

---

## Qualité des sols et séquestration de carbone organique

### Synthèse des études et recommandations pour le Plan climat vaudois

---

Deux études successives ont été menées par le groupe sols et substrats de la haute école d'ingénierie, d'architecture et du paysage (HEPIA), sur mandat de l'Etat de Vaud. La division géologie, sols et déchets de la Direction générale de l'environnement (DGE-GEODE) a piloté et financé la première étude. La Direction de l'environnement industriel, urbain et rural (DGE -DIREV) et la Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires (DGAV) se sont jointes au projet pour financer la seconde étude. Le premier rapport du 13 février 2020<sup>1</sup> s'est attaché à identifier le déficit de matière organique (MO) et le potentiel de séquestration de carbone organique dans les sols (COS) vaudois<sup>2</sup>. Le second rapport du 11 février 2021<sup>3</sup> a porté sur les taux d'évolution de la MO et leurs liens avec les pratiques agricoles.

**Ces deux études présentent les fondements scientifiques et techniques pour l'élaboration de la mesure stratégique n°9 « séquestrer le carbone organique dans les sols » du Plan climat vaudois 1<sup>ère</sup> génération, du mois de juin 2020.**

**Elles ne traitent que des surfaces de sols cultivées en grandes cultures** : terres dites « assolées » par des rotations de culture type blé, maïs, betterave, etc. Ces terres présentent, *a priori*, les plus grands potentiels de séquestration du carbone avec des méthodes suffisamment éprouvées. Elles représentent une surface d'environ 50'000 ha sur le canton de Vaud.

Les cultures spéciales, arboriculture, légumes, petits fruits, horticulture, vignes, etc., ont aussi un potentiel de séquestration non négligeable mais pour lesquelles la mise en pratique des mesures requière un retour d'expérience. Par ailleurs, les surfaces des cultures spéciales sont dix fois moins importantes que les surfaces cultivées en grande cultures. Les mesures localisées comme les haies, bosquets, etc. n'ont pas été prises en compte dans cette étude.

A la différence de nombreuses études scientifiques réalisées sur des essais en conditions contrôlées<sup>4</sup>, les deux études HEPIA ont la **particularité d'étudier directement la séquestration du carbone des sols agricoles vaudois aux champs, sur plus de 2'000 parcelles**. Elles sont basées sur les **résultats de plus de 32'000 analyses de sols** effectuées au laboratoire Sol-conseil (Gland), sur la base d'échantillons prélevés par les agriculteurs dans le cadre des prestations écologiques requises (PER), après contrôle de la qualité des prélèvements et analyses<sup>5</sup>, **ce qui en fait un réseau d'information d'une précision et d'une densité remarquable et unique** (également à l'échelle internationale).

---

<sup>1</sup> Déficit de matière organique (MO) et potentiel de séquestration de carbone organique dans les sols vaudois – rapport d'étude. Pascal Boivin, Professeur, Karine Gondret, adjointe scientifique, HEPIA – Groupe sols et substrat, version du 13 février 2020.

<sup>2</sup> La matière organique (MO) des sols est composée à 58% de carbone. L'augmentation de MO se fait à partir de CO<sub>2</sub> atmosphérique accumulé via la photosynthèse puis la décomposition des résidus (<https://www.4p1000.org/fr>).

<sup>3</sup> Etude du déficit de carbone organique des sols vaudois, taux d'évolution et relation avec les pratiques – Rapport d'étude final. Pascal Boivin, Professeur, Karine Gondret, adjointe scientifique, Xavier Dupla et Téo Lemaître, assistants de recherche. HEPIA – Groupe sols et substrat, version du 11 février 2021.

<sup>4</sup> En référence aux recherches effectuées sur des parcelles d'essais avec des techniques spécifiques appliquées scrupuleusement « toutes choses égales par ailleurs » et sur des surfaces réduites, avec le même type de sol et des équipements agricoles définis par exemple.

<sup>5</sup> Réalisé dans une étude antérieure publiée dans *Frontiers in Environmental Sciences* - 2020

Un échantillonnage de 60 exploitations très diverses et représentatives du canton a été sélectionné pour l'étude de leurs pratiques réelles et de leur impact en termes de séquestration. **Au contraire d'un essai de recherche en station, cette méthode permet de tenir compte de toutes les spécificités et réalités de ces exploitations**, c'est-à-dire leurs différentes productions, parcs de machines, contextes économiques, pédologiques et climatiques. **Il s'agit donc d'une approche délibérément pragmatique, axée sur la réalité du terrain et orientée sur les résultats concrets des pratiques agricoles.**

## 1. QUELQUES DÉFINITIONS AU PRÉALABLE

Le **carbone organique du sol (COS)** ou la **matière organique du sol (MO)** représente le carbone qui reste dans le sol après la décomposition partielle de tout matériau vivant (végétal ou animal)<sup>6</sup>. Il constitue un élément clé du cycle du carbone mondial à travers l'atmosphère, la végétation, le sol, les rivières et l'océan »<sup>7</sup>. Le sol contient plus de carbone que dans la totalité de la végétation et de l'air réunis. Il est principalement localisé dans la fine couche de surface de 0 à 20-30 cm.

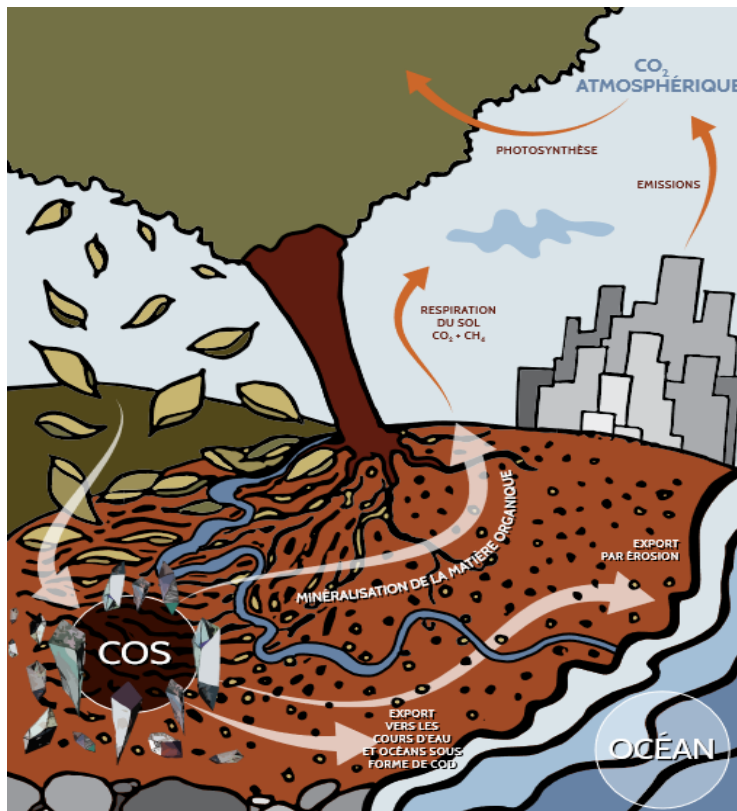


Figure 1 : Le carbone organique du sol dans le cycle global du carbone (source : FAO)

La minéralisation de la MO (travaux profonds du sol et activité biologique) libère le carbone sous forme de CO<sub>2</sub>.

Les sols agricoles émettent des gaz à effet de serre (GES) tels que principalement le CO<sub>2</sub> (par la minéralisation de la MO), mais aussi le N<sub>2</sub>O (gaz hilarant) et le CH<sub>4</sub> (méthane) dans des proportions variables selon les exploitations et dans des cas particuliers.

<sup>6</sup> La décomposition des organismes vivants (animaux, partie aérienne ou racinaire des plantes) se fait grâce aux microorganismes du sol, telles que les bactéries, par exemple.

<sup>7</sup> Source : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Carbone organique du sol, une richesse invisible

La quantité de carbone du sol dépend d'un équilibre entre la quantité qui entre et celle qui en sort (pertes par ruissellement/érosion ou par minéralisation par exemple). Les méthodes permettant les entrées de carbone, sont appelées « **séquestration** », lorsqu'il s'agit d'emmagasiner de façon additionnelle du carbone dans le sol, ou au contraire de « **stockage** », lorsque le carbone est retenu de façon persistante à long terme.

La séquestration est une évolution positive de la teneur en carbone par un processus cyclique. Les apports se font grâce au mécanisme de la photosynthèse : les plantes « captent » le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère pour transformer le carbone (C) en MO dans les tissus végétaux (racines, tiges, feuilles) et libérer de l'oxygène (O<sub>2</sub>) dans l'atmosphère. Ces tissus végétaux sont incorporés dans le sol par la faune et les micro-organismes du sol, soit directement (ex. résidus des cultures laissées aux champs), soit après une phase de transformation (ex. compostage). Cette MO est incorporée pour des durées tout aussi variables que méconnues allant de plusieurs années à plusieurs milliers d'années. Le carbone accumulé peut être reminéralisé ou humifié pour structurer le sol. Par simplification, ce document utilisera le terme de « séquestration » pour les deux notions d'accumulation et de séquestration sensu stricto.

**La gestion la quantité de carbone (MO) permet d'assurer à la fois les fonctions et la résilience environnementale et agricole des sols. La MO est donc un indicateur clé, à la fois de la productivité agricole mais aussi de la résilience environnementale.**

Dans une perspective de maintien et d'optimisation des fonctions agricoles et environnementales des sols, en l'état actuel des connaissances il ne s'agit pas de réaliser des stocks éternels de carbone très stable issu d'autres stocks, pour lesquels ni les effets (efficacité) n'ont été démontrés, ni les risques (innocuité) à moyen et long terme n'ont été évalués pour l'agriculture, la qualité du sol et des eaux mais aussi les émissions de GES. Ainsi, sauf dans les cas particuliers comme les Technosols urbains (p. ex. fosse de plantation d'arbres en ville) ou pour les sols fortement dégradés, **les techniques de stockage avec remise en eau (ennoisement), labours profonds (deep ploughing) ou apport de matériaux carbonés stables (comme le charbon, les biochars, les poudres de roche) ne sont en aucun cas pertinentes dans la perspective de séquestration dans un sol dont on veut préserver la fertilité. En effet, il s'agit d'être attentif à ne pas entraîner de déstockage d'autres compartiments du sol avec ces techniques.**

**Le sol peut donc avoir un effet à double tranchant pour les flux de carbone, il est soit un puit soit un émetteur de GES :**

- Lorsque le bilan est négatif (émissions > séquestration), le sol est émetteur de GES. Il s'agit par exemple des sols mécanisés trop intensément et laissés souvent nus dès les années 50'-70' ou des sols organiques drainés<sup>8</sup>.
- Lorsqu'il est positif (séquestration > émissions), le sol est un puit de GES. Dans ce cas, les bénéfices sont inestimables en termes :
  - de limitation des changements climatiques : réduction des GES et de la température
  - d'adaptation/résistance aux changements climatiques,
  - de fonctionnalités environnementales : qualité des eaux, biodiversité, etc.

---

<sup>8</sup> Selon les résultats de recherche du PNR 66, les taux annuels d'émission des sols tourbeux en GES (766 000 tonnes d'équivalents CO<sub>2</sub>/an) représentent environ 14% des émissions de GES du domaine agricole en Suisse.

- de sécurité alimentaire : réduction des intrants, rendements<sup>9</sup> et résistances aux aléas climatiques.

**L'étude a permis de montrer les pratiques vertueuses pour améliorer ce bilan carbone, à savoir séquestrer plutôt qu'émettre du carbone.**

## 2. DÉFICIT EN MATIÈRE ORGANIQUE ET POTENTIEL DE SÉQUESTRATION

Dans les terres assolées (surface agricole), le **potentiel de séquestration** est proportionnel à la teneur en argile du sol, partant de seuils définis sur la base d'un optimum de fonctionnalités productives et environnementales) des sols.

Le « déficit » de MO des sols cultivés a été établi en comparaison des valeurs seuils requises, issues des données scientifiques établies sur les sols suisses (Johannes et al., 2017). Les valeurs seuils, déterminées à partir du rapport entre la teneur en MO et en argile du sol (« rapport MO/Argile »)<sup>10</sup>, sont les suivantes :

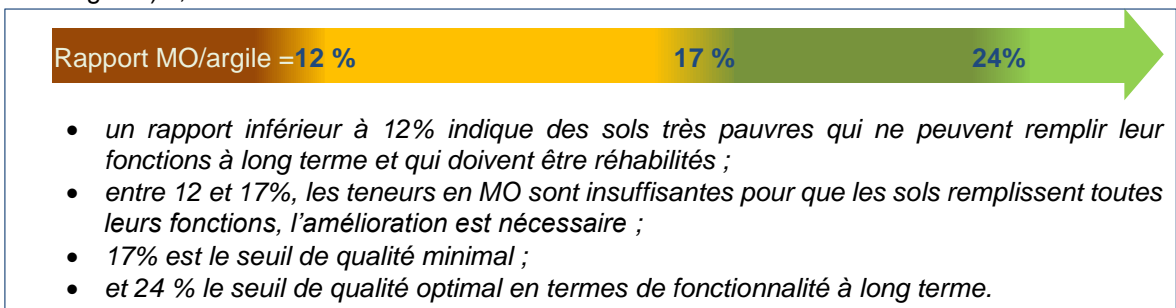


Figure 2 : seuils de vulnérabilité des sols par rapport à leur ratio matière organique (MO) sur argile

Ces limites permettent de quantifier la vulnérabilité des sols cultivés. **Moins les sols sont vulnérables plus ils sont capables de résister aux stress climatiques et mécaniques et plus ils se régénèrent facilement en cas d'atteinte (résilience).** Leurs fonctions écosystémiques : activité biologique, réserve en eau, purification et régulation des eaux et leurs fonctions socio-économiques : fertilité, qualité des denrées alimentaires et rentabilité des exploitations agricoles sont aussi largement renforcées si la qualité du sol est augmentée sur le moyen et long terme.

**Pour renforcer la séquestration, il n'est pas possible d'influencer la teneur en argile des sols, en revanche la MO peut varier (augmenter) grâce aux techniques culturales.**

Les principaux résultats de ces études sont les suivants :

1. **Les sols cultivés vaudois sont majoritairement déficitaires en MO : environ 75% des parcelles analysées n'atteignent pas le seuil de 17%.** Ceci est dû aux modes d'exploitation intensifs (minéralisation des sols) introduits après la seconde guerre mondiale comme par exemple, le labour intense, l'exportation des résidus, la simplification des rotations, la séparation de l'agriculture et de l'élevage. A noter que dans le canton de Vaud, ce déficit est moins important que dans les cantons de Genève et du Jura.

<sup>9</sup> Par exemple, la [FAO](#) estime que pour 1 tonne de plus de COS dans un sol dégradé (appelé ici déficitaire), les rendements en blé seraient augmentés de 20-40 kg/ha pour le blé, 10 à 20 kg/ha pour le maïs, 0.5-1 kg/ha pour le pois. Qualitativement, ces augmentations rendent les terres moins sensibles à l'agressivité des événements climatiques (fortes chaleurs, précipitations intenses), donc moins soumis à l'érosion, infiltrent mieux et retiennent mieux l'eau.

<sup>10</sup> Par exemple, un sol contenant 20 % d'argile et 2 % de MO aura un rapport MO/Argile de 10%.

2. **Les taux d'évolution annuels mesurés montrent une tendance globale négative en fin de XX<sup>ème</sup> siècle.** C'est-à-dire que les sols cultivés émettent du CO<sub>2</sub> durant cette période. **Cette tendance s'inverse progressivement depuis** et reflète la prise de conscience des agriculteurs pour une amélioration des pratiques proactives ou accompagnées de paiements directs notamment.
3. Si **près de 50% des parcelles affichent actuellement toujours des émissions de CO<sub>2</sub>,** les 50 % parcelles restantes montrent que **les évolutions positives sont en cours** et permettent d'avoir un objectif de séquestration ambitieux.
4. Les déficits en MO sont problématiques pour les sols et l'agriculture à moyen-long terme. Or, les taux d'évolution mesurés montrent une véritable **opportunité d'action pour la séquestration du carbone dans les sols.** Plusieurs « Plan climat » ont ainsi inscrit une mesure pour la séquestration du COS dans les sols, dans les cantons de Vaud, Genève et Zurich.
5. Les questions controversées de la réversibilité et de la durée de stockage dans le sol ne sont pas pertinentes, si l'on vise les « taux d'évolution » (exprimé en % du rapport MO/argile) de la MO plutôt que l'augmentation du stock de carbone. Dans le cadre d'un plan climat, les actions entreprises pour améliorer la qualité du sol, via la MO, doivent permettre **avant tout de viser l'amélioration de la fertilité du sol pour l'adaptation aux changements climatiques,** l'augmentation des stocks de carbone étant un co-bénéfice. Les informations recueillies dans les études HEPIA portent sur les taux d'évolution des teneurs, ce qui intègre les entrées et les sorties de carbone dans le sol. L'étude montre que les moyens de séquestrer dans la durée et vers de hautes teneurs sont connus et opérationnels.
6. **Les taux d'évolution constatés dans les sols vaudois sont dus aux pratiques agricoles.** Les pratiques vertueuses en termes de séquestration sont :
  - le travail réduit du sol,
  - la couverture végétale continue et diversifiée,
  - une biomasse importante de la couverture végétale,
  - l'utilisation de fumure organique (fumiers, pailles, composts).
7. Un **taux de croissance annuel de 10 ‰ dans les 20 premiers cm du sol atteignant un rapport MO/Argile de 17%, impliquerait un minimum facilement atteignable de 2 mio de tonnes eq. CO<sub>2</sub> stockées dans les quelques 50'000 ha sols agricoles cultivés en grandes cultures à l'horizon 2050.** Cet objectif est basé sur des hypothèses conservatrices, il est donc minimaliste du fait d'un nombre important d'hypothèses restrictives volontairement posées par l'étude (cf. chapitre 4 sur les points de vigilance).
8. **Si l'objectif de séquestration est augmenté** (p. ex. rapport MO/Argile à 20% ou 24%), ou **si la vitesse de séquestration est améliorée** (p. ex. taux d'évolution de 20 ‰, ce que pratiquent déjà certaines exploitations), alors **l'objectif de quantité séquestrée pourrait être doublé ou triplé, soit 4 à 6 millions de tonnes sur les mêmes surfaces.** Ceci dépendra toutefois de la capacité des acteurs publics et privés à inciter et permettre aux agriculteurs de mettre en œuvre les techniques correspondantes. Ces techniques n'engendrent pas de surcoût mais ne sont pas actuellement soutenues efficacement.

9. Les marges brutes des exploitations sont insensibles aux pratiques de séquestration, c'est-à-dire qu'il n'y a, ni perte, ni gain, si l'exploitation utilise des pratiques vertueuses pour la production.

### 3. PRATIQUES AGRICOLES PERMETTANT LA SÉQUESTRATION

#### a. Facteurs permettant l'évolution positive de la teneur en MO

Les facteurs les plus corrélés aux taux d'évolution positifs indiquent quels soutiens et incitations peuvent donc être priorités (cf. schéma ci-après) :

- +++ La continuité de la couverture du sol, sa biomasse et sa diversité** avant destruction : le principal facteur positif relevé dans les exploitations agricoles qui séquestrent du carbone est la présence de couverts végétaux ou prairies<sup>11</sup> fréquents, denses, diversifiés (multi-espèces) et de longue durée, soit l'« intensité végétale ».
- L'intensité du travail du sol**, notamment la fréquence des labours, est un facteur important d'explication des pertes de MO (p. ex. minéralisation par le labour), et donc des taux d'évolution fortement négatifs.
- +** **La quantité de MO apportée** (non détournée ou endogène<sup>12</sup>) : les apports de MO dans les sols (fumiers, pailles laissées en place, compost) confortent également les taux d'évolution positifs ou compensent partiellement des pratiques négatives.

**Ces facteurs dépendent pour partie de la teneur en MO initiale des sols** (cf figure 3 p. 9) :

- Pour les très faibles rapports MO/argile <12%, les couverts végétaux et les apports de fumure organique permettent des améliorations ;
- Pour les rapports MO/argile (12-15%), des mesures d'adaptation progressive des systèmes de production sont possibles ;
- Pour des parcelles avec des teneurs acceptables (rapport MO/argile proche de 17% et supérieur), les transitions vers les techniques de fortes intensité végétale et réduction du travail du sol sont montrées comme les seules capables de poursuivre des taux d'évolution positifs ;
- Quelles que soient les teneurs de départ, les couverts courts sont aussi à développer et l'exportation des pailles est à proscrire.

Ce type de distinction souligne :

- la **nécessité d'une analyse en laboratoire de la teneur en MO** (le test visuel n'étant pas suffisamment probant),
- la nécessaire **liberté de moyens** dont dispose chaque agriculteur pour parvenir à des objectifs de séquestration.
- les **augmentations induites par les techniques mises en évidence sont rapides** puisqu'elles peuvent largement excéder le 4 pour mille<sup>13</sup> avec des taux d'évolution de 10 à 20 pour mille (jusqu'à 50 dans certains cas).

<sup>11</sup> Les couverts végétaux sont par exemple les mélanges de plantes à production végétale importantes et enracinements denses et diversifiés mis en place par les agriculteurs entre 2 cultures productives (comme le blé ou le maïs), pour couvrir les sols et qui permettent d'apporter de la MO (engrais naturel), d'éviter l'érosion des sols, etc.

<sup>12</sup> « Endogène » signifie la MO produite sur la parcelle et l'exploitation, avec les résidus de culture après récolte (pailles) ou dans l'exploitation (fumiers).

« Non détournée » signifie qui n'implique pas de perte par ailleurs pour d'autres exploitations. Par exemple, si l'exploitant achète du fumier, celui-ci est considéré comme une perte de MO pour l'exploitation qui le produit. Pour le compost, il implique un détournement des MO des exploitations qui l'ont produites. Seuls les composts professionnels issus de déchets organiques urbains semblent satisfaire à ce critère de non-détournement.

<sup>13</sup> <https://www.4p1000.org/fr>

D'autre part, l'étude montre que des **apports exogènes (compost, fumier) élevés ne sont qu'un facteur secondaire pour augmenter la teneur en carbone organique**. En outre, ils sont régulés quantitativement<sup>14</sup> compte tenu des risques de qualité (composts), de pollution, et des risques de déplacement de biomasses sans effet de séquestration.

**Il est à noter que les techniques basées sur le carbone produit directement sur la parcelle (comme les couverts végétaux) permettent également de préparer les sols aux changements climatiques. Elles sont aussi totalement vertueuses pour le bilan climatique car le carbone séquestré est directement issu de la captation du carbone de l'air par la photosynthèse, à la différence des techniques utilisant des matières importées.**

#### *b. Impact économique des pratiques de séquestration*

D'un point de vue économique, l'étude montre que **les pratiques qui permettent des taux d'évolution positifs n'affectent pas les marges brutes des exploitations agricoles, ni positivement ni négativement**. Autrement dit, en l'état actuel « *les pratiques vertueuses n'impliquent pas de pertes financières* » aux exploitations, alors que les politiques publiques actuelles ne les favorisent pas directement<sup>15</sup>. Par exemple, les couverts courts ne sont pas soutenus dans le canton de Vaud, où ils sont quasi absents, tandis que fréquents et très efficaces sur Genève où ils sont soutenus par une prime.

Les co-bénéfices de ces pratiques de séquestration, en termes de bilan carbone, vont au-delà des aspects climatiques (réduction de CO<sub>2</sub> et adaptation des sols aux changements climatiques), puisque par exemple des quantités très significatives de diesel par hectare et par an sont économisés dans les pratiques de semis direct (moins de passages de machines puissantes) et les apports aux services écosystémiques (infiltration, érosion, régulation des crues..) sont également reconnus et conséquents.

#### *c. Leviers législatifs*

Si les pratiques agronomiques ont conduit à la « consommation » de la MO depuis les années 50, la mise en place des PER, avec l'entrée en vigueur de l'OPD en 1999, est une cause claire de l'inversion de cette tendance. L'obligation des rotations culturales et des couverts automnaux en sont sans doute les facteurs principaux. **Les mesures agricoles actuelles soutiennent cependant de façon insuffisante les bonnes pratiques puisque la tendance à l'augmentation repose depuis sur des choix personnels des exploitants sans soutien économique explicite**. Les mesures existantes compensent tout juste les surcoûts. « *Les moyens techniques correspondants sont disponibles et identifiés [...]. Ce n'est donc pas une question technique mais une question de volonté collective concrétisée par le cadre donné à l'agriculture* ».

A ce jour, il n'existe pas de levier législatif en Suisse permettant de soutenir les pratiques vertueuses pour la séquestration et l'adaptation des sols aux changements climatiques. Les programmes de mesures cantonaux sont ainsi nécessaires, ainsi qu'une analyse juridique des leviers possibles impliquant à la fois les enjeux de production agricole (LAg/OPD), de protection des sols (LPE/OSol) et climatiques (LCO<sub>2</sub>, etc.).

<sup>14</sup> ORRChim (RS 814.81) qui fixe des doses et fréquences d'apport maximales pour les amendements organiques), bilans de fumure qui empêchent des apports trop conséquents.

<sup>15</sup> Leur adoption relève pour l'instant d'un choix personnel de l'exploitant ; les couverts découlent en partie des exigences PER et la Contribution pour le travail du sol réduit (CER) est incitative bien que volontaire.

#### 4. CONDITIONS REQUISES POUR UNE POLITIQUE DE SOUTIEN DES PRATIQUES DE SÉQUESTRATION

Pour soutenir l'intégration des pratiques vertueuses aux systèmes de culture : **les facteurs d'amélioration ne doivent jamais être considérés indépendamment** dans une exploitation, ni promulgués comme des recettes de mesures applicables partout puisque :

- ces **techniques agricoles sont interdépendantes** dans leur mise en œuvre,
- **chaque exploitation est structurellement différente**, en terme de secteur de production, de sol, de climat, d'équipement, de structure économique, de personnel, etc.
- les **pratiques de séquestration doivent toujours être définies en respect des principes agronomiques**, c'est à dire que la séquestration ne doit pas se faire au détriment de la production. Le second rapport HEPIA détermine ainsi quels sont les techniques déjà appliquées sur les exploitations performantes en termes de séquestration, tout en étant économiquement soutenables afin qu'elles soient acceptables pour les agriculteurs.
- la séquestration pure ne peut être un but en soi, au risque de pénaliser *in fine* la production avec des mesures détériorant les sols. **Les axes techniques et de soutien doivent être définis prioritairement pour restaurer, maintenir et optimiser la qualité du sol et sa résilience à long terme. Les pratiques de séquestration sont un levier et non une fin en soi.**

**C'est en tenant compte du « système » de l'exploitation que les choix seront faits.** Pour ce faire, l'étude propose une **définition de groupes-types d'exploitation** (cf figure 3 ci-après) selon leurs pratiques influençant les taux d'évolution.

**Ceci permet d'envisager des objectifs et des évolutions adaptés selon les contextes, basés donc sur la réalité des exploitations.** Un catalogue de mesures imposées et déconnectées les unes des autres n'offrirait pas cette cohérence et conduirait à l'échec.

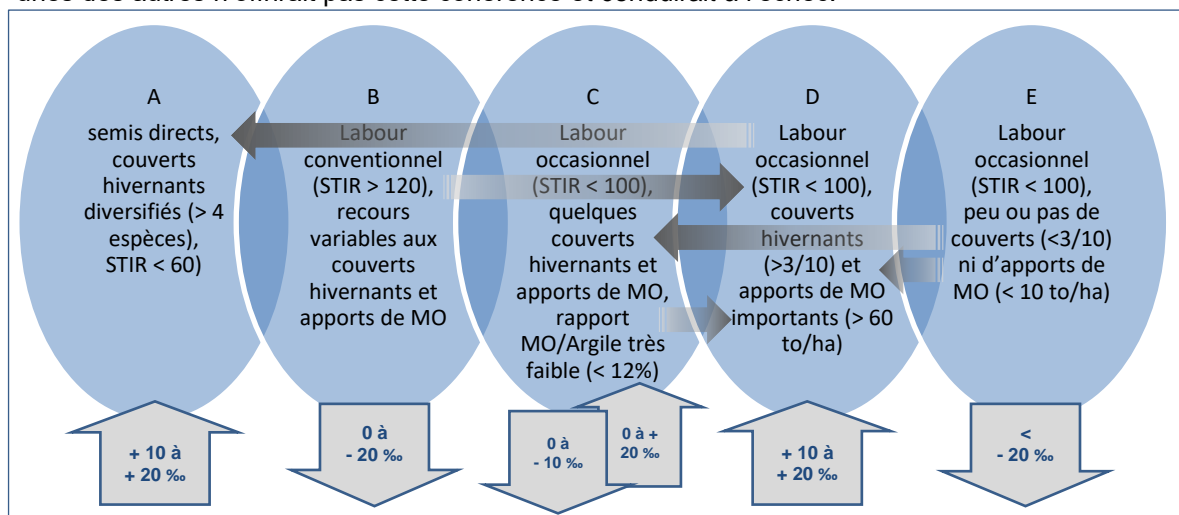


Figure 3 : Illustration des groupes de pratiques des exploitations de plaine de grandes cultures (cercles A à E), selon leur influence moyenne sur les taux d'évolution de leurs teneurs en MO (flèches vers le haut et le bas, teneurs en pour mille) ; les flèches dégradées montrent les évolutions volontaires possibles en intensifiant certaines pratiques.



Ainsi, le gain de performance à l'échelle cantonale dépendra de la possibilité et de la rapidité de conversion des catégories de pratiques émettrices vers les pratiques de séquestration.

Les évolutions positives sont souvent techniquement plus complexes à réaliser pour certaines pratiques<sup>16</sup> que pour d'autres, ce qui révèle le besoin de renforcement des mesures de recherche appliquée/conseil/accompagnement à la pratique.

A noter que l'étude n'identifie pas les cultures biologiques comme meilleures que les autres du point-de-vue de la séquestration, au contraire de la FAO. Ceci étant sans doute dû à la forte intensité de travail du sol souvent utilisée pour ces cultures dans le canton.

#### a. *Soutiens aux agriculteurs*

Le **mécanisme de soutien aux agriculteurs devrait être basé sur les pratiques « performantes » en termes de séquestration de carbone**, donc sur le résultat effectif. Cela permettrait d'éviter de lourdes procédures administratives de contrôle et d'être basé sur la fertilité du sol. La fertilité du sol étant l'objectif principal et impliquant des co-bénéfices agricoles, sociaux et environnementaux.

**Le résultat annuel pourrait être rémunéré sur les 3 piliers que sont les couverts (y c. prairies), l'intensité de travail du sol et le bilan de MO endogène.** L'avantage de cette approche est qu'elle permet de ne pas écarter les exploitations qui ont des pratiques de séquestration et un bilan positif à l'heure actuelle, et par conséquent de stimuler le résultat de leur travail, leur capacité d'innovation et de transfert de connaissance.

Il est ainsi possible de **s'affranchir des mesures coercitives ou subventionnées spécifiquement pour intégrer une forme d'encouragement au résultat sur une base volontaire** (soit « *l'application effective des différents facteurs positifs à proportion de leur intensité* »), ce qui permettra de prendre en compte les particularités et de ne pas imposer des mesures théoriques « top-down ».

Dans un schéma au résultat, **l'agriculteur est au centre de la démarche, avec le libre choix tant de sa vitesse de progression que des moyens à mettre en œuvre pour y parvenir**<sup>17</sup>. La simplification administrative est importante ce qui répond à une préoccupation politique<sup>18</sup>. Les exploitations agricoles les moins volontaires ou capables de changements ne sont pas pénalisées, et les plus motivées par les innovations sont soutenues pour compenser les prises de risques et soutenir les évolutions et les progrès techniques nécessaires. Ceci impliquerait un renforcement conséquent de la formation et de conseils/diagnostics individuels ou par groupe-type, des échanges de pratiques renforcés, etc.

Le Canton de Vaud pourrait également profiter d'être pionnier en la matière avec ce type d'encouragement au résultat plutôt qu'aux listes de moyens pour y parvenir (un projet similaire est en préparation à Genève). Une incitation suffisante sur une base volontaire doit permettre de faire basculer massivement le système agricole sans contraintes ni exclusions.

#### b. *Monitoring*

Un **monitoring de la qualité des sols, incluant le suivi des pratiques** (sur la base du carnet des champs), **de l'intensité végétale** (couverture du sol, diversité et biomasse des couverts) **et de la qualité effective des sols tous les 5 à 10 ans** (stock de COS) est nécessaire.

<sup>16</sup> Par exemple les cultures biologiques (diminution du labour parfois complexe), celles avec des charges en bétail absentes (manques de restitutions de fumiers) ou trop importantes (trop d'amendements par rapport à la surface de l'exploitation), des cultures maraichères (mécanisation intensive), etc.

<sup>17</sup> Burton, R.J.F., Schwarz, G., 2013. Result-oriented agri-environmental schemes in Europe and their potential for promoting behavioural change. *Land Use Policy* 30, 628–641. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.05.002>

<sup>18</sup> [Postulat Rydlo](#)

Ceci répondrait également à d'autres objectifs de politique publique que sont les Stratégie nationale sur les sols<sup>19</sup>, Stratégie cantonale des SDA<sup>20</sup>, autres mesures du Plan climat liées aux sols (n°11, 12, 15, 16 et 20)<sup>21</sup>. Il devrait également être accompagné d'un **monitoring scientifique des émissions de GES** sous forme de bilans et/ou d'inventaire des GES à l'échelle des exploitations (incluant les énergies fossiles, les apports exogènes de carbone dans les sols, les émissions d'autres gaz à effet de serre comme le protoxyde d'azote, etc.). Ce monitoring constituerait l'évaluation de la mise en œuvre de la mesure stratégique n°9 du Plan climat.

c. *Les pratiques de séquestration comme outil de transition et d'adaptation aux changements climatiques*

Les pratiques permettant d'améliorer la qualité des sols en faisant évoluer positivement les taux de MO sont des mesures d'adaptation directes et concrètes aux changements climatiques.

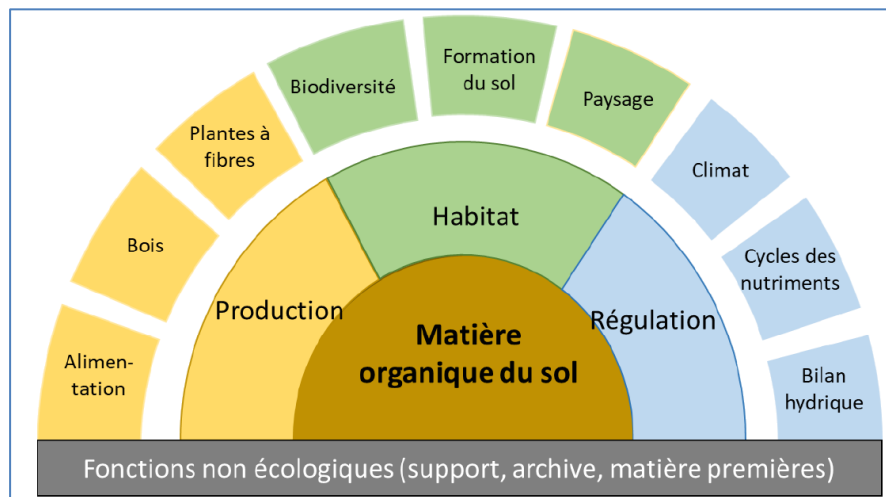


Figure 4 : Fonctions des sols influencées directement par la MO du sol

Les sols de ces exploitations qui dépassent les valeurs seuils de 17% de rapport MO/Argile ont :

- des **périodes sèches moins dommageables aux cultures** (et donc des besoins d'investissement moindre pour l'irrigation ou des doses nécessaires moins importantes avec des sols possédant des réserves hydriques bien plus importantes),
- une **atténuation des impacts des périodes de fortes pluies** (capacité d'infiltration des eaux accrue, protection de la structure du sol, suppression de l'érosion, moins de compaction, etc.),
- des **sols aux fonctions environnementales fortement améliorées** (protection contre les inondations à l'aval, meilleure filtration des polluants atmosphériques, dégradation des polluants organiques, biodiversité de sols accrue, etc.), tout en permettant des rendements agricoles durablement préservés et des plantes moins sensibles aux stress du climat et de la mécanisation, avec réduction des fluctuations des rendements et des revenus dues aux événements climatiques et réduction du recours aux phytosanitaires.

<sup>19</sup> <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sol/info-specialistes/mesures-de-protection-des-sols/bodenstrategie-schweiz.html>

<sup>20</sup> <https://www.vd.ch/themes/territoire-et-construction/amenagement-du-territoire/proteger-les-surfaces-dassolement-sda/strategie-cantonale-sda/>

<sup>21</sup> <https://www.vd.ch/themes/environnement/climat/>

## 5. POINTS DE VIGILANCE

### a. *Champs d'application de l'étude restreint aux sols agricoles cultivés en grandes cultures*

Ce rapport cible la situation la plus répandue (grandes cultures) et sur laquelle un retour d'expérience était possible et une base technique disponible et bien documentée. Certains sols particuliers (sols organiques ou très sableux) et certains types d'exploitation (maraichère, spéciales, de montagne) n'ont pas été prises en compte dans l'étude qui s'est concentrée sur les terres assolées en grandes cultures. La polyculture-élevage et les techniques culturales moins répandues (agroforesterie, vignes, permaculture, micro fermes, jardins urbains, etc.) ne sont également pas prises en compte. De même, les contributions positives de la présence obligatoire de 20% de prairies temporaires dans les rotations de grandes cultures bio ne sont pas analysées dans cette étude.

Il convient de rappeler que ces études ne concernent que les sols agricoles, mais la gestion forestière et celle des milieux naturels (marais notamment), etc. ne sont sans doute pas du tout anecdotiques du point-de-vue climatique et pourraient faire également l'objet de mesures d'optimisation de la qualité des sols par la séquestration du carbone organique.

### b. *Sous-estimation des potentiels de séquestration*

Ajouté aux éléments listés ci-dessus, les hypothèses de travail ont impliqué un certain nombre d'hypothèses qui ont systématiquement été choisies pour sous-estimer le potentiel de séquestration des sols vaudois<sup>22</sup>. Les calculs ont été réalisés avec des hypothèses sur les paramètres du sol de densité et teneurs en cailloux moyennes, et la profondeur de prélèvement du protocole suisse des PER (20 cm de profondeur au lieu de 30 selon les standards du GIEC), tout ceci impliquant une possible sous-estimation du potentiel de séquestration permettant de travailler sur des bases prudentes, **soit 2 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> pour atteindre le rapport MO/argile de 17%, 4 millions de tonnes pour 20% etc.** Ces chiffres sont donc atteignables et les méthodes pour y parvenir avérées.

### c. *Méthodes de séquestration du carbone*

Il est nécessaire **d'avoir une approche pragmatique en s'appuyant sur des méthodes éprouvées au sens agronomique et aux performances élevées, considérant l'ensemble de l'exploitation (systémique), et favorisant des sols de qualité.**

Ainsi, les pratiques de labours profonds ou d'enfouissement de produits carbonés (biochars, charbons ou autres) dont les effets et l'innocuité ne sont en aucun cas démontrés, impliquent des risques pour l'agriculture et les fonctions environnementales des sols. S'ils ont parfois fait l'objet d'essais à court terme sur les sols particuliers, leurs qualités ne sont pas normées et très variables (parfois même toxiques), les effets agronomiques et environnementaux n'ont ainsi jamais pu être évalués correctement, encore moins à moyen-long terme, pour l'agriculture, l'environnement (sols et eaux) et le climat (GES). A l'exemple des boues d'épuration utilisées comme engrais et désormais interdites depuis 2006, si elles étaient des engrais efficaces et autorisés, on sait aujourd'hui qu'elles ont contaminé les sols ad aeternam.

<sup>22</sup> C'est le cas par exemple des parcelles analysées, bien qu'elles soient très nombreuses il ne s'agit que de celles disposant d'analyses PER d'argile et de MO fiables, c'est à dire analysées par des méthodes de laboratoire et non par des analyses « visuelles » dont les résultats sont biaisés.

## 6. CONCLUSION

Ces études montrent que **la mise en œuvre d'un programme de séquestration du carbone dans les sols agricoles vaudois est :**

- **possible**, les taux d'évolution positifs existent dans les exploitations vaudoises,
- **pertinent**, les pratiques qui améliorent les sols sont vertueuses pour l'agriculture et l'environnement, les co-bénéfices sont multiples (production durable et plus résistante aux aléas, purification / régulation des eaux, biodiversité, etc.),
- **nécessaire**, pour l'adaptation aux changements climatiques,
- **et réaliste** avec le développement des pratiques agricoles qui ont des taux d'évolution actuellement positifs.

Les objectifs peuvent être définis à l'horizon 2050 comme à des horizons temporels de 10-15 ans. La concrétisation d'un programme d'action opérationnel implique toutefois encore de :

1. Concrétiser un **mécanisme de soutien aux pratiques** de séquestration **et à leur résultat** (technique et juridique), notamment la méthode de rémunération des couvertures végétales, de la diminution du travail du sol et des apports de MO endogène.
2. Etablir un **programme de formation et de conseil** pour les agriculteurs intéressés afin de permettre l'atteinte de ces objectifs.
3. **Définir l'évaluation** de la mise en œuvre de cette mesure (monitoring).
4. Définir la **mise en œuvre de la mesure avec les parties prenantes et en interne** à l'administration cantonale.
5. Mener les **études nécessaires aux autres domaines pertinents** (par exemple petites structures, cultures maraichères, sols organiques (ex. plaine de l'Orbe), vignes, forêt, agriculture biologique, etc.) pour soutenir les autres formes de séquestration particulières pertinentes.

Lausanne, le 17 février 2021

DGE-GEODE  
DGE-DIREV  
DGAV-DAGRI

### Liste des abréviations

DES	Département de l'environnement et de la sécurité	FAO	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
DGE	Direction générale de l'environnement	GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
DIREV	Direction de l'environnement industriel, urbain et rural	COS	carbone organique du sol
GEODE	Division géologie, sols et déchets	GES	gaz à effet de serre
DEIS	Département de l'économie, de l'innovation et du sport	MO	matière organique
DGAV	Direction générale de l'agriculture et de la viticulture	PER	prestation écologique requise
		PNR	programme national de recherche