d'éléments grossiers est estimé visuellement à l'aide d'un abaque (Figure 4). Le % moyen est calculé et consigné.
- La masse de terre fine trouvée (après traitement au laboratoire, ci-dessous) fait référence pour les déterminations suivantes.

#### *Prélèvement pour le suivi des stocks*

---

<sup>2</sup> Il nous semble que cela ne peut pas excéder 5000 m<sup>2</sup>, chiffre à fixer a priori, il est difficile de proposer une limite rationnelle.

- La valeur de % de grossiers trouvée en T0 est conservée.
- 20 aliquotes sont prélevées à la gouge sur la couche 0-30 cm.
  - Le modèle de gouge (volume intérieur) est noté. Volume prélevé VP = volume de la gouge X 20.
  - Les gougues sont arasées, après contrôle de leur bon remplissage (le prélèvement est refait si la gouge n'est pas bien remplie).
  - Les 20 aliquotes sont prélevées sur les deux diagonales. **La géolocalisation au GPS différentiel est inutile.**
  - L'ensemble du sol prélevé (gouge arasée) est expédié au laboratoire (ci-dessous).

### 1.1.2. Protocole de traitement de l'échantillon EN LABORATOIRE

- 1- La totalité de l'échantillon prélevé doit être rapportée en laboratoire<sup>3</sup>.
- 2- L'échantillon frais est tamisé à 2mm. La fraction grossière est séchée et pesée. Masse des grossiers : MG
- 3- La fraction fine est séchée à 40°C jusqu'à afficher une masse constante. Masse de terre fine provisoire : MTF<sub>p</sub>.
- 4- Le volume des grossiers VG est calculé selon :  $VG = MG / 2.6$
- 5- La masse de la terre fine MF est calculée :  $MTF = MTF_p * VP / (VP - VG)$
- 6- Une aliquote de la terre fine est analysée pour la teneur en SOC.

**Attention**, si le modèle de gouge est changé, il faut corriger par règle de 3 la masse de terre fine sèche du composite grâce au volume de la première gouge utilisée.

**Il est recommandé d'inclure tous ces calculs dans une feuille Excel guidant la réalisation.**

## Calculs

### *Critères d'acceptation et de rejet du prélèvement*

Le critère d'acceptation 1 est appliqué (section 0) : la différence de masse de terre fine sèche avec le prélèvement composite T0 est-elle acceptable ? Si oui : poursuite de l'analyse. Non : refaire le prélèvement.

Les critères d'acceptation 2 et 3 sont appliqués<sup>4</sup> (sections 0 et 0) : la relation Da / SOC et le changement de teneur en SOC sont-ils dans les limites acceptables ? Si oui, poursuite des calculs. Non : prélèvement à refaire.

- Calcul de la différence de masse de terre fine sèche entre le prélèvement initial et le prélèvement au temps n (temps T<sub>0</sub> et T<sub>n</sub>) :  $(M_0 - M_n)$

**Attention** de corriger les masses de terre fine sèche si changement de volume de la gouge

**Attention** les masses de terres fines sèches sont corrigées pour tenir compte de la proportion volumique d'éléments grossiers dans la gouge (section 0).

- Stock de carbone dans le terme correcteur :  $(M_0 - M_1) * SOC_{corr}$

<sup>3</sup> Une méthode ne nécessitant de n'emporter qu'une aliquote est en cours de test.

<sup>4</sup> Dans le cas du premier prélèvement, seul le critère 2 (Da en fonction de SOC) est applicable.

$SOC_{\text{corr}}$  : teneur en carbone **moyenne** de la couche de correction en % (m/m)

- Stock de carbone dans l'échantillon composite au temps n :  $StockEch_n$   
Calculs effectués selon 0, Équation 9.

$$StockEch_n = M_n \times SOCEch_n + (M_0 - M_n) * SOC_{\text{corr}} \quad \text{Équation 9}$$

Avec :

- $StockEch_n$  stock **corrigé** (Équation 5) de carbone en g dans l'échantillon composite
- $M_n$  masse sèche à l'étuve en g de la fraction < 2 mm de l'échantillon composite au temps  $T_n$
- $M_0$  masse sèche à l'étuve en g de la fraction < 2 mm de l'échantillon composite au temps  $T_0$
- $SOCEch_n$  teneur en carbone de l'échantillon composite en % (m/m)
- $SOC_{\text{corr}}$  : teneur en carbone **moyenne** de la couche de correction en % (m/m)
- Stock de carbone dans la parcelle au temps n :  $Stock_n$   
Calculs effectués selon :

$$Stock_n = StockEch_n \times \frac{3000}{V_{\text{Gouge}_n} \times N_{\text{Piq}}} \quad \text{Équation 4}$$

Avec :

- $Stock_n$  Stock corrigé de carbone sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare au temps  $T_n$ .
- $V_{\text{gouge}_n}$  volume intérieur de la gouge utilisée **en cm<sup>3</sup>**.
- $N_{\text{piq}}$  nombre de piqûres effectuées pour l'échantillon composite.
- Changement de stock  
Calcul du MDC selon 0  
  
Calcul de la différence de stock : nulle si < MDC

**Nota** : en cas de différence non significative entre les stocks n et n-1, le stock au temps n+1 devra être comparé au stock n-1 (et idem à la suite : comparer au premier stock de référence avant changement non significatif)

## Objectifs

L'**objectif général** de ce travail est de proposer une ou des méthodes d'échantillonnage des parcelles agricoles (grandes cultures dans ce travail) pour l'établissement des stocks de carbone en vue d'un suivi à travers le temps de ces stocks. Ces méthodes doivent être compatibles avec l'état de l'art dans le domaine (donc méthode des masses équivalentes dite *ESM*), non biaisées, aussi précises que possible tout en minimisant la complexité et les coûts de mise en œuvre.

Les objectifs spécifiques portent sur :

- Le schéma d'échantillonnage à appliquer ;
- La technique d'échantillonnage : manuelle ou motorisée, compatibilité et incidence sur la fiabilité des mesures ;

- Une simplification maximale de la méthode ESM : possibilité d'adopter des valeurs moyennes pour les corrections et impact de cette simplification sur la détectabilité des changements ;
- Comparaison entre méthode ESM et méthode non ESM – impact sur la précision d'estimation des stocks et détectabilité des changements ;
- Méthodologie de prise en compte de la fraction grossière, erreurs associées et conséquences sur la détectabilité des changements ;
- Formalisation du protocole opératoire retenu : échantillonnage et traitement analytique de l'échantillon.

## La méthode ESM, les simplifications proposées et les inconnues à résoudre

Le sol n'a pas une masse constante par unité de volume. En d'autres termes sa *densité apparente* ( $D_a$ ) varie en fonction du travail du sol, de l'humidité du sol, ou des changements de teneur en carbone organique (SOC)<sup>5</sup>. En conséquence, une couche d'épaisseur  $H$  à un temps  $T_0$  n'a pas la même épaisseur à un autre temps  $T_1$ . Par conséquent **échantillonner un sol pour déterminer le stock** d'un certain élément qu'il contient à un temps  $T_0$  puis à un temps  $T_1$  **suppose d'échantillonner la même masse de sol par unité de surface et non la même profondeur.**

L'établissement de bilans carbone est devenu un enjeu technique et économique fort. Il s'agit en effet de promouvoir et rémunérer sous forme de « crédits carbone » la principale technique de séquestration de carbone susceptible de limiter la hausse des teneurs en  $CO_2$  dans l'atmosphère, à savoir la séquestration de carbone sous forme de SOC ou matière organique (MO) dans les sols (European Academies Science Advisory Council 2018).

Tant d'un point de vue environnemental qu'économique il est évidemment essentiel, pour que des crédits « carbone » soient attribués, qu'ils correspondent à une augmentation du stock de SOC dans le sol estimée de manière exacte, appropriée et vérifiable. Pour cela, la recherche a démontré, en accord avec ce qui précède, qu'il faut travailler en « Equivalent Soil Mass » (ESM) (J. Wendt et Hauser 2013). La profondeur de la couche à considérer doit être au moins de 30 cm (Eggleston et al. 2008) car elle représente environ 80% des changements de stock sur 50 ans (Balesdent et al. 2018). Une modalité *one layer* de la méthode ESM a été proposée pour ce cas de figure (J. W. Wendt et Hauser 2013). Le principe est de considérer la masse de sol initiale  $M_0$  obtenue sur cette couche lors du premier prélèvement (au temps  $T_0$ ), puis de comparer celles des prélèvements suivants ( $M_x$  au temps  $T_x$ ) à cette masse. La différence de masse est corrigée pour se ramener à cette masse initiale et appliquer ainsi un facteur correctif sur le stock de carbone. Le facteur de correction provient de la couche limite (28-32 cm dans la publication citée). Ceci suppose donc d'échantillonner et analyser deux couches de sol : 0-28 et 28-34 cm. La masse de sol dans une couche de profondeur 30 cm est connue en réalisant un échantillonnage composite à la gouge, et en corrigeant la masse trouvée des surfaces respectives de la section de la gouge (multipliée par le nombre de piqûres) et de la parcelle. Ceci permet notamment de ne pas mesurer la densité apparente  $D_a$  du sol, très coûteuse et délicate à déterminer. Le schéma d'échantillonnage adopté pour faire l'échantillon composite a une influence

---

<sup>5</sup> La matière organique du sol ou humus est composée à 60% environ de carbone organique. Une tonne de carbone organique représente 3.66 t de  $CO_2$ .

sur la précision de la mesure (Deluz et al. 2020). **Le schéma d'échantillonnage optimal sera testé dans cette étude.**

Une simplification de cette méthode *one layer* est ici proposée et testée. Elle tient compte des faits suivants : (i) la couche 0-30 doit être caractérisée et (ii) la semelle de labour sur le territoire suisse est toujours au-dessus de 28 cm. On peut donc faire l'hypothèse que les teneurs en SOC sous cette limite sont faibles et peu variables. C'est pourquoi il est proposé d'introduire un terme de correction de teneur en SOC standard au lieu d'échantillonner et analyser une seconde couche. **Le gain de temps et de coût est à comparer à l'impact sur la précision d'évaluation des stocks de cette procédure simplifiée, impact chiffré dans cette étude.**

Les teneurs en SOC (ou en tout autre élément) du sol sont par convention rapportées à la masse de terre fine. Cela signifie qu'on ne tient pas compte des éléments grossiers, soit par convention le refus au tamisage à 2mm. Dans les sols sur moraine (par exemple), les tailles des éléments grossiers vont de 2 mm (graviers) à plusieurs décimètres (blocs). Il est donc nécessaire de déduire le % volumique d'éléments grossiers du volume de la couche échantillonnée. Contrairement à la prise en compte du changement de  $D_a$  du sol, la prise en compte du volume des éléments grossiers n'est quasiment pas discutée dans la littérature. **Dans cette étude, l'évaluation des éléments grossiers au champ, leur prise en compte dans les calculs et l'impact de cette procédure sur la précision des évaluations de stock, sont calculés.**

La méthode ESM apporte une grande simplification à l'évaluation de stock en évitant de devoir mesurer la  $D_a$  du sol. Pour cela la masse extraite par une gouge de diamètre connu est prise en compte. Ceci suppose toutefois que la gouge soit bien remplie lorsqu'elle est extraite du sol. Deux méthodes sont disponibles pour un échantillonnage à la gouge : manuel ou au moyen d'un système pneumatique sur engin motorisé. Dans le second cas, il est impossible (avec les dispositifs actuels) de contrôler le bon remplissage de la gouge. **L'erreur commise dans l'évaluation de la masse de sol comprise dans une couche de profondeur connue, due au remplissage non contrôlé de la gouge, est évaluée dans ce travail.**

Les systèmes motorisés sont utilisés actuellement à profondeur constante sans correction ESM. **L'impact de cette impasse sur la qualité de l'estimation du stock est chiffré dans ce travail.**

Enfin, les erreurs de mesure sur l'évaluation des stocks se concrétisent par une variance de l'évaluation du stock sur une parcelle, qui permet de calculer le *Minimum Detectable Change* (MDC) du stock considéré. Ce MDC doit être suffisamment bas pour qu'un bilan de stock entre deux dates d'échantillonnage ait une valeur statistique (= que la différence chiffrée ait une faible probabilité de provenir des erreurs d'estimation). Dans le cadre d'une politique de rémunération des crédits carbone, il est nécessaire de disposer d'un MDC assez sensible pour que le temps de retour entre deux évaluations (ou le niveau de détectabilité d'un changement) soit compatible avec les dynamiques de changement des teneurs en SOC observées et la politique de promotion de la séquestration. **Le Minimum Detectable Change induit par les différentes procédures pratiquées et testées ici sera quantifié dans cette étude.**

## Méthodologie

Après une description de la méthode ESM simplifiée, la stratégie d'échantillonnage et les méthodes de calcul sont introduites, depuis les valeurs de stock et densité apparente au calcul du *minimum detectable change* (MDC).

### Méthode ESM et choix des couches prélevées

Le stock de carbone est communément mesuré sur une couche de sol de profondeur fixée et est calculé grâce au produit de la densité apparente et de la teneur en carbone organique. Or la densité apparente est fastidieuse à mesurer au champ et pour éviter des coûts difficilement absorbables, c'est toujours une valeur moyenne qui est utilisée au sein des dispositifs de rémunération de la séquestration, à l'international comme en Suisse. Utiliser une valeur de densité moyenne, sans tenir compte ni de la densité mesurée ni de sa variation entre deux échantillonnages, entraîne de fortes imprécisions sur l'estimation du stock (Fowler et al. 2023), comme le mettent en évidence les Figure 1 et Figure 2. La solution pour estimer précisément le stock de carbone, sans passer par une mesure directe de la densité apparente, est de travailler sur une masse de sol constante prélevée à la gouge (ESM) (J. Wendt et Hauser 2013).

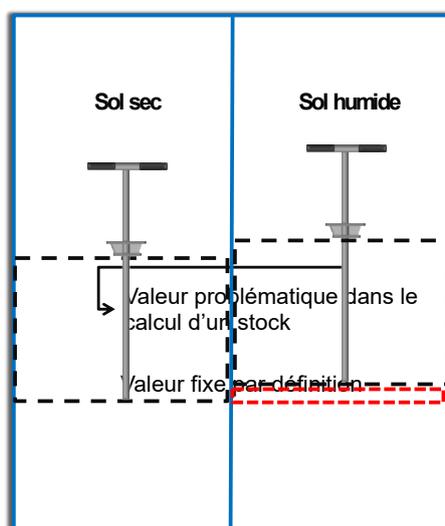


Figure 1: Changement d'épaisseur de la première couche de sol suite à une augmentation d'humidité (gonflement). Le prélèvement à profondeur constante ignore la partie entourée en rouge sur sol humide, par rapport au sol plus sec.

**Intervales théoriques (95 % des valeurs)**


**Teneur en eau**  
-0,8 et +0.8 [cm]



**Teneur en carbone organique**  
-0,2 et +0.2 [cm/an]



**Travail du sol**  
+ 1 [cm] (non-labour)  
-2.41 [cm] (travail d'une prairie)

Figure 2 Importance relative des différentes sources de changement d'épaisseur de la couche supérieure du sol

**Principe de la méthode ESM (sans le traitement des éléments grossiers)**

Pour travailler sur une masse de sol constante il faut dans un premier temps prélever une masse de sol de référence pour établir l'état initial (temps  $T_0$ ). Ici c'est la couche 0-30 cm qui nous intéresse comme recommandé par le GIEC (Eggleston et al. 2008). Le stock de carbone dans l'échantillon composite est égal à la masse de *terre fine* prélevée multipliée par la teneur pondérale en carbone de cet échantillon. Le stock de carbone par ha dans la couche 0-30 cm est égal au stock dans l'échantillon, divisé par le volume prélevé à la gouge (volume interne de la gouge \* nombre de piqûres) et multiplié par le volume de terre fine de la couche 0-30 cm. Ce volume V par ha est de 3000 m<sup>3</sup> moins le volume du refus à 2 mm (éléments grossiers estimés visuellement), soit pour un taux d'éléments grossiers  $T_{xg}$ ,  $V = 3000 * (1 - T_{xg}) \text{ m}^3$ .

Le traitement du volume des éléments grossiers sur une parcelle sera introduit dans un second temps. En supposant nulle la teneur volumique en éléments grossiers (particules > 2 mm par convention), le stock en g de carbone dans l'échantillon prélevé au temps  $T_0$  se formule ainsi :

$$StockEch_0 = M_0 \times SOCEch_0$$

Avec

- $StockEch_0$  stock de carbone en g dans l'échantillon composite
- $M_0$  masse sèche à l'étuve en g de la fraction < 2 mm de l'échantillon composite
- $SOCEch_0$  teneur en carbone de l'échantillon composite en % (m/m)

Équation 1 : Stock de carbone (en g) dans un échantillon composite

Le stock de carbone en t ha<sup>-1</sup> dans la couche 0-30 cm se calcule alors en (i) convertissant les masses de grammes en tonnes et (ii) en effectuant une règle de 3 entre le volume prélevé à la gouge et celui de la couche sur 1 ha.

Soit :

$$Stock_0 = \frac{StockEch_0}{10^6} \times \frac{3000}{V_{Gouge_0} \times N_{Piq}}$$

Avec :

- $Stock_0$  Stock de carbone sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare.
- $V_{gouge_0}$  volume intérieur de la gouge utilisée en  $m^3$ .
- $N_{piq}$  nombre de piqûres effectuées pour l'échantillon composite.

*Équation 2 : Calcul du stock de carbone sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare, à partir du stock contenu dans l'échantillon composite, et sans tenir compte des éléments grossiers (hypothèse de fraction > 2 mm nulle dans la gouge et dans la couche de sol).*

Lorsqu'un nouvel échantillonnage est réalisé (au temps  $T_n$ ), afin de constater si la teneur en carbone a changé, la couche 0-30 cm sera échantillonnée, ainsi qu'une seconde couche, que nous appellerons couche de correction. Wendt et Hauser (2013) utilisent la couche 28-34 cm pour procéder à cette correction, nous avons choisi ici de travailler avec la couche 30-35 cm de manière à faciliter les prélèvements, mais aussi car en Suisse la semelle de labour se trouve presque systématiquement au-dessus de 30 cm. Une fois ces prélèvements réalisés, la masse de terre fine sèche  $M_0$  du prélèvement initial à  $T_0$  est comparée à celle  $M_n$  de l'échantillon au temps  $T_n$ . Cette dernière masse sera ajustée « théoriquement » avec les caractéristiques de la couche de correction afin d'être identique à celle de l'échantillon initial.

La différence de masse de terre fine contient un stock égal à cette masse multipliée par la teneur en SOC de la couche de correction. Soit pour l'échantillonnage au temps  $T_n$ , le stock dans l'échantillon composite corrigé de la différence de masse avec le temps  $T_0$  s'écrit :

$$StockEch_n = M_n \times SOCEch_n + (M_0 - M_n) * SOC_{corr}$$

Avec :

- $StockEch_n$  stock corrigé de carbone en g dans l'échantillon composite
- $M_n$  masse sèche à l'étuve en g de la fraction < 2 mm de l'échantillon composite au temps  $T_n$
- $M_0$  masse sèche à l'étuve en g de la fraction < 2 mm de l'échantillon composite au temps  $T_0$
- $SOCEch_n$  teneur en carbone de l'échantillon composite en % (m/m)
- $SOC_{corr}$  teneur en carbone de la couche de correction en % (m/m)

*Équation 3 : Stock de carbone (en g) dans un échantillon composite, corrigé pour se ramener à la masse prélevée au temps  $T_0$ .*

Le stock de carbone dans la couche 0-30 cm lors de ce second échantillonnage est donc calculé comme le stock dans la couche 0-30 cm prélevé au second échantillonnage plus le stock introduit par le terme correctif.

Sans tenir compte de la teneur en éléments grossiers (discutée plus loin), le stock au temps  $T_n$  est donc formulé ainsi (en t / ha) :

$$Stock_n = StockEch_n \times \frac{3000}{V_{Gouge_n} \times N_{Piq}}$$

Avec :

- $Stock_n$  Stock corrigé de carbone sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare au temps  $T_n$ .

- $StockEch_n$  Le stock dans l'échantillon composite en g
- $V_{gouge_n}$  volume intérieur de la gouge utilisée en  $cm^3$ .
- $N_{piq}$  nombre de piqûres effectuées pour l'échantillon composite.

Équation 4 : Calcul du stock de carbone corrigé sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare, à partir du stock contenu dans l'échantillon composite, et sans tenir compte des éléments grossiers (hypothèse de fraction > 2 mm nulle dans la gouge et dans la couche de sol).

#### *Simplification testée*

Dans un second temps, de manière à éviter de prélever systématiquement la couche 30-35 cm et partant de l'hypothèse que cette couche, se trouvant en dessous de la semelle de labour (i) aura des caractéristiques relativement homogènes entre les parcelles et que (ii) le terme correcteur en stock de carbone sera faible, nous avons cherché ici à savoir si nous pouvions utiliser des caractéristiques moyennes pour cette couche de correction. Ce point et l'erreur d'approximation qu'il introduit sont discutés plus bas.

#### *Prise en compte des éléments grossiers*

Le volume de la fraction grossière (> 2 mm) ne doit pas être pris en compte dans le volume de la couche échantillonnée. Le volume de cette fraction est évalué visuellement au champ (voir ci-dessous 0) pour être soustrait au volume de la couche de sol. Dans ce calcul, les éléments grossiers contenus dans l'échantillon composite ne doivent pas être pris en compte car (i) ils seraient comptabilisés deux fois et (ii) leur volume dans la gouge est aléatoire et non représentatif de celui sur la parcelle. Il faut donc dans un premier temps corriger la masse de terre fine trouvée pour se ramener à la masse qui aurait été prélevée s'il n'y avait pas eu d'éléments grossiers dans l'échantillon composite. Pour ceci, on va tenir compte des volumes.

#### **Correction de la masse de terre fine dans le composite**

Soit  $M_g$  la masse en g des éléments grossiers dans l'échantillon composite.

Soit  $V_g$  le volume en  $cm^3$  des éléments grossiers dans l'échantillon composite. Ce volume est soit mesuré au laboratoire (immersion dans l'eau) soit calculé comme  $V_g = M_g/2.6$

Soit  $M_{tf}$  la masse de terre fine trouvée dans l'échantillon composite.

Soit  $V_{gouge}$  le volume intérieur de la gouge en  $cm^3$  et  $N$  le nombre de piqûres effectuées pour prélever l'échantillon composite.

La masse de terre fine de l'échantillon composite en g au temps  $t$  est recalculée comme :

$$M_t = \frac{M_{tf} \times V_{gouge} \times N}{(V_{gouge} \times N - V_g)}$$

Équation 5 : Correction de la masse prélevée dans l'échantillon composite pour enlever le volume des éléments grossiers

#### **Correction du stock au champ**

Si le volume en % (v/v) des éléments grossiers évalué au champ est de Txg (%) du volume de sol au champ, alors le volume  $V_{tf}$  de terre fine (donc contenant du carbone) en  $m^3$  par ha de la couche 0-30 cm devient :

$$V_{tf} = 3000 \times (1 - Txg) \text{ avec } V_{tf} \text{ par ha sur les 30 premiers cm en } m^3.$$

Le facteur  $(1 - Txg)$  doit être appliqué à l'Équation 2 et à l'Équation 4 pour tenir compte des éléments grossiers.

Compte tenu de l'importance de cette correction, Txg n'est estimé qu'une fois (au temps  $T_0$ ) et cette valeur est ensuite appliquée à tous les échantillonnages.

Les équations de stock de carbone en tonnes par hectare sur les 30 premiers cm de sol deviennent :

Au temps  $T_0$

$$Stock_0 = StockEch_0 \times \frac{3000}{V_{Gouge_0} \times N_{piq}} \times (1 - Txg)$$

Avec :

- $Stock_0$  Stock de carbone sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare.
- $V_{gouge_0}$  volume intérieur de la gouge utilisée en  $cm^3$ .
- $StockEch_0$  Stock de carbone dans le composite en g.
- $N_{piq}$  nombre de piqûres effectuées pour l'échantillon composite.
- Txg taux de refus à 2mm estimé au champ.

*Équation 6 : Calcul du stock de carbone sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare, à partir du stock contenu dans l'échantillon composite, et sans tenir compte des éléments grossiers (hypothèse de fraction > 2 mm nulle dans la gouge et dans la couche de sol).*

Et au temps  $T_n$  :

$$Stock_n = StockEch_n \times \frac{3000}{V_{Gouge_n} \times N_{piq}} \times (1 - Txg)$$

Avec :

- $Stock_n$  Stock corrigé de carbone sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare au temps  $T_n$ .
- $V_{gouge_n}$  volume intérieur de la gouge utilisée en  $cm^3$ .
- $N_{piq}$  nombre de piqûres effectuées pour l'échantillon composite.
- Txg taux de refus à 2mm estimé au champ

*Équation 7 : Calcul du stock de carbone corrigé sur la couche 0-30 cm en tonnes par hectare, à partir du stock contenu dans l'échantillon composite, et sans tenir compte des éléments grossiers (hypothèse de fraction > 2 mm nulle dans la gouge et dans la couche de sol).*

## Choix de la méthode de prélèvement

La gouge permet de prélever un volume connu avec une bonne précision sur la profondeur. Elle ne mélange pas les couches contrairement à la tarière. Dans ce travail, deux manières d'effectuer la prise d'échantillons avec une gouge ont été comparées : manuelle ou mécanique. Pour le prélèvement manuel la gouge est enfoncée, contrôlée et vidée par l'opérateur, tandis que pour le

prélèvement mécanique la gouge est montée sur un véhicule, enfoncée dans le sol à l'aide d'un marteau hydraulique et vidée automatiquement. Dans les versions existantes les préleveurs mécaniques ne permettent pas de contrôler le bon remplissage de la gouge, ce qui représente un risque de mauvais remplissage non constaté, et donc de mauvaise évaluation de la masse de terre fine. Le prélèvement manuel permet un contrôle pour chaque prélèvement du bon remplissage de la gouge au prix d'un temps d'échantillonnage plus important<sup>6</sup>. Nous cherchons ici à savoir si le prélèvement mécanique est suffisamment fiable du point de vue de la portion de couche extraite du sol, ce qui sera contrôlé par la masse de sol extraite.

Au total, 403 parcelles ont été échantillonnées, que ce soit de manière manuelle, mécanisée ou les deux. Trois diamètres de gouges différents ont été étudiés pour le prélèvement manuel (1.8, 2.7 et 2.8 cm) et deux diamètres différents pour le prélèvement mécanique (1.7 et 2.6 cm respectivement, pour les modèles d'échantillonneurs automatiques de sol « *Wintex 1000* » et « *Wintex 3000* » de *WintexAgro*).

Pour le prélèvement manuel, les prélèvements sont arrasés sur la gouge de manière à gagner en homogénéité. Dû aux différents degrés d'ouverture des modèles de gouges la surface, et donc le volume, de sol prélevé est plus important pour la gouge de diamètre 2.7 cm que pour la gouge de 2.8 cm. Pour éviter toute confusion, on se référera aux gouges d'après leur volume en cm<sup>3</sup> arrondi à l'entier pour un prélèvement de 30 cm de profondeur. Ces informations sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Types de gouges comparées dans cette étude et volumes intérieurs associés

Type de gouge	Diamètre gouge (cm)	Surface de prélèvement (cm <sup>2</sup> )	Volume de prélèvement (cm <sup>3</sup> )	Pourcentage de parcelles échantillonnées (%)
Manuelle	1.8	3.5	70.0	16
	2.7	6.6	132.2	50
	2.8	6.2	124.5	34
Mécanique	1.7	3.4	68.1	70
	2.6	8.0	159.3	30

Pour comparer les performances des méthodes manuelles et mécaniques, 38 parcelles ont été échantillonnées avec les deux méthodes. Afin d'analyser si l'un des deux diamètres des gouges mécaniques (68 cm<sup>3</sup> et 159 cm<sup>3</sup>) conviendrait mieux à ce type d'échantillonnage 18 parcelles ont été échantillonnées avec les deux diamètres différents : 13 des 36 parcelles citées auparavant ainsi que 5 autres parcelles non échantillonnées manuellement.

## Schéma d'échantillonnage

<sup>6</sup> Mais semble-t-il à un coût moindre

Il s'agit de savoir combien de piqûres de gouge effectuer, et selon quelle distribution sur la parcelle, pour un objectif de précision de l'évaluation du stock chiffré. La méthodologie employée est reprise de celle de Deluz et al. (2020) dédiée à la détermination du schéma d'échantillonnage optimal pour l'évaluation des teneurs en SOC du sol (sur 0-20 cm dans le cadre des PER). On a cette fois évalué les contraintes d'échantillonnage du stock de SOC. Brièvement : 150 prélèvements de la couche 0-30 cm de sol ont été réalisés sur 3 parcelles représentatives des sols du canton de Genève et présentant différents historiques de mise en valeur. Des cartes du stock de SOC ont été créées par krigeage sur une grille de 1x1m pour chaque champ. Ceci a ensuite permis de simuler 500 répétitions d'échantillonnage pour différents schémas (schéma d'échantillonnage en diagonale, en croix, en double-parallèle, ...) et avec différents nombres d'échantillons pour chaque passage (5, 10, ..., 25 échantillons par schéma). Une composante aléatoire a été introduite pour disperser les points d'échantillonnages le long des trajectoires des schémas pour simuler le passage de l'opérateur dans le champ. La précision obtenue a été calculée sur la base de la variance observée entre les répétitions, en fonction du nombre de prélèvement par échantillonnage (Figure 3).

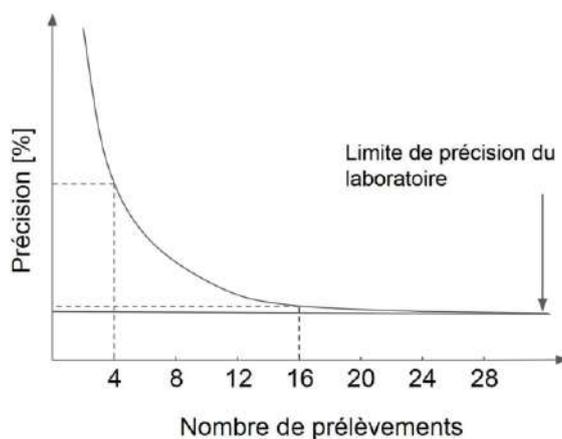


Figure 3 : Niveau de précision d'un échantillon composite en fonction du nombre de prélèvements qui le composent. D'après Diab-Sas (1991)

### Mesure de la masse de terre fine, de la teneur en carbone organique et de la densité apparente

Chaque échantillon est tamisé à 2 mm, les masses de terre fine sèche (étuve à 40°C) et de grossiers sont mesurées.

La masse de terre fine est ensuite corrigée pour se ramener à un prélèvement composé uniquement de terre fine dans le volume de la gouge<sup>7</sup> (Équation 5).

<sup>7</sup> En effet la teneur en éléments grossiers est prise en compte après estimation visuelle – voir section dédiée plus bas.

Dans la suite de ce rapport la masse de terre fine dans l'échantillon composite désignera la masse de terre fine corrigée en utilisant l'Équation 5 pour éliminer la présence de la fraction grossière dans le composite.

La densité apparente du sol échantillonné est simplement donnée par le rapport entre la masse de terre fine corrigée sur le volume total des 20 piqûres.

**Les sols organiques (teneur en MO > 8 %) n'ont pas été pris en compte dans ce travail.** Ils représentent une situation particulière où la séquestration de carbone est impossible, le défi étant d'en perdre le moins possible dans ce cas. Sur 397 prélèvements de sol manuel sur la couche 0-30 cm, 9 ont donc été écartés. Sur 68 prélèvements de sol mécaniques sur la couche 0-30 cm, 3 ont été écartés. Ceci n'empêche pas de les inclure dans un suivi des stocks. Toutefois, leur profil organique peut représenter plus de 30 cm de profondeur. Dans ce cas la perte de SOC se matérialisera par un tassement de cette couche, qui ne sera pas détecté par un prélèvement à 30 cm. **Nous recommandons donc de les exclure d'un suivi tel qu'étudié ici et de les traiter séparément.**

### **Évaluation de la teneur en éléments grossiers (> 2mm)**

La correction du calcul de stock dû pour tenir compte du volume relatif des éléments grossiers au champ n'est quasiment pas discutée dans la littérature. Nous proposons donc ici une méthode pour estimer le pourcentage volumique d'éléments grossiers sur une parcelle et évaluons l'erreur de qui peut être associée à cette valeur.

En vue de soustraire le volume des éléments grossiers du volume de la couche considérée, la teneur volumique en éléments grossiers de chaque parcelle a été estimée visuellement. Pour ce faire 5 mini profils de 30 centimètres de profondeur ont été creusés à la bêche, répartis selon les 4 coins des parcelles et en leur centre (comme les 5 points sur un dé). Les profils sont ensuite rafraichis à l'aide d'un couteau de pédologue et la teneur en grossiers estimée en s'appuyant sur les abaques visuels du *Munsell Soil Color Chart* présentées en Figure 4. Le pourcentage volumique des grossiers sur la parcelle est estimé comme la moyenne des 5 estimations. La variance de la teneur volumique en grossiers a été calculée grâce aux données récoltées sur les 403 parcelles. La variance intra-parcellaire est la variance des 5 valeurs.

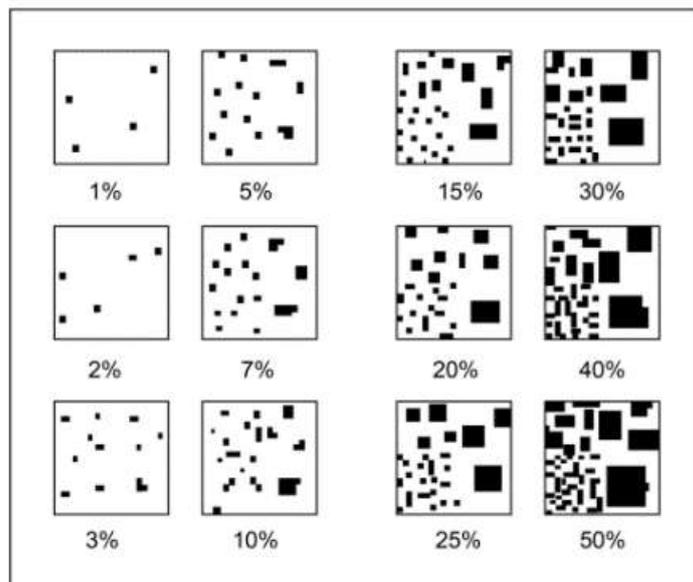


Figure 4. Schéma d'aide à l'appréciation visuelle de la teneur volumique en éléments grossiers dans les sols (source : Munsell Soil Color Chart)

### Validation des prélèvements initiaux (temps T0)

Les premiers prélèvements doivent être réalisés de la manière la plus précise possible car ils déterminent les résultats futurs à travers deux paramètres qui seront conservés, soit la masse de terre fine de référence et le pourcentage volumique d'éléments grossiers.

Malgré le soin apporté au prélèvement, des erreurs persistent. Afin de déterminer si un échantillon initial est valide ou non, on propose de vérifier que sa densité apparente mise en relation avec sa teneur en SOC est cohérente avec les moyennes régionales. Les bases de données HEPIA – Sols et Substrats régionales permettent de tracer la régression linéaire entre la densité apparente et le taux de SOC du sol sur l'arc lémanique. La teneur en SOC permet d'expliquer une grande part de la variance des densités apparentes observées ( $R^2 = 0.59$ ) et la régression est hautement significative ( $p < 0.01$ ) (Figure 5). Si la densité apparente mesurée se trouve hors de l'intervalle de prédiction à 95% de la densité apparente attendue pour la teneur en SOC mesurée, alors le prélèvement initial est mis en doute et devra être refait. On conditionne donc la validité de l'échantillon à une densité apparente qui doit être dans l'intervalle de prédiction à 95% de la régression linéaire.

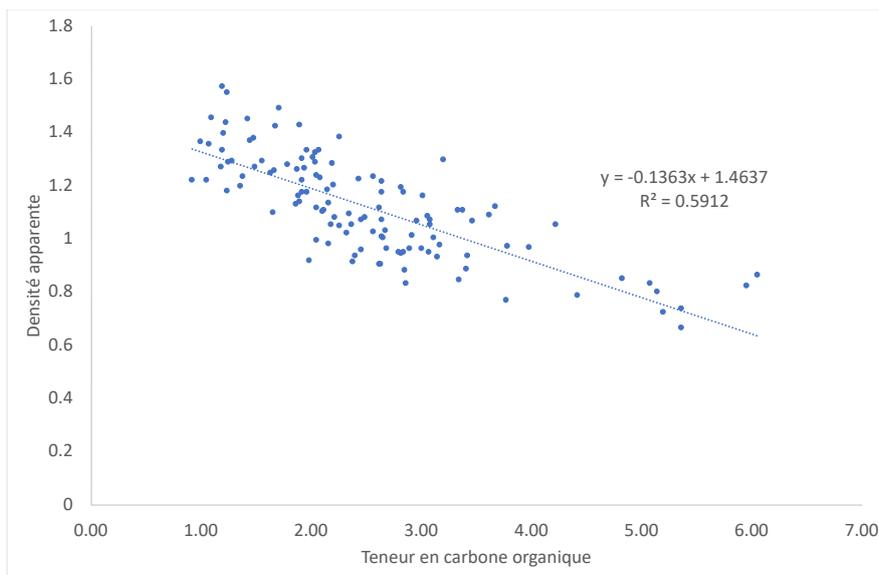


Figure 5 Relation régionale entre la densité apparente du sol et sa teneur en carbone organique faisant foi pour valider un prélèvement au temps  $T_0$  sur une parcelle (base de données HEPIA sols et substrats).

### Calcul du stock de SOC initial, de son erreur associée et du MDC

Pour estimer le stock pour la couche 0-30 cm, 388 parcelles ont été échantillonnées avec la méthode manuelle et 48 avec la méthode mécanique (après déduction des terres noires, MO > 8%).

Le stock de carbone (en  $t\ ha^{-1}$ ) est estimé selon l'Équation 6.

Le *minimum detectable change* (MDC) en tonnes de carbone par hectare sur une parcelle dépend de la variance de ce stock et est estimé selon (Saby et al. 2008) par :

$$MDC(Stock) = z_{\alpha} * \sqrt{Var(Stock)} * \sqrt{\frac{2}{n}}$$

Avec :

*MDC* : Changement minimum de stock de carbone détectable en  $t\ ha^{-1}$

$z_{\alpha}$  : Valeur de la distribution normale standardisée à la probabilité  $\alpha$  (prise à 5%,  $z_{\alpha} = 1.96$ )

*Var(Stock)* : variance d'estimation du stock de carbone

*n* : Nombre de prélèvements par parcelle (20)

Équation 8 : Minimum Detectable Change (MDC) du stock de carbone en fonction de la variance d'estimation du stock.

### L'évolution du stock

#### Calcul de l'évolution du stock avec la méthode ESM - Simplification

La méthode ESM corrige les différences de masse de la couche 0-30 cm causées par des évolutions de densité entre deux mesures en utilisant une couche de correction située à 30-35 cm. Cependant cela implique de devoir prélever à une profondeur plus importante, de devoir réaliser une autre analyse

supplémentaire par échantillon, et de manière générale de compliquer le prélèvement et d'augmenter les coûts.

Nous avons donc évalué la possibilité de remplacer le prélèvement et l'analyse de la couche 30-35 cm par un terme correctif correspondant aux valeurs moyennes observées sur la zone pédologique correspondante pour cette profondeur. Dans ce cas l'Équation 3 qui calcule le stock compris dans l'échantillon composite devient :

$$StockEch_n = M_n \times SOCEch_n + (M_0 - M_n) * SOC_{correct}$$

Avec :

- StockEch<sub>n</sub> stock **corrigé** (Équation 5) de carbone en g dans l'échantillon composite
- M<sub>n</sub> masse sèche à l'étuve en g de la fraction < 2 mm de l'échantillon composite au temps T<sub>n</sub>
- M<sub>0</sub> masse sèche à l'étuve en g de la fraction < 2 mm de l'échantillon composite au temps T<sub>0</sub>
- SOCEch<sub>n</sub> teneur en carbone de l'échantillon composite en % (m/m)
- SOC<sub>correct</sub> : teneur en carbone **moyenne** de la couche de correction en % (m/m)

*Équation 9 Stock de carbone (en g) dans un échantillon composite, corrigé en utilisant une teneur SOC moyenne de la couche correctrice pour se ramener à la masse prélevée au temps T<sub>0</sub>.*

Si la variance de la teneur en SOC de la sous couche (30-35 cm) est faible, l'erreur introduite par l'utilisation d'un terme correcteur moyen aura un impact faible sur l'évaluation du changement de stock et son MDC, ce qui doit être évalué.

Il est important de retenir (i) que ce test est conduit en grandes cultures principalement. Le profil de SOC des prairies permanentes est moins contrasté avec la profondeur qu'en terre travaillée. L'emploi d'un terme correcteur standard dans ces situations devra être discuté et confirmé. (ii) D'autre part la simplification proposée est double puisqu'outre l'emploi d'un terme correcteur standard, la couche de correction considérée est la couche 30-35. Ceci doit permettre de faire un état initial du stock 0-30 cm qui servira de référence dans la suite sans échantillonner deux couches. L'applicabilité repose sur le fait que sous les (anciennes) semelles de labour, généralement à 25 cm et jamais observées à plus de 28 cm, la couche de sol est homogène et qu'échantillonner 28-34 cm (méthode « one Layer » de Wendt et Hauser (2013)) ou 30-35 cm donnera un résultat non significativement différent en termes de teneur en SOC et Da.

Pour tester ces hypothèses, nous avons (i) déterminé les caractéristiques moyennes et la variabilité des teneurs en SOC (et Da) de la couche 30-35 sur le territoire concerné, et (ii) calculé l'erreur effectuée sur un terme correcteur en attribuant une valeur moyenne ou médiane à ces valeurs plutôt que la valeur observée et (iii) calculé l'impact de cette erreur sur le MDC du stock carbone par ha.

#### *Erreur sur le stock en prélevant la couche 30-35 cm – méthode ESM*

La correction de stock dans l'échantillon composite est décrite par l'Équation 3. Cette correction fait intervenir la différence de masse entre les composites aux temps T<sub>0</sub> et T<sub>n</sub> et la teneur en SOC mesurée dans cette couche. L'écart type de la teneur en SOC a été estimée à 0.16% pour la couche 30-35 à l'échelle intra parcellaire. A l'échelle inter parcellaire, l'écart type de SOC est de 0.5 % pour la couche 30-35 cm selon notre échantillonnage (0).

Le terme correctif est ajouté au stock dans l'échantillon composite, et sa variance est donc additionnelle à celle de la variance du stock sur 0-30 cm. Pour un ha sur 0-30 cm le stock en t de carbone est en effet donné par l'Équation 7 :

$$Stock_n = StockEch_n \times \frac{3000}{VGouge_n \times N_{Piq}} \times (1 - T_xg)$$

$$Et StockEch_n = M_n \times SOCEch_n + (M_0 - M_n) * SOC_{ccorr} \quad (\text{Équation 3})$$

La variance du terme correctif à cette échelle est donc celle de SOC dans la couche 30-35 avec le facteur multiplicatif

$$(M_0 - M_n) * \frac{3000}{VGouge_n \times N_{Piq}}$$

$$VarStock_{Par} = VarStock_{0-30} + \left( \frac{3000}{VGouge_n \times N_{Piq}} \times (M_0 - M_n) * STDSOC_{ccorr} \right)^2$$

Avec :

$VarStock_{Par}$  La variance du stock sur 0-30 cm pour un ha.

$VarStock_{0-30}$  la variance expérimentale du stock sur 0-30 cm déterminée en section 0 (en supposant cette variance inchangée au temps n).

$STDSOC_{ccorr}$  L'écart-type intra parcellaire de la teneur en SOC sur la couche 30-35 cm (0.16 % m/m).

Équation 10 : Variance associée à la mesure du stock avec terme correctif – sans prise en compte des éléments grossiers.

On obtient le MDC de cette méthode en utilisant la variance calculée grâce à l'Équation 10 dans l'Équation 8 de calcul du MDC. La variance à l'échelle de la parcelle doit encore prendre en compte l'erreur sur la teneur en éléments grossiers (Équation 7) qui intervient en facteur multiplicateur du calcul de stock. En supposant la teneur en éléments grossiers et la teneur en Soc de la couche 0-30 cm indépendantes, la variance totale du stock par ha  $VarStock_{ha-G}$  pour la couche 0-30 cm s'écrit :

$$VarStock_{ha-G} = VarStock_{Par} \times Var(1 - Tg) + VarStock_{Par} \times (\overline{1 - Tg})^2 + Var(1 - Tg) \times (\overline{Stock})^2$$

Avec :

Tg : teneur volumique en éléments grossiers.

$VarStock_{Par}$  La variance du stock sur 0-30 cm pour un ha

$VarStock_{ha-G}$  La variance du stock sur 0-30 cm pour un ha compte tenu de la variance de l'estimation des éléments grossiers

Équation 11 Calcul de la variance du stock sur la parcelle, compte tenu du % volumique d'éléments grossiers Tg.

On obtient le MDC correspondant à cette méthode en utilisant la variance calculée grâce à l'Équation 11 dans l'Équation 8 de calcul du MDC.

*Erreur sur le stock en utilisant un terme correctif moyen – méthode ESM simplifiée*

Avec la méthode ESM simplifiée, on remplace la teneur SOC du terme correctif par la valeur moyenne des teneurs en SOC mesurées dans la couche 30-35 cm. On remplace alors l'erreur sur le SOC ci-dessus (0.16%) par l'erreur due à la variance autour de la moyenne de teneur en SOC de la couche 30-35 cm soit 0.5% (section 0) dans l'Équation 10. De la même manière, le MDC est calculé avec l'Équation 8 et sera comparé au MDC de la méthode ESM.

### *Comparaison avec le calcul du stock à profondeur constante et à densité apparente moyenne*

En effectuant un échantillonnage à profondeur constante et en appliquant une densité apparente moyenne, le stock est évalué selon l'Équation 12:

$$\text{Stock} = TC * Da_{\text{moyenne}} * V_{\text{sol}} * (1 - G)$$

Équation 12 : Calcul du stock de SOC sur 30 cm selon la méthode à profondeur constante

Avec :

*Stock* : Stock de carbone en [t.ha<sup>-1</sup>]

*TC* : Teneur en SOC [-]

*V<sub>sol</sub>* : Volume de sol en [m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>] (toujours égal à 3000)

*Da<sub>moyenne</sub>* : Densité apparente moyenne des sols agricoles en grandes cultures [t.m<sup>-3</sup>]

En mesurant le changement de stock à profondeur constante et avec une densité apparente du sol unique, on introduit les erreurs suivantes :

- On ne prend pas en compte le changement d'épaisseur du sol et on n'échantillonne donc pas la même couche.
- On suppose que la densité apparente du sol ne varie ni à l'échelle de la parcelle ni à l'échelle du territoire ce qui n'est pas vrai (cf Figure 5).
- La teneur en grossiers n'est pas mesurée et on la suppose constante à l'échelle du territoire.

Ici les facteurs d'erreur sont les variances de la densité apparente, de la teneur en SOC du sol et de la teneur volumique en éléments grossiers. Étant donné que ce sont des données moyennes qui sont utilisées pour la densité et la teneur en grossier, ce sont les variances inter-parcellaire et non intra-parcellaire qui ont été utilisées. La variance sur le stock due à cette méthode s'écrit :

$$\begin{aligned} \text{Var}(\text{Stock}_{\text{Prof. constante}}) &= \text{Var}((SOC_n * Da) - (SOC_0 * Da) * 3000 * (1 - TG)) \\ &= ((9 * (1000000 * ((\text{Var}(Da) * 2\text{Var}(SOC)) + (\text{Var}(Da) \\ &\quad * E(SOC_n - SOC_0)^2) + (2\text{Var}(SOC) * E(Da)^2)))) * \text{Var}(TG)) + ((9 * (1000000 \\ &\quad * ((\text{Var}(Da) * 2\text{Var}(TC)) + (\text{Var}(Da) * E(SOC_0 - SOC_0)^2) + (2\text{Var}(SOC) \\ &\quad * E(Da)^2)))) * E(1 - TG)^2) + (\text{Var}(TG) * E(3\Delta C)^2) \end{aligned}$$

Avec :

*SOC* : Teneur en SOC en % m/m ; *SOC<sub>n</sub>* et *SOC<sub>0</sub>* teneur en SOC aux temps *T<sub>0</sub>* et *T<sub>n</sub>*.

*V<sub>sol</sub>* : Volume de sol en [m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>] (toujours égal à 3000)

*Da* : densité apparente du sol en t m<sup>-3</sup>

*Da<sub>moyenne</sub>* : Densité apparente moyenne des sols agricoles en grandes cultures [t.m<sup>-3</sup>]

*TG* : Teneur en grossier au champ % v/v

Équation 13 : Variance sur le stock de SOC sur 30 cm selon la méthode à profondeur constante

### Expression du MDC en années avant l'échantillonnage suivant

Tous les MDC des stocks sont calculés avec la même formule (Équation 8). Pour connaître le nombre d'années nécessaires avant de pouvoir observer un changement statistiquement significatif pour chaque méthode, on doit tenir compte de la teneur en SOC trouvée au temps précédent et de la vitesse d'évaluation de ce stock. Cette dernière information est disponible grâce à l'étude de (Dupla et al. 2022). La formule utilisée est la suivante :

$$N = \frac{\log \left( \frac{Stock_{initial} + MDC}{Stock_{initial}} \right)}{\log (1 + T_x)}$$

Avec :

*N* : Nombre d'années avant de pouvoir observer un changement significatif du stock [an]

*Stock<sub>initial</sub>* : Stock de carbone initial en [t.ha<sup>-1</sup>]

*MDC* : Minimum Detectable Change [t.ha<sup>-1</sup>]

*T<sub>x</sub>* : Taux d'évolution annuel de la teneur en SOC en ‰

Équation 14 : MDC (années) ou nombre d'années avant de pouvoir observer un changement significatif du stock de carbone

### Détection des erreurs de prélèvement et limites d'erreur acceptable

Il sera dans le futur primordial de vérifier la qualité des échantillons afin d'exclure avant analyse ceux qui auraient été réalisés avec une qualité insuffisante. L'erreur principale sera sur le poids récolté, et ceci correspond à un remplissage incomplet de la gouge. Le rejet d'un échantillonnage initial a été envisagé ci-dessus (section 0). De manière à déterminer si un échantillonnage ultérieur est acceptable nous proposons d'utiliser une valeur maximale de changement d'épaisseur de la couche de sol 0-30 et de limiter la variation de masse observée acceptable à l'aide de ces informations. Si l'échantillon prélevé a une masse inférieure ou supérieure à celle de l'état initial plus ou moins ce facteur de changement maximal, la répétition de l'échantillonnage sera demandée.

Plusieurs facteurs peuvent entraîner un gonflement ou tassement du sol (Wendt et Hauser 2013). Les principaux facteurs et leurs intervalles de confiance à 95 % sont : un labour récent (de -2.41 à + 1 cm), un changement de teneur en eau (± 0.8 cm) et un changement de teneur en SOC (± 0.2 cm) (Figure 2).

Étant donné que les mesures ne devront pas être effectuées après un labour<sup>8</sup>, les facteurs principaux sont donc les changements de teneurs en eau et SOC. Nous considérons donc comme borne supérieure du changement d'épaisseur du sol sur 0-30 cm la valeur de 3 cm soit 10% de l'épaisseur de la couche 0-30 cm. Selon cette hypothèse, la masse de sol prélevé au 2<sup>ème</sup> passage devra donc être comprise dans la masse du prélèvement initial ± 10 % (voir Équation 15 ci-dessous).

$$MTF_{final} \in [0.9 * MTF_{initial}, 1.1 * MTF_{initial}]$$

Équation 15 : Gamme maximale admissible de la masse d'échantillon

De plus la densité apparente trouvée (MTF / (Volume prélevé- grossiers)) doit être cohérente avec les données régionales (voir section 0 et Figure 5), ce qui prend en compte le changement de teneur en

<sup>8</sup> Contrevenir à cette règle n'est pas dans l'intérêt de l'agriculteur : la masse prélevée étant trop faible, elle sera corrigée par la valeur de la sous-couche, soit un terme de stock faible.

SOC. Enfin, le taux d'évolution de SOC entre deux dates doit être cohérent avec les pratiques agricoles durant cette période.

Ce modèle de séquestration du SOC développé par l'HEPIA pour les sols suisses en grandes cultures permet d'estimer le taux d'évolution annuel du SOC. Il prend en compte le travail du sol, la matière organique apportée, la durée des intercultures non couvertes et le rapport SOC/Argile II a été développé grâce aux données récoltées sur 120 parcelles des cantons de Vaud et Genève. L'Équation 16 ci-dessous donne le taux d'évolution de la matière organique attendu selon ces quatre paramètres. Les erreurs entre le modèle et les taux d'évolutions observés pour les 120 fermes suivent une relation linéaire et hautement significative (voir Chapitre 0). On s'attend donc à ce que l'erreur entre le taux d'évolution observé et le modèle soit proche de l'erreur attendue.

$$T_x = 37.03 + 0.53 * ISMO - 2.95 * SOC/A - 0.12 * STIR - 1.26 * I$$

Avec :

$T_x$  = Taux d'évolution annuel de carbone organique [‰]

ISMO = Masse de matière organique humifiée apportée rapportée à l'année [ $t \cdot ha^{-1}$ ]

SOC/A = Rapport teneur en carbone organique sur teneur en argile [%]

STIR = Indice d'intensité de travail du sol [-]

I = Nombre d'intercultures non couvertes sur 10 ans [-]

Équation 16 : Taux d'évolution annuel de la teneur en MO attendu selon divers paramètres à l'échelle de la parcelle d'après le modèle linéaire généralisé de l'HEPIA

Si les différences (ou résidus) entre les valeurs observées et ces deux régressions sont supérieures à soit l'erreur standard résiduelle des différences observées sur les données de ce projet, alors on considère que les valeurs observées sont en dehors des limites acceptables.

En résumé, nous proposons de procéder à un triple contrôle avant acceptation d'une mesure de stock :

- Acceptabilité de la masse de terre fine  $M_n$  trouvée dans l'échantillon composite (Équation 5) au temps  $T_n$  par rapport à la masse  $M_0$  au prélèvement aux temps  $T_0$ .
- Acceptabilité de la  $D_a$  trouvée par rapport à la régression entre la densité et le taux de SOC (Figure 5).
- Acceptabilité du changement de teneur en SOC par rapport aux pratiques et au modèle linéaire généralisé du taux d'évolution annuel (Dupla et al. 2022).

Ce triple contrôle peut être automatisé et permettra d'identifier les échantillonnages suspects nécessitant un contrôle.

## Résultats

Les résultats abordent successivement le schéma d'échantillonnage et son influence sur les erreurs d'évaluation des stocks, la comparaison entre les systèmes de prélèvement, la prise en compte de la teneur en éléments grossiers, le calcul des différentes erreurs et MDC.

## Schéma d'échantillonnage

Les calculs effectués ont permis de valider la stratégie d'échantillonnage en croix comme étant la plus robuste. L'étude a aussi montré que le nombre d'échantillons nécessaire par parcelle est d'environ 20 : jusqu'à 20 échantillons la diminution de l'écart-type pour les 500 répétitions est très marquée, au-dessus de 20 la diminution de l'écart-type est négligeable et ne justifie pas l'augmentation des coûts nécessaire au plus grand nombre de piqûres. Dans la suite de cette étude, les échantillons composites ont donc été constitués de 20 échantillons collectés à la gouge le long des deux diagonales des parcelles et en évitant les bords (environ 10 mètres) comme visible sur la Figure 6. Les carottes de sol prélevées à la gouge sont contrôlées visuellement : elles doivent être bien remplies, à défaut la piqûre est refaite.

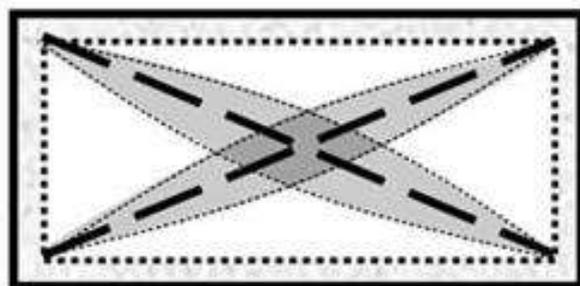


Figure 6 Schéma d'échantillonnage en croix

Le stock de carbone présente, entre deux échantillons composites de 20 piqûres prélevé selon un schéma d'échantillonnage en croix, en prenant en compte la variance analytique, un **écart-type de 1.9 t ha<sup>-1</sup> pour la couche 0-30 cm** (Figure 7).

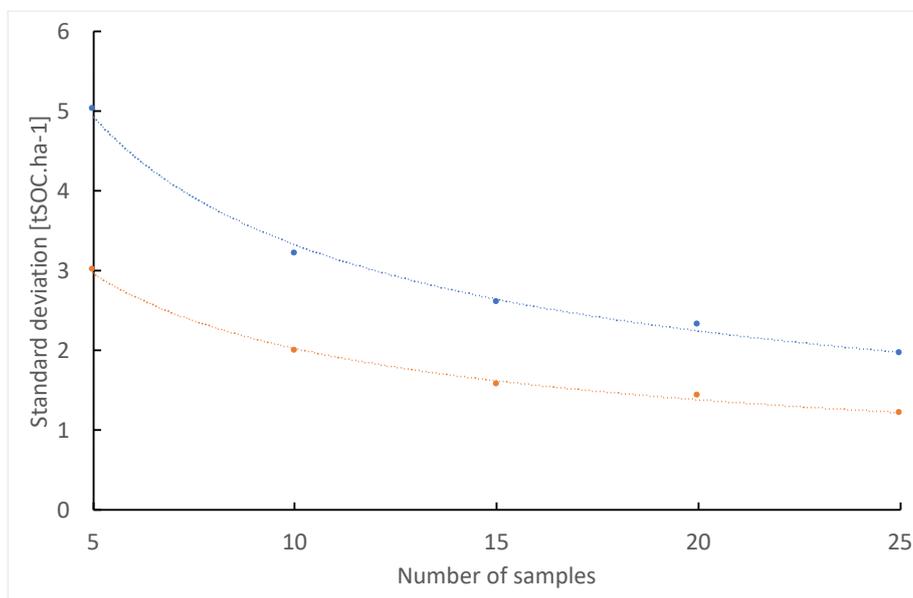


Figure 7 : Écart Type sur la mesure du stock en fonction du nombre de piqûres à la gouge pour former l'échantillon composite pour les deux parcelles échantillonnées. Résultat de 500 répétitions aléatoires selon un schéma en croix (diagonales de la parcelle). En bleu : parcelle en semis direct, en rouge : parcelle en conventionnel.

Avant de réaliser l'échantillonnage l'homogénéité des parcelles a été vérifiée visuellement en la parcourant et en questionnant les agriculteurs concernés lors d'entretiens préalables. Si une zone hétérogène est identifiée (spot de terre noire, zone humide, zone de remblais...) mais qu'elle est inférieure à 5000 mètres carrés ou si elle représente moins de 1/6<sup>ème</sup> de la parcelle, alors la parcelle est échantillonnée normalement, dans le cas contraire, cette zone est échantillonnée séparément.

« Sous réserve de certaines conditions des parcelles ont dû être regroupées de manière à ne réaliser qu'un seul prélèvement composite : (i) si la somme des surfaces regroupées ne dépasse pas 8 hectares, (ii) si les pratiques agricoles sont identiques depuis au moins 10 ans et (iii) si les parcelles se trouvent sur une unité pédologique homogène. » **Variance de la teneur en grossier à l'échelle des parcelles**

La variance intra-parcellaire de la teneur en éléments grossiers (> 2 mm) augmente avec le pourcentage volumique moyen des grossiers. Si l'on regarde la distribution du logarithme de la variance en fonction du logarithme de la moyenne des grossiers, on peut voir que la distribution de la variance est linéaire (Figure 8). Cela indique que la relation entre la variance et la moyenne des grossiers suit une relation de puissance (Figure 9). Pour le calcul de l'erreur sur le stock initial (0), puisque la variance des grossiers est approximée par l'équation donnée sur la Figure 9, **on donnera donc l'erreur en fonction du pourcentage volumique moyen d'éléments grossiers dans la parcelle.**

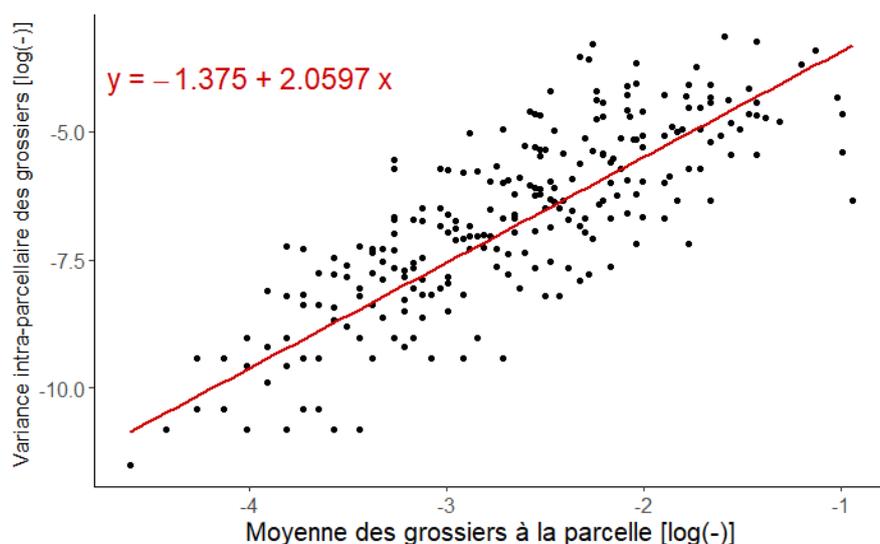


Figure 8 : Logarithme de la variance intra-parcellaire en fonction du logarithme de la teneur moyenne en éléments grossiers. La ligne rouge est la régression linéaire dont l'équation est donnée en rouge.

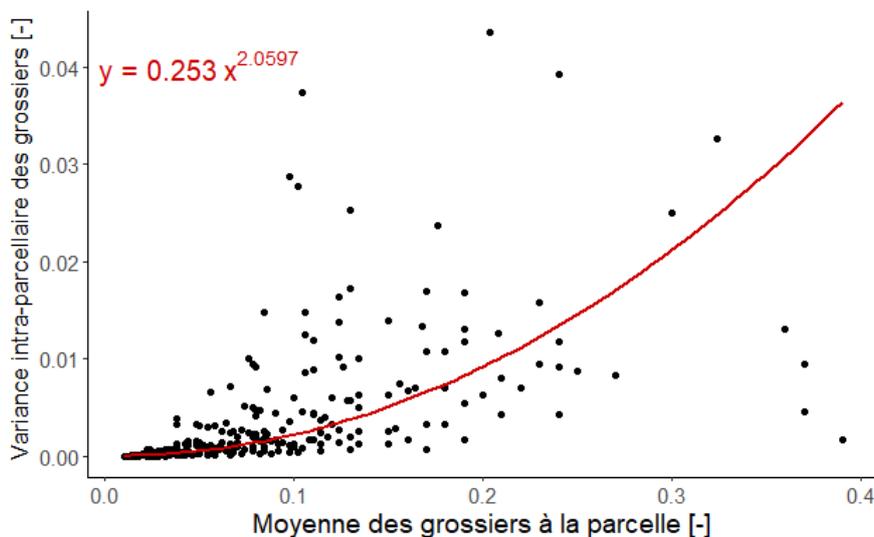


Figure 9 : Variance intra-parcellaire en fonction de la teneur moyenne en éléments grossiers. La ligne rouge est la régression de puissance dont l'équation est donnée en rouge.

## Influence de la méthode de prélèvement et du diamètre des gouges sur le calcul du stock

### Relation entre les masses obtenues par prélèvement mécanique selon les diamètres de gouges

Un résumé de la distribution des valeurs de SOC, densité apparente et teneurs en grossiers pour les 65 mesures mécaniques sur 0-30 cm est présenté dans le Tableau 2. Pour les teneurs en SOC, les extrêmes et les écart-types sont similaires selon le volume de la gouge tandis que les valeurs moyennes diffèrent mais de manière non-significatives (t-test :  $t(36.49) = 1.3$ , p-value = 0.2). Pour les densités apparentes, la moyenne des valeurs est significativement plus faible pour la gouge de 159 cm<sup>3</sup> (t-test :  $t(62.4) = 26.7$ , p-value = 2e-16). On notera également que les densités sont anormalement faibles dans les deux cas. Cela indique (i) que les gouges sont faiblement remplies, (ii) que la gouge de 68 cm<sup>3</sup> a tendance à mieux se remplir que celle de 159 cm<sup>3</sup> et que c'est la partie supérieure de la carotte qui a tendance à manquer lors des prélèvements avec cette dernière puisqu'en théorie la teneur en carbone diminue avec la profondeur. Les teneurs en éléments grossiers sont plus faibles que pour le prélèvement manuel (voir Tableau 3).

Tableau 2 : Distribution de la teneur en SOC, la teneur en grossiers et de la densité des 65 mesures mécaniques sur la couche 0-30cm, après avoir retiré les terres noires. En vert les différences non-significatives, en rouge les différences significatives.

Variable	Volume de la gouge (cm <sup>3</sup> )	Min	Max	Moyenne	Médiane	Ecart-type
SOC (%)	68	1.22	4.45	2.41	2.23	0.79
	159	1.29	4.46	2.14	1.94	0.73
	Indifférencié	1.22	4.46	2.33	2.05	0.78
Densité apparente (g.cm <sup>-3</sup> )	68	0.37	0.73	0.57	0.59	0.08
	159	0.08	0.26	0.18	0.19	0.04
	Indifférencié	0.08	0.73	0.46	0.55	0.19
Teneur en éléments grossiers (%)	Indifférencié	1.2	24	5.2	3.9	4.4

Pour les 18 parcelles qui ont été échantillonnées avec les deux gouges, les comparaisons de paires pour les densités et les teneurs SOC sont visibles sur la Figure 10. Les densités ainsi que les teneurs en carbone sont supérieures pour la gouge de 68 cm<sup>3</sup> de diamètre.

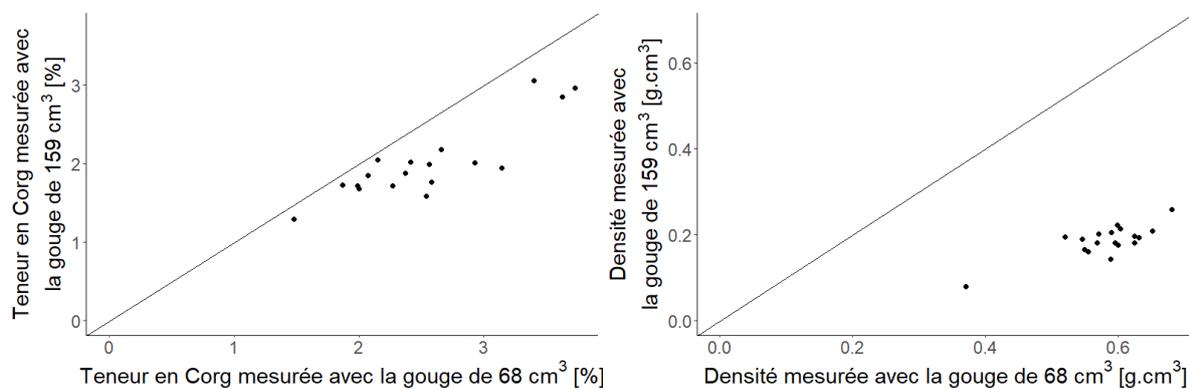


Figure 10. Comparaison de paires des valeurs de SOC et de densité mesurée aux mêmes parcelles avec les deux gouges mécaniques (N = 18). Les droites correspondent à la bissectrice.

#### Correspondance entre les prélèvements manuels selon le diamètre de gouge

Un résumé de la distribution statistique des teneurs volumiques en grossiers, pondérales en SOC et de densité apparente en fonction du diamètre de la gouge utilisée pour les 388 parcelles prélevées manuellement est donné dans le Tableau 3. Alors que les valeurs maximales et les écart-types sont sensiblement les mêmes selon la gouge pour les deux variables, on remarque une légère tendance selon le volume de la gouge pour les moyennes et médianes : elle est légèrement croissante pour la teneur en SOC et légèrement décroissante pour la densité. Les valeurs moyennes obtenues avec les gouges manuelles sont de l'ordre de grandeur attendu pour les sols suisses : deux t-tests ont été effectués pour comparer les données avec les valeurs de la base régionale HEPIA établies au cylindre. On ne relève pas de différence significative (voir Chap. 0).

Tableau 3: Distribution de la teneur en SOC, la teneur en grossiers et de la densité des 388 parcelles prélevées manuellement sur la couche 0-30cm, après avoir retiré les terres noires

Variable	Volume de la gouge (cm <sup>3</sup> )	Min	Max	Moyenne	Médiane	Ecart-type
Teneur en SOC (%)	70	1.12	4.32	1.98	1.82	0.63
	125	0.96	4.45	2.17	2.01	0.69
	132	0.93	4.47	2.23	2.09	0.67
	Indifférencié	0.93	4.47	2.17	2.00	0.68
Densité (g.cm <sup>-3</sup> )	70	0.88	1.59	1.23	1.24	0.16
	125	0.77	1.52	1.20	1.20	0.12
	132	0.79	1.61	1.12	1.13	0.12
	Indifférencié	0.77	1.61	1.17	1.17	0.13
Teneur en grossiers (%)	Indifférencié	1	39	7.83	5.80	6.60

On sait que la densité apparente est fortement dépendante de la teneur en SOC (Johannes et al. 2017; Manrique et Jones 1991). La Figure 11 montre les régressions linéaires pour chaque volume de gouge entre la densité apparente et la teneur en SOC. Visuellement, on peut voir que les pentes sont très proches et que les ordonnées à l'origine diffèrent un peu. On se demande donc s'il existe des différences statistiques significatives entre les gougues manuelles.

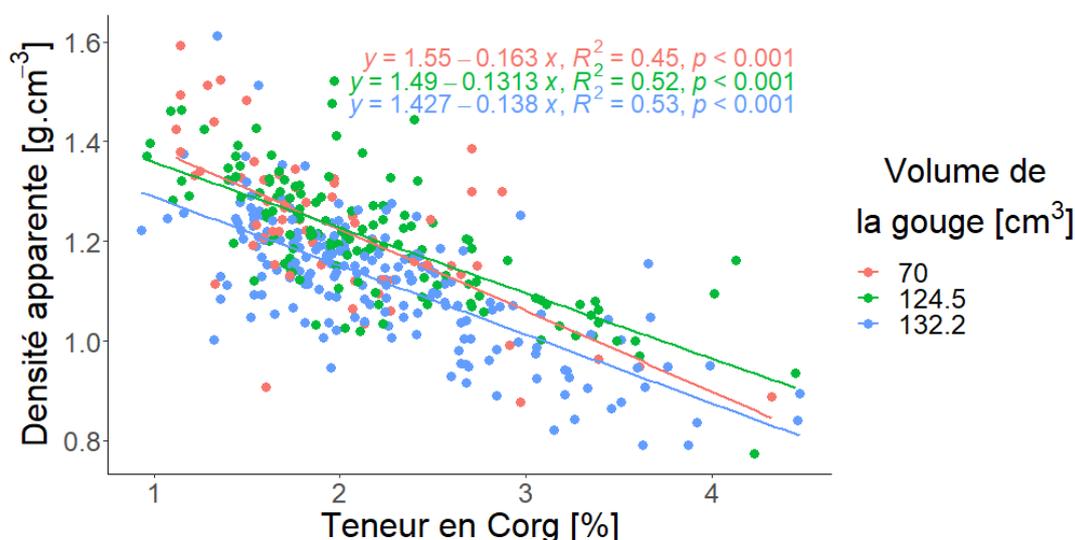


Figure 11. Relation entre densité et teneur en SOC selon le diamètre de la gouge manuelle utilisée pour la couche 0-30 cm

Les tests statistiques montrent que les pentes des régressions linéaires sont identiques de manière hautement significative, tandis que les ordonnées à l'origine sont légèrement différentes entre les gougues (Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Nous avons comparé ces résultats à ceux de la relation de référence sur les sols de la région obtenue dans notre base de données à l'aide de prélèvements classiques (voir Chap. 0).

La régression Da-SOC rassemblant toutes les données récoltées manuellement est présentée en Figure 12.

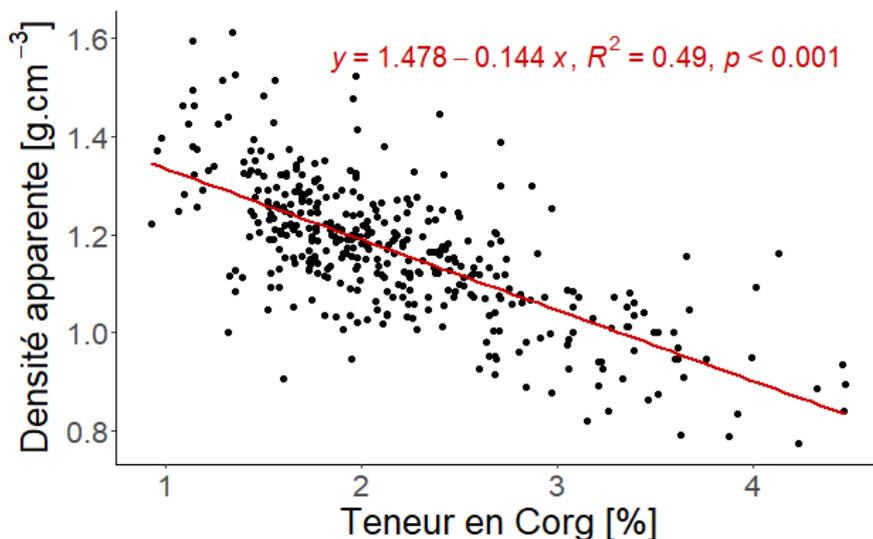


Figure 12. Relation entre densité apparente et teneur en SOC selon le diamètre de la gouge utilisée pour les 388 parcelles prélevées manuellement sur la couche 0-30 cm.

### Correspondance entre les prélèvements mécaniques et manuels

En moyenne et sur l'ensemble des échantillons, les gougues mécaniques sous-estiment significativement la densité apparente comparativement aux gougues manuelles (t-test :  $t(74.80) = -26.65$ ,  $p = 2.2e^{-16}$ ) avec une moyenne de Da 59 % plus faible ; elles surestiment la teneur en SOC de manière non-significative (t-test :  $t(80.99) = 1.59$ ,  $p = 0.12$ ) avec une moyenne 5 % supérieure à celle obtenue avec les gougues manuelles.

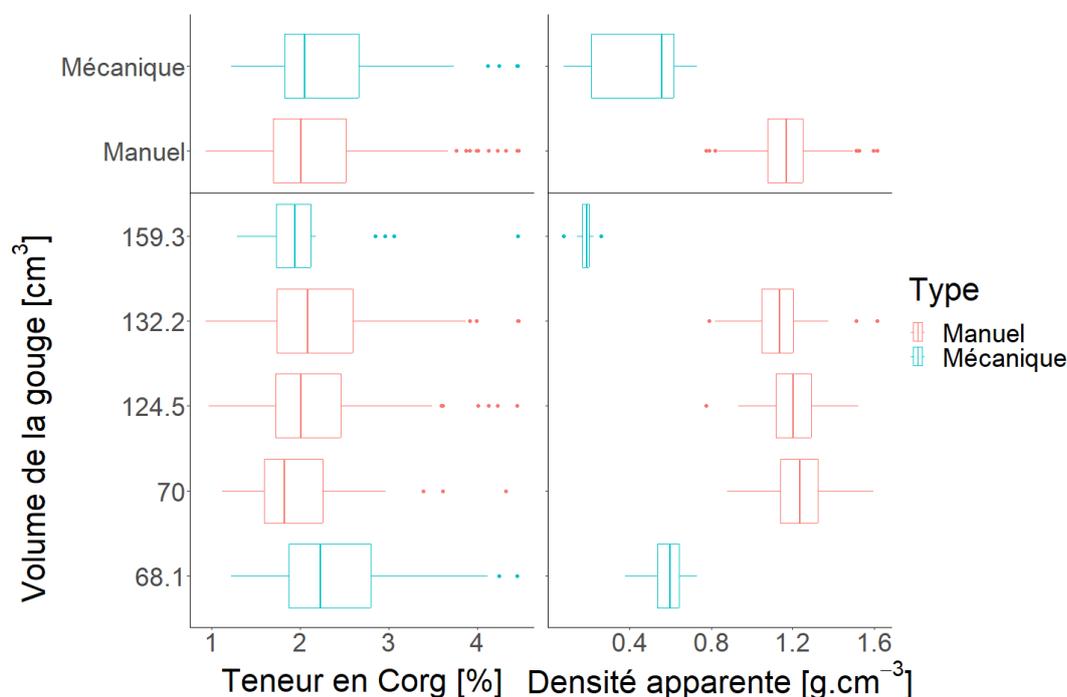


Figure 13 : Boite à moustaches des teneurs en SOC et des densités apparentes selon le mode de prélèvement (manuel ou mécanique) et selon le volume de la gouge (N manuel = 388, N mécanique = 65).

Pour les 38 parcelles échantillonnées selon les deux modalités, les comparaisons de paires confirment ce qui a été trouvé sur l'ensemble des échantillons : l'échantillonnage mécanique sous-estime grandement la densité et légèrement la teneur en SOC (Figure 14) et les valeurs trouvées ne sont pas réalistes (la moyenne <math>< 0.5 \text{ g cm}^{-3}</math>). Cela confirme que les gouges mécanisées ne se remplissent pas correctement, et que relativement à la gouge manuelle la partie inférieure de la carotte manque dans la gouge mécanisée.

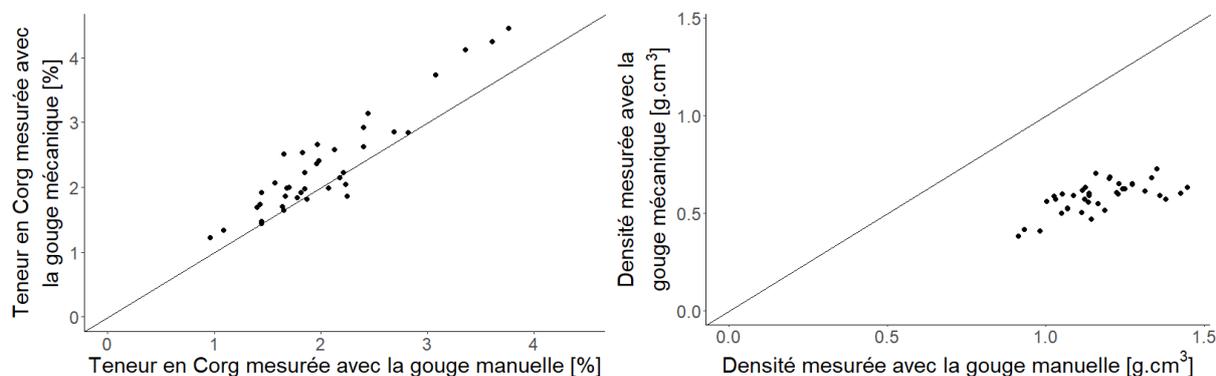


Figure 14 : Comparaison de paires des valeurs de SOC et de densité mesurée aux mêmes parcelles avec une gouge mécanique et manuelle (N = 38). Les droites correspondent au rapport 1:1.

Comparativement à des prélèvements manuels avec contrôle visuel du remplissage des gouges, le prélèvement par gouge mécanisée sous-estime la densité apparente d'un facteur 2. **Les prélèvements mécaniques ne peuvent pas être utilisés pour faire un suivi des stocks de carbone car ils ne permettent pas d'estimer les masses. Dans la suite de ce travail, seuls les résultats de prélèvements effectués manuellement seront considérés.**

### Validation des prélèvements initiaux

La distribution des données de densité apparente en fonction de la teneur en SOC correspond bien à celle trouvée pour nos données HEPIA régionales (Figure 15). Les tests statistiques sur les régressions entre Densité apparente et SOC montrent que les pentes et les ordonnées sont statistiquement identiques.

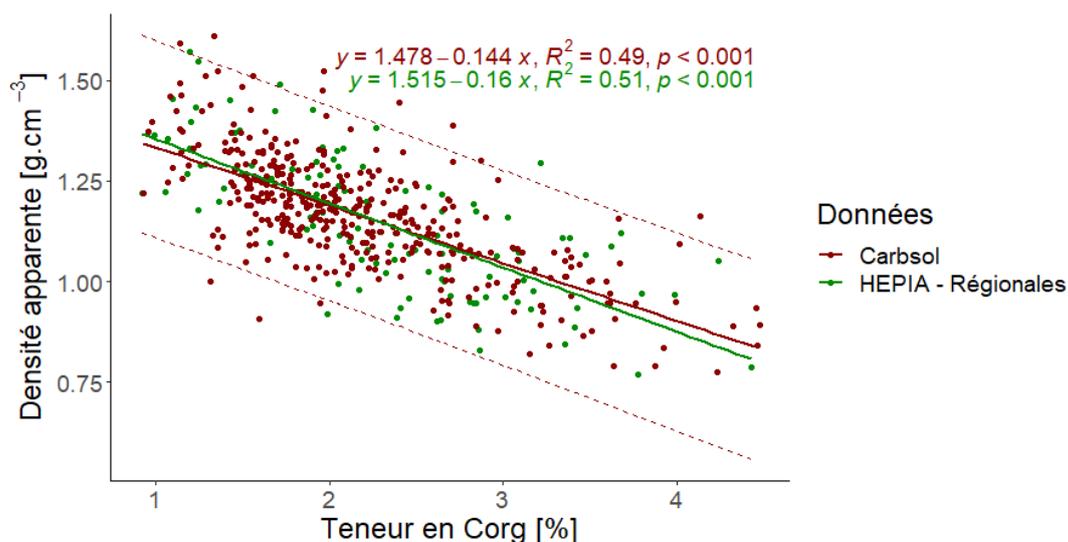


Figure 15 : Relation entre densité apparente et teneur en SOC sur la couche 0-30 cm pour les données récoltées manuellement dans le cadre de ce travail (N = 388) et pour les données régionales HEPIA par mesure directe (N = 120). Les droites pleines sont les régressions linéaires de chaque jeu de données, les droites en tirets rouges représentent l'intervalle de prédiction à 95 % des données HEPIA régionales.

## Stock de carbone organique, erreur sur le stock et MDC initiaux des parcelles échantillonnées

### Distribution des stocks observée

Pour les 388 parcelles échantillonnées manuellement sur 0-30 cm, on a calculé les stocks selon l'Équation 7. La distribution du stock et ses paramètres statistiques sont respectivement visibles sur la Figure 16 et le Tableau 4. Le stock moyen des 388 parcelles est de 67 t ha<sup>-1</sup>.

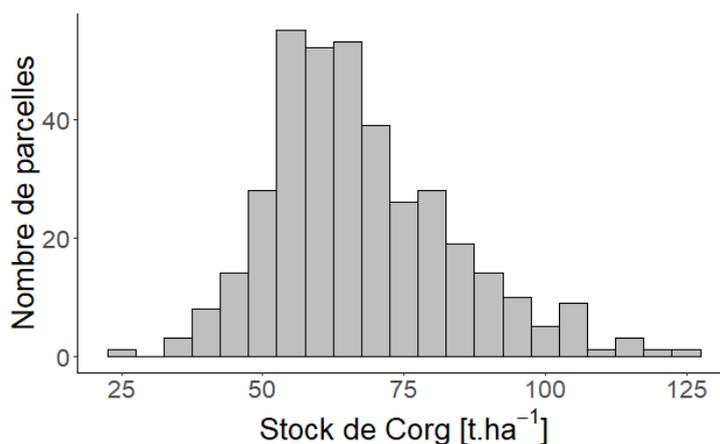


Figure 16. Distribution du stock de SOC pour les 388 parcelles prélevées manuellement sur 0-30 cm. Classes de 5 t ha<sup>-1</sup>.

Tableau 4 : Caractéristiques de la distribution des stocks de SOC des 388 parcelles prélevées manuellement sur la couche 0-30 cm, après avoir retiré les terres noires (> 8% de MO).

	Min	Max	Moyenne	Médiane	Écart-type
Stock de SOC [t ha <sup>-1</sup> ]	25	125	67	65	16.3

#### *Distribution des erreurs et MDC associés au calcul du stock de SOC initial*

L'erreur sur le calcul de stock de SOC a été estimée grâce à l'Équation 11 en considérant la variance intra-parcellaire de la masse de SOC et de la teneur en grossier. Les données permettant le calcul de la variance de la masse de carbone à l'échelle d'une parcelle sont reprises du travail de diplôme de Lucien Schneeberger (2020). Pour le stock de carbone dans la couche 0-30cm, les écarts types à considérer sont soit de 5.5 t ha<sup>-1</sup> de carbone (écart-type intra parcellaire moyen S trouvé à partir de 150 sondages de stock de carbone), à utiliser dans l'Équation 8 avec N = 20, soit celui de la simulation des trajectoires pour n=20 (schéma en croix) soit :

$$\text{Cas 1 : } MDC = 1.96 \times 5.5 \times \sqrt{\frac{2}{20}} = 3.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ de carbone pour la couche 0-30 cm}$$

$$\text{Cas 2 : } MDC = 1.96 \times 1.88 = 3.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ de carbone pour la couche 0-30 cm}$$

Le calcul selon le cas 1 est le plus rigoureux et les deux valeurs sont très proches, nous retiendrons, en l'absence de grossiers, un MDC de 3.4 t ha<sup>-1</sup> pour la couche 0-30 cm.

La variance intra-parcellaire de la teneur en éléments grossiers est fonction de la teneur volumique moyenne en éléments grossiers, dont l'équation est donnée dans le chapitre 0, introduite dans l'Équation 11. En toute rigueur, dans l'équation 13, c'est le stock de la parcelle qui doit être introduit. Pour le stock moyen trouvé (67 t ha<sup>-1</sup>), on peut calculer la variance du stock et donc le MDC (Équation 8) en fonction de la teneur en éléments grossiers. Le MDC en t ha<sup>-1</sup> du stock initial en fonction du pourcentage de grossiers à la parcelle, calculé avec l'Équation 8, est donné en Figure 17. Pour la valeur moyenne des teneurs volumiques en éléments grossiers des parcelles échantillonnées dans le cadre de ce travail, qui est de 7.6 %, le MDC du stock initial est de 3.5 t.ha<sup>-1</sup> soit 5 % du stock moyen sur 30 cm.

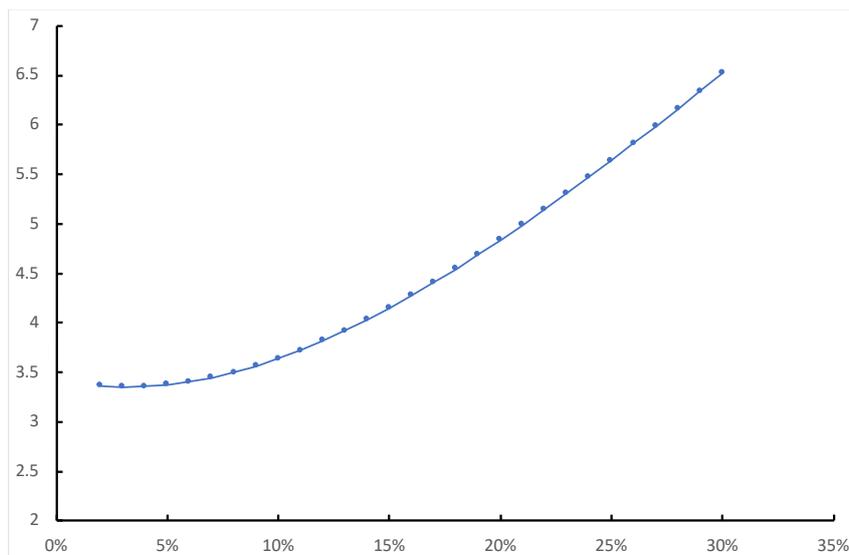


Figure 17. MDC en t/ha du stock initial de carbone sur la couche 0-30 cm selon le pourcentage volumique d'éléments grossiers dans la couche 0-30 cm.

Le MDC en années du stock initial selon le taux d'évolution annuel moyen, calculé avec l'Équation 14, est donné sur la Figure 18. Pour un stock moyen de carbone de  $67 \text{ t ha}^{-1}$  et un taux d'évolution annuel moyen de 5 ‰, le MDC du stock initial est de 10 ans.

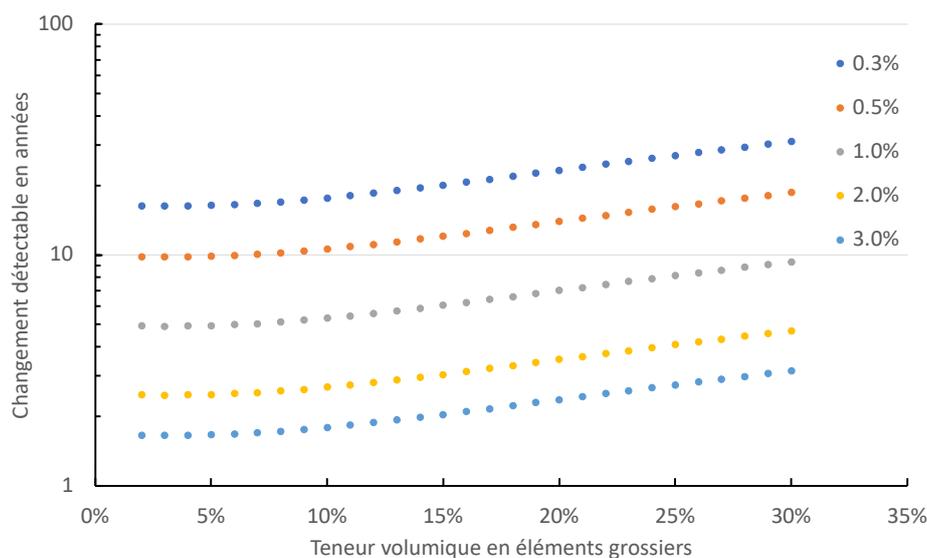


Figure 18. MDC du stock initial (0-30 cm) en années selon le pourcentage volumique d'éléments grossiers sur la parcelle et le taux d'évolution annuel moyen, pour un stock initial de  $67 \text{ t ha}^{-1}$ .

## Calcul du stock au 2<sup>ème</sup> passage

### Caractéristiques de la couche 30-35 cm

Nous avons analysé les caractéristiques des couches 0-30 cm et 30-35 cm sur 33 parcelles, après prélèvement à la gouge manuelle. Les valeurs moyennes de la teneur en carbone organique et de la

densité apparente sont respectivement inférieure et supérieure à celles de l'horizon 0-30 cm, tandis que les écart-types sont inférieurs (Tableau 5).

Le stock de carbone pour la couche 30-35 cm est en moyenne de 6.7 t ha<sup>-1</sup> (Tableau 6 et Figure 19).

Tableau 5: Comparaison des caractéristiques des couches 0-30 et 30-35 cm

Couche de sol	Variabes	Moyenne	Ecart type
0-30 cm	Teneur en carbone organique (%)	2.19	0.73
	Densité apparente (g.cm <sup>-3</sup> )	1.17	0.14
30-35 cm	Teneur en carbone organique (%)	1.07	0.48
	Densité apparente (g.cm <sup>-3</sup> )	1.31	0.12

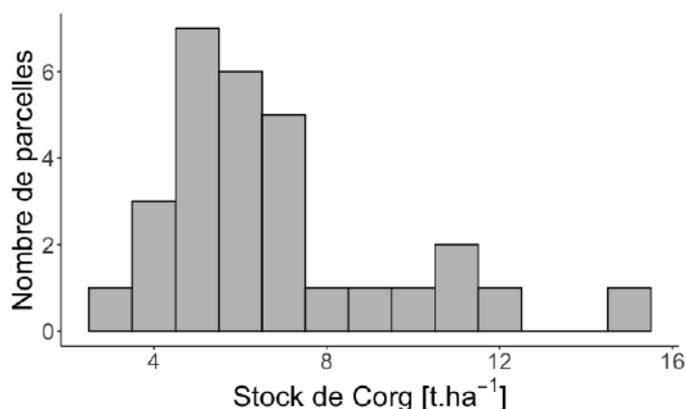


Figure 19. Distribution du stock de carbone organique dans la couche 30-35 cm. Largeur de classe : 1 t ha<sup>-1</sup>

Tableau 6 : Caractéristiques de la distribution des stocks de SOC des 35 parcelles prélevées manuellement sur la couche 30-35 cm, après avoir retiré les terres noires

	Min	Max	Moyenne	Médiane	Écart-type
<b>Stock de SOC [t ha<sup>-1</sup>]</b>	3.2	15.4	6.7	5.9	2.6

#### 1.1.2.1. Erreur associée aux différentes méthodes de calcul de l'évolution du stock

##### Erreur associée à l'estimation du stock sur la couche 30-35 cm :

A l'échelle intra-parcellaire, l'écart type moyen des valeurs de SOC dans la couche 30-35 (dérivé du travail de Bachelor de L. Schneeberger) est de 0.17 % m/m.

A l'échelle inter parcellaire, l'écart type (ci-dessus) des valeurs de SOC pour la couche 30-35 est de 0.5% m/m.

##### Erreur associée au calcul de l'évolution du stock de carbone selon la méthode ESM :

L'erreur sur l'estimation du stock pour un ha de la couche 30-35, en connaissant la teneur en SOC de cette couche, correspond à la variance du calcul de stock initial à laquelle s'ajoute celle du terme correctif, fonction de la masse de ce terme correctif et du volume de la gouge (Équation 10) :

$$VarStock_{Par} = VarStock_{0-30} + \left( \frac{3000}{V_{Gouge_n} \times N_{Piq}} \times (M_0 - M_n) * STDSOC_{corr} \right)^2$$

La variance additionnelle est faible, elle correspond à un écart type maximal de 0.57 t de carbone par ha pour un terme correctif maximal (égal à 10% de la masse du composite).

#### Erreur associée au calcul de l'évolution du stock de carbone selon la méthode ESM simplifiée :

La variance du terme correctif est cette fois plus élevée, ce qui correspond à un écart type maximal de 1.8 t de carbone par ha pour un terme correctif maximal (égal à 10% de la masse du composite). L'influence de la masse de correction sur le changement minimum détectable (0-30 cm, en t ha<sup>-1</sup>) est présentée en Figure 20. On voit que cette influence est faible, avec un impact maximal de 0.16 t ha<sup>-1</sup>. Cet impact est négligeable en termes de détectabilité des changements en années.

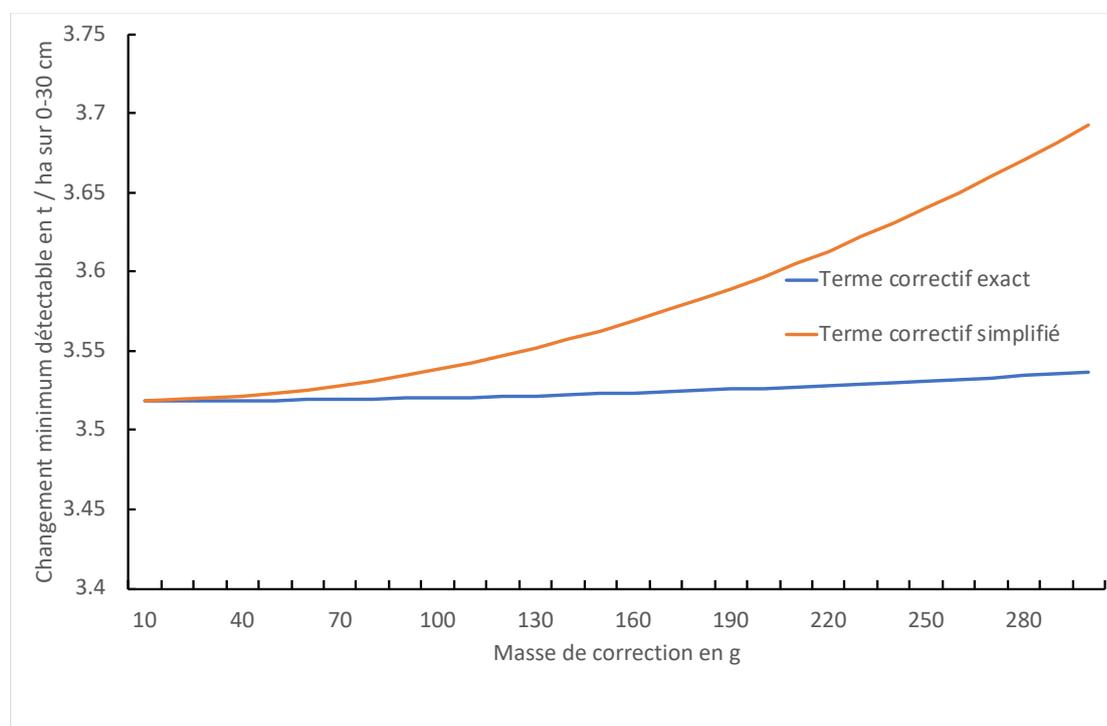


Figure 20. Minimum de changement détectable sur le stock de carbone sur 0-30 cm avec un terme correctif exact et avec la méthode ESM-simplifiée selon la masse de correction utilisée.

#### Erreur associée au calcul de l'évolution du stock de carbone calculé à profondeur constante et avec une densité apparente moyenne :

On calcule l'erreur associée au calcul du stock à profondeur constante avec l'Équation 12. La méthode simplifiée engendre une variance de 542.4 t<sup>2</sup>.ha<sup>-2</sup> et donc un écart-type de 23.3 t.ha<sup>-1</sup>, soit une erreur de plus de 8 fois l'erreur maximale attendue avec la méthode ESM-simplifiée.

#### Détection des erreurs de prélèvement et limites acceptables

Trois critères sont employés pour accepter / rejeter le résultat d'un prélèvement comme présenté en section 0.

*Détection des erreurs de prélèvement selon un critère de changement maximal d'épaisseur de la couche 0-30 cm.*

Si l'écart entre le poids de l'échantillon composite au temps  $T_0$  et l'actuel est supérieur au 10 % de la valeur initiale  $M_0$ , le prélèvement doit être refait. Première condition : pour les gouges de 70, 125 et 132  $\text{cm}^3$  la masse moyenne de terre fine corrigée dans l'échantillon composite est respectivement de 1720, 3000 et 2960 g. Une variation de 10 % de ces masses moyennes représentent par exemple 172, 300 et 296 g. Puisque l'on effectue 20 piqûres par prélèvement, 10 % de variation représente en moyenne le poids de 2 piqûres.

*Vérification basée sur la relation entre la densité apparente et la teneur en carbone organique*

La deuxième condition sera vérifiée si la densité est comprise entre les intervalles de prédiction de l'équation de régression (Figure 21), soit cette régression  $\pm 2\sigma$ , avec  $\sigma = 0.098 \text{ g.cm}^{-3}$  l'erreur résiduelle standard :

- $(1.478 + 2\sigma) - 0.144 \cdot \text{SOC} = \mathbf{1.674 - 0.144 \cdot \text{SOC}}$
- $(1.478 - 2\sigma) - 0.144 \cdot \text{SOC} = \mathbf{1.282 - 0.144 \cdot \text{SOC}}$

Ces bornes sont représentées sur la Figure 21 ci-dessous :

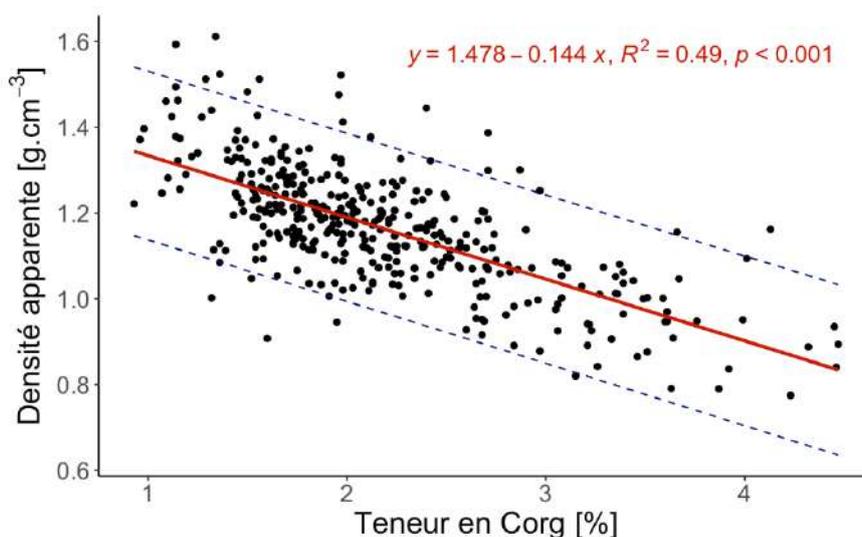


Figure 21. Densité apparente du sol en fonction de la teneur en SOC pour les 388 prélèvements manuels. La droite en trait plein rouge est la régression linéaire dont l'équation est donnée en rouge également. En tirets bleu, intervalles de prédiction à 95%  $2X\sigma$  l'erreur résiduelle standard ( $\sigma = 0.098 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

Si la densité apparente sort des intervalles de prédiction à 95% de cette relation, il sera demandé de refaire le prélèvement.

*Vérification basée sur le modèle d'estimation des taux annuels tiré de (Dupla et al., 2022)*

La troisième condition sera vérifiée si la différence entre le taux d'évolution observé ( $T_{X_{obs}}$ ) et le taux d'évolution prédit par le modèle de séquestration (Équation 16), est comprise dans l'intervalle de prédiction à 95% de l'équation de régression (donnée sur la Figure 22)  $\pm 2\sigma$ , avec  $\sigma = 5.3279\%$  l'erreur résiduelle standard.

- $(-0.508 + 2\sigma) + 0.657 * T_{X_{obs}} = \mathbf{10.148 + 0.657 * T_{X_{obs}}}$
- $(-0.508 - 2\sigma) + 0.657 * T_{X_{obs}} = \mathbf{-11.164 + 0.657 * T_{X_{obs}}}$

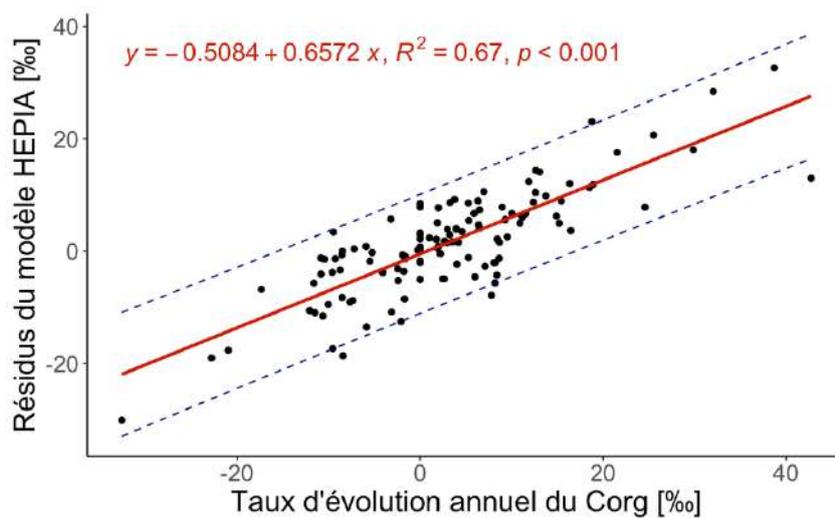


Figure 22. Résidus du modèle HEPIA du taux d'évolution annuel du SOC en fonction du

## **Annexe FM1.3 : Méthodologie pour la prise en compte des réductions de méthane par l'incorporation dans les rations pour les vaches laitières de l'additif 3-NOP (Bovaer®10)**

### **Contexte :**

#### **1. Définition et composition**

Le 3-nitrooxypropanol (3-NOP) est une substance active composée de deux ingrédients : le nitrate et l'alcool végétal. Il se présente sous forme de poudre granulée et est commercialisé sous le nom de Bovaer®10 par DSM.

#### **2. Destination et autorisation**

Le 3-NOP est un additif zootechnique destiné aux ruminants, spécifiquement pour la production laitière et la reproduction. Il est autorisé en Suisse depuis 2022 et reconnu par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) comme ayant un effet positif sur l'environnement, notamment par la réduction des émissions de méthane entérique.

#### **3. Efficacité environnementale**

L'utilisation du 3-NOP permet une réduction moyenne de 30 % des émissions de méthane entérique chez les vaches laitières, cette efficacité pouvant varier selon la composition des rations. Les valeurs de réduction sont obtenues principalement dans des systèmes d'affouragement en ration totale mélangée (RTM). Une déduction de l'effet est à appliquer lorsque les animaux sont à la pâture ou ne disposent pas d'une ration mélangée assurant une ingestion continue du 3-NOP.

#### **4. Dosage et incorporation**

La dose recommandée est de 60 mg de 3-NOP par kilogramme de matière sèche (MS), avec une teneur maximale de 100 mg/kg MS. Le 3-NOP est incorporé aux aliments sous forme de prémélange.

#### **5. Modalités de distribution**

La distribution du 3-NOP doit respecter les modalités suivantes :

- Incorporation dans la mélangeuse (ration totale ou semi-mélangée).
- Distribution manuelle à l'auge, après mélange préalable avec un aliment minéral, du sel bétail ou des concentrés. Le prémélange doit être réparti de manière régulière pour assurer une ingestion continue.
- Il est interdit d'ajouter le 3-NOP aux concentrés distribués via le DAC, afin de garantir une dose homogène pour chaque animal.

#### **6. Stabilité et persistance**

Le 3-NOP présente une stabilité de 6 mois lorsqu'il est mélangé à un aliment minéral, et de 3 mois lorsqu'il est mélangé à un aliment protéique. Son effet de réduction du méthane entérique persiste pendant environ 3 heures après ingestion. Une nouvelle ingestion permet une reprise immédiate de

l'effet. Les animaux doivent donc avoir un accès permanent au 3-NOP, sauf en cas de sortie ne dépassant pas 3 heures.

## 7. Facteurs influençant l'efficacité

La réduction des émissions de méthane varie selon les teneurs en fibres (NDF), en amidon et en matière grasse de la ration. Cette variation peut être calculée à l'aide des formules publiées dans la méta-analyse de Kebreab et al. (Journal of Dairy Science, 106, 2023; <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>).

## 8. Usage

Le 3-NOP n'est pas autorisé en agriculture biologique. Son utilisation est également soumise à la compatibilité avec les cahiers des charges d'autres labels, tels que les AOP fromagères.

À ce jour, l'additif 3-NOP ne peut pas être utilisé selon la même formule que celle appliquée aux vaches laitières pour les vaches allaitantes. Le fabricant DSM développe actuellement des formulations spécifiques adaptées aux vaches allaitantes ainsi qu'aux bovins d'engraissement (taureaux, génisses, bœufs).

## Calcul de de l'impact du 3-NOP sur les indicateurs carbone

La méthodologie complète peut être mise à disposition par AgroImpact sur demande.

### Vaches laitières

Une étude menée par van Gastelen et al. (2022) sur des vaches en lactation a confirmé que la **dose** de 3-NOP et la **composition du régime alimentaire** sont des facteurs importants à prendre en compte pour quantifier les effets du 3-NOP sur les émissions de méthane entérique du bétail. Dans leur étude, les animaux ont été nourris avec 3 régimes mixtes distincts à 2 taux de dose de 3-NOP différents et les auteurs ont constaté des différences marquées dans le niveau atteint d'atténuation du CH<sub>4</sub>.

### **Variation des émissions de CH<sub>4</sub> : formules**

D'après une communication de DSM (2023), on constate en moyenne une réduction de 30 % des émissions de méthane entérique (émissions de méthane par jour, par kg de MS ingérée et par kg de lait).

Dans une méta-analyse regroupant 13 articles (14 expériences), Kebreab et al. (2023) ont défini 3 formules pour calculer les réductions de méthane entérique chez les vaches laitières.

1. **Variation (%) de la production journalière de méthane** (s'applique sur les émissions absolues de méthane entérique) =  $-32,4 - 0,282 * (3\text{-NOP} - 70,5) + 0,915 *(NDF - 32,9) + 3,080 *(MG - 4,2)$
2. **Variation (%) en rendement en méthane** (s'applique sur les émissions de méthane entérique en kg MS ingérée) =  $-30,8 - 0,226 X (3\text{-NOP} - 70,5) + 0,906 x (NDF - 32,9) + 3,871 X (MG - 4,2) - 0,337 X (\text{amidon} - 21,1)$
3. **Variation (%) en intensité en méthane** (s'applique sur les émissions de méthane entérique par kg de viande, de lait produit) =  $-33 - 0,275 X (3\text{-NOP} - 70,5) + 0,723 X (NDF - 32,9)$

où 3-NOP = dose de 3-NOP (mg/kg MS) ; NDF, MG et amidon en % de la MS de la ration.

Ces 3 formules mettent en évidence qu'une réduction des teneurs en parois (NDF) et/ou en matière grasse (MG) de la ration augmenterait l'efficacité de l'additif.

### **Autres catégories animales (vaches allaitantes, bovins à l'engraissement)**

Il n'existe, à ce jour, aucune formule pour calculer la réduction de méthane attendue chez les vaches allaitantes et chez les bovins à l'engraissement.

### **Cas 1 : les vaches laitières ont une Ration Totale Mélangée (RTM) toute l'année**

Étapes :

#### **1. Calcul de la Production annuelle de CH4 entérique (en kg eq CO2 / UGB)**

A partir des UGB de vaches laitières (UGB VL), calcul de la **Production annuelle de CH4 entérique par les VL** uniquement (en kg eq CO2/UGB) = **Production annuelle de CH4 entérique** (en kg eq CO2 / UGB) x Part des vaches dans les UGB.

On multiplie par la (1 - **Variation (%) de la production journalière de méthane**). On obtient la **Production annuelle de CH4 entérique par les VL avec Bovaer** (en kg eq CO2/UGB).

Calcul de la **Production annuelle de CH4 entérique hors VL** (en kg eq CO2/UGB) = **Production annuelle de CH4 entérique** (en kg eq CO2 / UGB) - **Production annuelle de CH4 entérique par les VL** (en kg eq CO2 / UGB)

Calcul de la **Production annuelle de CH4 entérique avec Bovaer ensemble troupeau** (kg eq CO2/UGB) = **Production annuelle de CH4 entérique hors VL** (kg eq CO2/UGB) + **Production annuelle de CH4 entérique par les VL avec Bovaer** (kg eq CO2/UGB)

Émissions annuelles de GES de l'atelier bovin lait en kg eq CO2 avec Bovaer (kg eq CO2) = [**Production annuelle de CH4 entérique avec Bovaer ensemble troupeau** (kg eq CO2/UGB) + Production annuelle de CH4 hors fermentation entérique (kg eq CO2/UGB) + Production annuelle de CO2 (kg eq CO2/UGB) + Production annuelle de N2O (kg eq CO2/UGB)] X Nombre d'UGB

#### **2. Émissions par litre de lait corrigé de l'atelier bovin lait (kg eq CO2/litre de lait corrigé)**

Étapes :

Calcul de l'**intensité en méthane entérique du produit lait** (en kg eq CO2 de la fermentation entérique/L de lait corrigé): cf. ci-dessus.

Calcul de l'intensité en méthane entérique du produit lait des VL (en kg eq CO2 de la fermentation entérique des VL/L de lait corrigé) : **intensité en méthane entérique du produit lait** x Part des vaches dans les UGB.

On multiplie par (1- **Variation (%) en intensité en méthane**). On obtient l'**intensité en méthane entérique des VL du produit lait avec Bovaer** (en kg eq CO<sub>2</sub> de la fermentation entérique des VL/L de lait corrigé).

Émissions par litre de lait corrigé de l'atelier bovin lait avec Bovaer (kg eq CO<sub>2</sub>/litre de lait corrigé) = Emissions par litre de lait corrigé de l'atelier bovin lait (kg eq CO<sub>2</sub>/litre de lait corrigé) + **intensité en méthane entérique des VL du produit lait avec Bovaer** (kg eq CO<sub>2</sub> de la fermentation entérique des VL/litre de lait corrigé) - intensité en méthane entérique des VL du produit lait (kg eq CO<sub>2</sub> de la fermentation entérique des VL/litre de lait corrigé)

### **3. Émissions par kg de produit viande vendu de l'atelier bovin lait (kg eq CO<sub>2</sub>/kg PV vendu).**

#### Étapes :

Calcul de l'**intensité en méthane entérique du produit viande** (kg eq CO<sub>2</sub> du méthane entérique/kg PV vendu): cf. ci-dessus.

Calcul de l'intensité en méthane entérique des VL du produit viande : **intensité en méthane entérique du produit viande** x Part des vaches dans les UGB (kg eq CO<sub>2</sub> de la fermentation entérique des VL/kg viande vendu).

Calcul de la différence entre les émissions par kg de produit vide vendu de l'atelier bovin lait (kg eq CO<sub>2</sub>/kg PV vendu) - **intensité en méthane entérique du produit viande** (kg eq CO<sub>2</sub> du méthane entérique/kg viande vendu) = émissions du produit viande non liées au méthane entérique.

On multiplie l'intensité en méthane entérique des VL du produit viande par la (1 - **Variation (%) en intensité en méthane**). On obtient l'**intensité en méthane entérique des VL du produit viande avec Bovaer** (en kg eq CO<sub>2</sub> de méthane entérique/kg viande vendu).

Émissions par kg de produit viande vendu de l'atelier bovin lait avec Bovaer (kg eq CO<sub>2</sub>/kg PV vendu) = **Intensité en méthane entérique des VL du produit viande avec Bovaer** (en kg eq CO<sub>2</sub> de méthane entérique/kg viande vendu) + (**intensité en méthane entérique du produit viande** (kg eq CO<sub>2</sub> de la fermentation entérique/kg viande vendu) - intensité en méthane entérique des VL du produit viande (kg eq CO<sub>2</sub> de la fermentation entérique des VL/kg viande vendu) + émissions du produit viande non liées au méthane entérique (kg eq CO<sub>2</sub> hors fermentation entérique/kg viande vendu)

#### Cas 2 : les vaches ont une RTM partielle ou ration semi-mélangée

Dans le cas d'une RTM partielle, il faut impliquer un prorata lors du calcul impliquant les formules (1) et (3) en fonction du temps passé au bâtiment dans l'année. On considère que les vaches n'ingèrent pas l'additif lorsqu'elles sont au pâturage. En moyenne, trois heures après la dernière ingestion, l'effet s'estompe, car les archées méthanogènes réactivent l'enzyme MCR (Zhou et al., 2014). En conséquence, en raison de la dégradation rapide du 3-NOP, la production de méthane augmente à nouveau après une courte période et le niveau d'émission de la situation initiale est à nouveau atteint après trois heures en moyenne (Kebreab et al., 2023). Ainsi, la réduction des émissions est prise en compte pour les heures au bâtiment, auxquelles on ajoute 3h par jour.

## **Annexe FM1.4: Méthodologie pour l'utilisation d'un facteur d'émission spécifique pour l'engrais bas carbone Sulfammo N-process 26**

La méthodologie complète peut être mise à disposition par AgroImpact sur demande. Toutefois, les documents confidentiels de la firme Timac Agro ne seront pas transmis.

L'engrais bas carbone Sulfammo N-process 26 est élaboré par Timac Agro à l'aide de ressources énergétiques renouvelables. Son impact sur le climat est donc moindre qu'un engrais produit avec des sources d'énergie non renouvelable.

Selon la procédure définie par la commission technique de ClimaCert, des empreintes carbone vérifiées ont été présentées pour l'engrais « Sulfammo 26 bas-carbone » de la société Timac elle-même, ainsi que pour ses principales matières premières, l'urée et le sulfate d'ammonium de la société qui leur fournissent ces éléments, et des bons de livraison ont également été fournis pour les matières premières.

L'engrais fabriqué à Pichelsdorf (AT) contient de l'azote sous forme d'urée et sous forme d'ammonium. Les matières premières sont l'urée et le sulfate d'ammonium produits par une entreprise tierce vérifiée. Ces derniers sont produits à l'aide d'électricité issue de sources renouvelables, l'urée à partir de matières biogènes. Des empreintes carbone de produit vérifiées ont été présentées pour les deux matières premières.

Sur la base d'une analyse complète réalisée, le facteur d'émission du Sulfammo N-process 26 est de 1,69 kg CO<sub>2</sub>e/kg N. En comparaison aux engrais du même fabricant, l'utilisation du Sulfammo N-process 26 permet de réduire de 1,91 kg CO<sub>2</sub>e/kg N par rapport à la formule standard et 2,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg N par rapport à de l'ammonitrate.

Afin de garantir la traçabilité de l'engrais bas carbone utilisé dans le dispositif ClimaCert, TIMAC peut fournir annuellement les attestations (sortie usine) pour tracer les volumes produits de l'engrais fini Sulfammo N-process 26 issu du process avec des matières premières bas carbone (urée et sulfate d'ammonium). Une attestation de sourcing sera demandée aux fournisseurs des matières premières produites avec de l'énergie verte pour chaque achat. Ainsi, il sera possible pour AgroImpact de calculer la quantité max de S26 bas carbone produite, grâce à la formule industrielle qui vous a été partagée. Ensuite TIMAC pourra fournir les volumes de revente aux utilisateurs finaux, afin que AgroImpact puisse vérifier que TIMAC n'a pas vendu plus de S26 bas carbone que produit

## Fiche méthodologique 2 : Calcul de l'indicateur biodiversité IQMB



Version n°1 du 11.12.2023

Adopté par l'assemblée générale d'AgroImpact le 11 décembre 2023 à Lausanne

Entrée en vigueur le 11 décembre 2023 – Version 1

Rédaction : Pablo Bovy

## Table des matières

Fiche méthodologique pour le calcul de l'indicateur biodiversité IQMB .....	4
1. Généralités .....	4
1.1 Définitions .....	4
1.2 Champs d'application .....	4
1.3 Droit d'usage du logo ClimaCert.....	4
2. Démarche de diagnostic .....	4
2.1 Demande de diagnostic IQMB.....	4
2.2 Acceptation du devis .....	4
2.3 Transmission des données.....	5
2.4 Diagnostic .....	5
2.5 Attestation .....	6
2.6 Facturation et contrôles .....	6
2.7 Deuxième diagnostic (optionnel) .....	6
3. Calcul de l'indicateur biodiversité .....	6
3.1 Quantification du niveau de biodiversité .....	6
4. Contrôles .....	7
4.1. Contrôles des données pour le calcul de l'indicateur IQMB .....	7
4.2 Donnée contrôlées en routine.....	7
4.3 Contrôle des personnes et organismes habilités au calcul de l'indicateur IQMB .....	8
5. Attestation .....	8

Version	Date de publication	Date effectives	Modifications
V1	11.12.2023	11.12.2023 -	Première version adoptée
			-

## Fiche méthodologique pour le calcul de l'indicateur biodiversité IQMB

### 1. Généralités

#### 1.1 Définitions

Par *indicateur biodiversité* on entend la valeur IQMB [%] établi pour l'ensemble de l'exploitation. L'indicateur est calculé pour l'année *n*, à partir des éléments fournis par le demandeur.

Par *demandeur* on entend toute exploitation agricole demandant l'établissement de l'indicateur biodiversité ClimaCert.

#### 1.2 Champs d'application

Le calcul de l'indicateur biodiversité s'applique à l'échelle d'une exploitation agricole.

L'indicateur biodiversité est certifié pour l'année *n*.

#### 1.3 Droit d'usage du logo ClimaCert

L'exploitation ayant mesuré l'IQMB est autorisée à faire usage du logo seulement si cette dernière possède une attestation pour le calcul / mesure d'indicateurs carbone. L'exploitation agricole ne peut donc pas faire usage de la marque ou du logo ClimaCert si elle a mesuré que l'IQMB.

### 2. Démarche de diagnostic

Pour obtenir une attestation ClimaCert de l'indicateur biodiversité, toute exploitation agricole doit avoir réalisé les 6 premières étapes de la démarche exposée à la figure 1 ci-après. Seules les trois premières étapes requièrent du travail de la part des exploitations agricoles (transmission des données agricoles).

#### 2.1 Demande de diagnostic IQMB

Afin de demander un devis pour un diagnostic, l'exploitation doit remplir le diagnostic en ligne disponible au lien suivant : <https://forms.office.com/e/tCysSmy9Y4>. La demande de diagnostic permet d'établir un devis qui estime les coûts liés aux prestations demandées. Tant que le devis n'est pas signé et retourné à la gérance, celui-ci reste informatif. Les montants des devis et conditions de ceux-ci pouvant changer avec le temps, une actualisation de ces derniers est en tout temps possible. Les exploitations concernées par l'actualisation des devis sont informées par la gérance.

#### 2.2 Acceptation du devis

Le devis est accepté une fois signé et retourné à la gérance par voie postale ou électronique et ceci, dans le délai imparti figurant sur le devis. Par la signature du devis, l'exploitant.e accepte les conditions figurant sur le devis et accepte les directives édictées par le règlement technique et organisationnel ClimaCert. L'exploitation agricole s'engage donc dans une démarche de transition et accepte notamment d'être contrôlée dans le cadre du dispositif ClimaCert. Si le délai du devis est dépassé mais

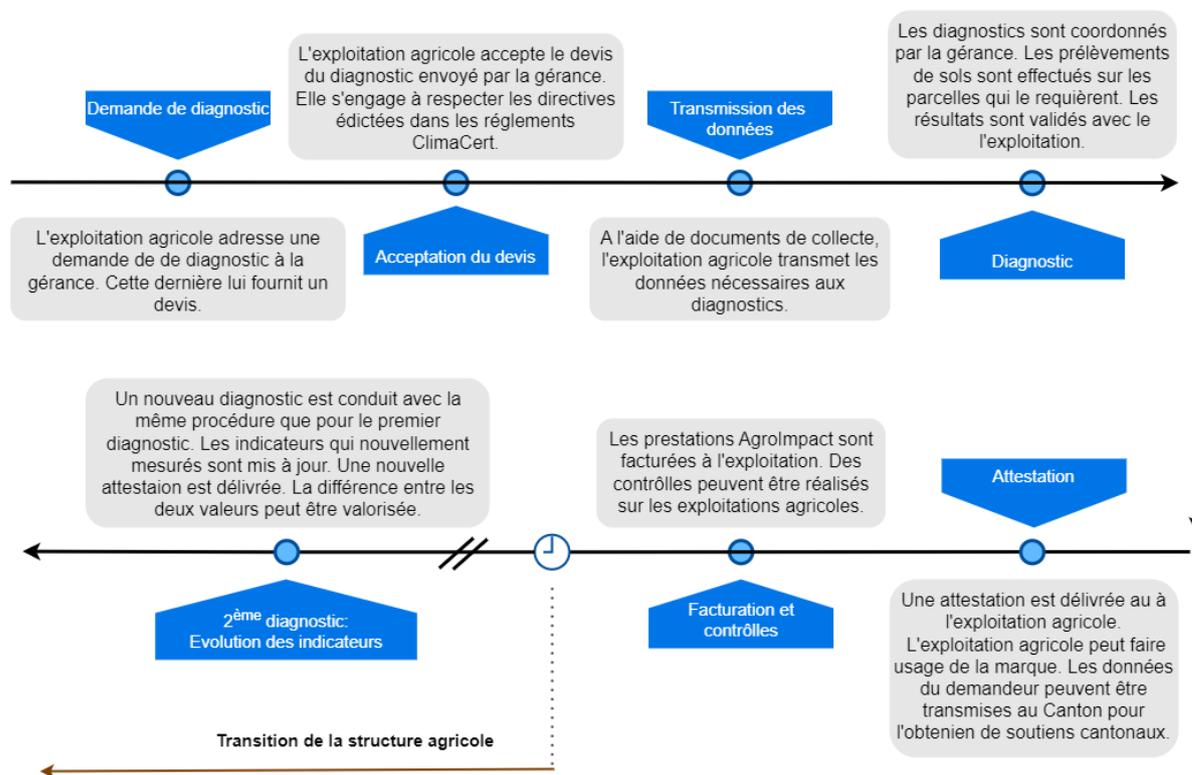


Figure 1 Démarche ClimaCert pour le calcul / mesure de l'indicateur IQMB

que les conditions et les montants correspondent aux conditions du jour de la réception du devis, la gérance se réserve le droit d'accepter le devis même si ce dernier est hors délai. Un email confirmant la bonne réception du devis signé est transmis à l'exploitant.e dès sa réception.

### 2.3 Transmission des données

Une fois le devis accepté par l'exploitation agricole, les données nécessaires au calcul de l'indicateur sont récoltées par des formulaires spécifiques émis par la gérance et par des documents déjà existants. L'exploitation agricole est responsable de la transmission de l'ensemble des données nécessaires au calcul et de la véracité des données transmises.

### 2.4 Diagnostic

Sur la base des données collectées auprès des exploitants.es, les diagnostics sont réalisés par la gérance ou des tiers habilités et mandatés par cette dernière. Les diagnostics sont réalisés avec des outils informatiques reconnus. Aucun travail de l'exploitant.e n'est requis pour la réalisation du diagnostic. Si un besoin de données supplémentaires venait à émerger lors de la réalisation d'un diagnostic, celles-ci seront récoltées directement par la gérance ou le tiers mandaté qui réalise le diagnostic. Les types de diagnostics et les indicateurs calculés sont détaillés dans les chapitres 3 et 5.

Au terme du ou des diagnostics, un rapport de diagnostic rassemblant en détail 1) le résultat de l'indicateur IQMB 2) des comparaisons à des moyennes de références si disponibles et 3) des explications méthodologiques est transmis à l'exploitation.

## 2.5 Attestation

Une attestation sur laquelle figure la valeur l'indicateur IQMB est établie et transmise à l'exploitation. La liste complète des éléments pouvant figurer sur l'attestation est détaillé dans le chapitre 5. L'exploitation qui reçoit une attestation ClimaCert est inscrite au registre public ClimaCert. Les demandes de soutien cantonaux pour l'exploitation peuvent être transmises par la gérance auprès de l'autorité cantonale compétente.

## 2.6 Facturation et contrôles

Sur la base du devis établi en début de la démarche, les prestations réalisées par la gérance ou des tiers mandatés sont facturées à l'exploitation certifiée par la gérance. Si la procédure est interrompue, les prestations réalisées sont facturées en prorata de l'avancement du dossier. Les factures sont payables sous 30 jours sur le compte figurant sur la facture adressée à l'exploitation concernée.

Des contrôles externes pourront avoir lieu sur les exploitations ayant reçu une attestation et cela dans les 4 années suivant l'émission de l'attestation. Ainsi, les exploitations s'engagent à garder tous les éléments notamment les pièces comptables, calculs, décomptes et autres documents relatifs aux données transmises durant les 5 années consécutives à la signature du devis.

## 2.7 Deuxième diagnostic (optionnel)

Afin de faire l'état de la transition climatique d'une exploitation, un second diagnostic est réalisé. Ainsi, la nouvelle valeur de l'indicateur IQMB peut être calculé et une nouvelle attestation est délivrée.

# 3. Calcul de l'indicateur biodiversité

Dans le cadre du règlement *ClimaCert*, il existe un indicateur biodiversité spécifique : l'indicateur de qualité des mesures de biodiversité (IQMB).

## 3.1 Quantification du niveau de biodiversité

L'indicateur de biodiversité se base sur le rapport « Opérationnalisation des objectifs environnementaux pour l'agriculture (OPAL) » réalisé par l'Agroscope sous mandat de l'Office Fédéral de l'Agriculture et de l'Environnement (Walter et al., 2013). Ce rapport définit un nombre de critères qui permettent de définir si les surfaces de promotion de la biodiversité sont qualitatives en termes de biodiversité et si ces dernières méritent d'être encouragées. Si ces surfaces remplissent ces critères, elles sont considérées comme des surfaces OEA (Objectif Environnementaux Agricoles). En outre, ce rapport détermine des objectifs de surface OAE par zone agricole.

Le rapport faisant état de problématiques pour la comptabilisation des critères 3 et 4 (Espèces cibles et espèces caractéristiques), ceux-ci ne sont pas considérés pour calculer l'indicateur IQMB. L'indicateur IQMB se base donc sur 6 des 8 critères OEA (appelé OEA<sub>ClimaCert</sub> ci-après) et les objectifs par zone agricole définis par le même rapport. L'IQMB correspond à la proportion d'atteinte des objectifs

OEA : si l'IQMB dépasse les 100 %, l'exploitation se trouve au-delà des objectifs OEA (très bon niveau de biodiversité) et si l'exploitation a un IQMB inférieur à 100 %, cette dernière ne remplit pas les objectifs OEA.

Les surfaces de qualités OEA<sub>ClimaCert</sub> remplissent donc les critères 1, 2, 5, 6, 7 et 8 des critères OEA. Le détail de ces critères est exposé dans l'annexe FM 2.1. Les objectifs de surface OEA par zone agricole sont également exposés dans l'annexe FM 2.1. L'objectif de surface OEA est pondéré en fonction de la répartition des surfaces de l'exploitation agricole sur les différentes zones agricoles.

Sur la base des surfaces OEA<sub>ClimaCert</sub> et des objectifs de surface OEA par zone agricole, l'indicateur IQMB est calculé comme suit :

$$IQMB [\%] = \frac{\frac{\text{Surfaces OEA}_{\text{ClimaCert}} [\text{ha}]}{\text{Surface agricole utile (SAU)} [\text{ha}]}}{\sum_i \left( \frac{\text{Surfaces en zone } i}{\text{SAU}} \times \text{Objectif de surface OEA de la zone agricole } i \right)}$$

*Exemple :* Une exploitation agricole travaille 100 ha de SAU dont 60 ha en zone de plaine et 40 ha en zone de colline. Cette exploitation exploite notamment 4 ha de prairie extensive Q1, 1.5 ha de prairie extensive Q2, 100 arbres HT et 1 ha de jachère. Le calcul se présente ainsi :

surface OEA<sub>ClimaCert</sub> = 1.5 ha prairie Q2 + 1 ha de jachère = 2.5 ha  
 Objectif de la zone = ((60/100)\*10 %)+((40/100)\*12 %) = 10.8 %  
 IQMB = (2.5/100)/0.108 = 0.231 = 23.1%

Un fichier excel a été élaboré par l'Association AgroImpact, Avenue des Jordils 3, CP 1080, 1001 Lausanne, pour calculer l'indicateur. Cette feuille excel fait donc office d'outil de calcul pour cet indicateur.

Les données permettant le calcul de l'indicateur sont des données administratives collectées directement auprès de l'exploitant.e agricole à l'aide de formulaires de collecte et de liste de documents à fournir. Les documents et catégories de données à fournir sont exposés dans l'annexe FM2.2.

## 4. Contrôles

### 4.1. Contrôles des données pour le calcul de l'indicateur IQMB

Les données utilisées pour le calcul de l'IQMB sont contrôlées en routine de façon exhaustive par les organes de contrôles cantonaux. Ainsi, aucun contrôle supplémentaire n'est nécessaire pour le calcul et l'établissement d'une attestation pour cet indicateur.

### 4.2 Donnée contrôlées en routine

Les données contrôlées en routine sont des données de recensement cantonal et fédéral, le parcellaire, l'assolement et les surfaces.

#### 4.3 Contrôle des personnes et organismes habilités au calcul de l'indicateur IQMB

Les personnes habilitées au calcul de l'IQMB ont suivi une formation dispensée par la gérance ou un tiers habilité. Afin de s'assurer de l'homogénéité des calculs réalisés par les différentes personnes habilitées, 1% des diagnostics, sélectionnés de manière aléatoire, sont contrôlés par la gérance (réalisation du diagnostic par la gérance sur la base des mêmes données).

Dans le cas d'un changement majeur de la méthodologie de calcul des émissions ou de l'outil, toutes les personnes habilitées au calcul devront suivre une formation continue afin de se tenir à jour.

### 5. Attestation

Une exploitation ayant réalisé les six premières étapes de la procédure exposée dans la figure 1 (chapitre 2) se voit délivrer une attestation ClimaCert par la gérance pour l'année concernée par le calcul de l'indicateur IQMB. Les attestations ont une durée de validité de 5 ans. Les attestations émises par la gérance contiennent les éléments suivants :

#### Informations générales

- Numéro d'attestation
- Date de délivrance de l'attestation
- Année de calcul des indicateurs
- Coordonnées de l'exploitation agricole
- Adresse de l'émetteur de l'attestation

#### Indicateur général

- Indicateur de qualité des mesures de biodiversité (IQMB) [%].

## Annexe FM 2.1 : Critères des surfaces OEA<sub>ClimaCert</sub> et objectifs OEA par zone agricole

L'indicateur IQMB se base sur les critères OEA 1, 2, 5, 6, 7, 8 du rapport OPAL (Walter et al., 2013) qui définit les critères OEA comme suit :

1. **Objets d'importance nationale** : toute surface agricole faisant partie d'un objet d'importance nationale au sens des inventaires fédéraux est réputée de qualité OAE. Lors de l'établissement de bilans de surface, il faut tenir compte du fait que les périmètres de tels objets peuvent se recouper. En font partie :
  - Les objets selon l'ordonnance du 13 janvier 2010 sur la protection des prairies et pâturages secs d'importance nationale (Ordonnance sur les prairies sèches, OPPS, RS 451.37). On peut partir de l'idée que la plupart des PPS sont exploités par l'agriculture.
  - Les objets selon l'ordonnance du 7 septembre 1994 sur la protection des bas-marais d'importance nationale (Ordonnance sur les bas-marais, RS 451.33). Aujourd'hui, les bas-marais sont entretenus avant tout par des équipes techniques, surtout sur le Plateau. Cependant, on peut admettre qu'une très grande partie de ces surfaces est utilisée par l'agriculture.
  - Les objets selon l'ordonnance du 21 janvier 1991 sur la protection des hauts-marais et des marais de transition d'importance nationale (Ordonnance sur les hauts-marais, RS 451.32).
  - Plusieurs haut-marais sont aujourd'hui pâturés, et même fauchés. Pourtant, dans la plupart des cas, l'exploitation agricole des haut-marais contrevient aux objectifs de la protection de la nature. Seule une très petite part de ces surfaces peut être considérée comme apte à une utilisation agricole.
  - Les objets selon l'ordonnance du 28 octobre 1992 sur la protection des zones alluviales d'importance nationale (Ordonnance sur les zones alluviales, RS 451.31). Seule une petite part des zones alluviales situées à basse altitude est classée surface agricole utile. Cependant, la plupart des zones alluviales alpines sont accessibles aux bêtes à l'estivage.
  - Les objets selon l'ordonnance du 15 juin 2001 sur la protection des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale (Ordonnance sur les batraciens, OBat, RS 451.34).
2. **Les prairies et pâturages secs (PPS) sans importance nationale** : toute surface PPS est réputée de qualité OAE, même si elle n'est pas classée d'importance nationale.
5. **L'ordonnance sur la qualité écologique (OQE)** : toutes les surfaces de qualité biologique au sens de l'OQE (sans mise en réseau) sont réputées de qualité OEA. En font partie les surfaces d'estivage (alpages), dès que les critères de qualité correspondants seront inscrits dans la législation sur l'agriculture. En Suisse, nous connaissons la superficie des surfaces de compensation écologique aux niveaux des communes, des cantons et des zones aux conditions agricoles difficiles. Des données numériques sont disponibles en partie au niveau des cantons, mais pas encore au niveau national.
6. **Jachères et ourlets d'après l'ordonnance sur les paiements directs (OPD)** : ces surfaces sont généralement de grande qualité en termes de faune et sont donc réputées de qualité OEA.
7. **Zones tampons et bandes riveraines** : si ces zones ne remplissent souvent pas les critères de qualité en matière de biodiversité, elles sont néanmoins reconnues comme surfaces de qualité OEA en raison de leur importance fonctionnelle (protection contre les éléments nutritifs et les polluants). Nous disposons de cartes numériques pour des zones tampons ceignant des marais

ainsi que d'une estimation pour les zones tampons bordant des cours d'eau (bandes riveraines) pour 21 communes agricoles.

8. Marais : une surface est réputée surface potentielle OEA si elle figure dans la carte nationale en tant que zone marécageuse (TLM 3d).

Sur la base des points susmentionnés, les surfaces étant reconnues pour le calcul de l'indicateur IQMB (surfaces OEA<sub>ClimaCert</sub>) sont les suivantes :

- Toute surface d'importance nationale sous convention biodiversité avec un canton
- Toute surface de prairies et pâturages sec (PPS) sans importance nationale sous convention biodiversité avec un canton.
- Toute SPB de qualité 2 (hors arbres hautes tiges).
- Toutes les surfaces de jachère tournante, jachère florale
- Les bandes fleuries annuelles<sup>1</sup> et pluriannuelles
- Les surfaces à litières
- Les prairies riveraines d'un cours d'eau et zones tampons sous convention
- Les surfaces de promotion de la biodiversité spécifique à la région sous convention cantonale.

L'indicateur IQMB repose également sur les objectifs de surface OEA par zone agricole. Ces objectifs sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

**Tableau FM 2.1 Objectifs OEA par zone agricole**

Zone agricole	Objectif OEA [% surface agricole]
Zone de plaine	10
Zone de colline	12
Zone de montagne I	13
Zone de montagne II	17
Zone de montagne III	30
Zone de montagne IV	45
Zone d'estivage	50

## Référence

Walter, T., Eggenberg, S., Gonseth, Y., Fivaz, F., Hedinger, C., Hofer, G., Klieber-Kühne, A., Richner, N., Schneider, K., & Szerencsits, E. (2013). *Opérationnalisation des objectifs environnementaux pour l'agriculture. Domaine espèces cibles et caractéristiques, milieux naturels (OPAL)*. ART-Schriftenreihe, 18, 1-134.

<sup>1</sup> Il n'est actuellement pas possible de différencier les bandes fleuries annuelles des bandes fleuries pluriannuelles dans les recensements agricoles. Ainsi, ces surfaces étant petites et n'impactant que peu le calcul de l'indicateur IQMB, les bandes fleuries annuelles sont comptabilisées.

## Annexe FM2.2 : Données à fournir par les exploitations

Tout type d'exploitation agricole :

Documents à fournir	Informations générales
Formulaire de recensement complet	Année diagnostiquée
Conventions cantonales pour surface de biodiversité	Si présent