

**SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT**  
FRANÇAIS / ENGLISH

**CONTRIBUTION DES PRODUITS RESIDUAIRES ORGANIQUES  
A LA SEQUESTRATION DU CARBONE DANS LES SOLS**

***CONTRIBUTION OF ORGANIC WASTE PRODUCTS  
TO SOIL CARBON SEQUESTRATION***

novembre 2022

S. BERGER, L. SICARD – SOLAGRO  
S. HOUOT, F. LEVAVASSEUR – INRAE



Créée à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1989, le catalyseur d'une coopération entre industriels, institutionnels et chercheurs.

Acteur reconnu de la recherche appliquée dans le domaine des déchets, des sols pollués et de l'utilisation efficace des ressources, RECORD a comme objectif principal le financement et la réalisation d'études et de recherches dans une perspective d'économie circulaire.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et institutionnels) définissent collégialement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

**Avertissement :**

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :  
**RECORD**, Contribution des Produits Résiduaires Organiques à la séquestration du carbone dans les sols, 2022, 73 p, n°20-0518/1A
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de la transition écologique)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

© RECORD, 2022

## **RESUME**

Le carbone est le principal constituant de la matière organique des sols. Intégré dans le sol, il joue un rôle majeur dans le maintien et l'amélioration de la fertilité et de la qualité des sols, ainsi que dans la fourniture de nombreux services écosystémiques, notamment l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.

De nombreux travaux de recherche sur ces différents sujets ont été conduits ces dernières années notamment en France. Ce travail fournit une synthèse sur les connaissances du stockage du carbone dans les sols agricoles, une analyse des impacts agronomique, environnemental, et économique, de l'épandage de PRO sur 4 territoires définis et enfin délivre 9 messages clés à l'attention des acteurs (agriculteurs, collectivité, administrations) qu'ils soient producteurs, utilisateurs, prescripteurs.

## **MOTS CLES**

Produits résiduaux organiques, carbone, organique, sol, stockage, séquestration, gaz à effet de serre

-----

## **SUMMARY**

Carbon is the main component of soil organic matter. Integrated in the soil, it plays a major role in maintaining and improving soil fertility and quality, as well as in the provision of many ecosystem services, including climate change mitigation and adaptation.

A lot of studies about carbon sequestration has been carried out in recent years, particularly in France. This work provides a synthesis of knowledge on carbon storage in agricultural soils, an analysis of the impacts of the use of organic fertilizers from an agronomic, environmental and economic point of view, in four defined territories, and delivers nine key messages for stakeholders (farmers, local authorities, administrations), whether they are producers, users or prescribers.

## **KEY WORDS**

Organic fertilizers, carbon, organic, soil, storage, sequestration, GHG

## Contexte

Le carbone est le principal constituant de la matière organique des sols. Intégré dans le sol, il joue un rôle majeur dans le maintien et l'amélioration de la fertilité et de la qualité des sols, ainsi que dans la fourniture de nombreux services écosystémiques, notamment l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.

En 2015, la France lors de la COP 21, lance l'initiative 4 pour 1000, suggérant qu'une augmentation des stocks de C dans les sols de 4 pour mille par an permettrait de compenser les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>, contribuant ainsi à la neutralité carbone, objectif nécessaire selon le GIEC d'ici 2050. Son bon état est aussi le garant de notre sécurité alimentaire.

Dans les sols, les stocks de carbone organique dépendent de l'usage des sols, du type de sol et du climat. Les stocks les plus importants sont observés dans les zones d'altitude et sous forêt ou prairies permanentes.

Parallèlement, environ 150 millions de tonnes de matières résiduelles organiques, pouvant être épandues en agriculture à l'état brut ou traité, sont produits chaque année en France. L'apport de ces Produits Résiduels Organiques (PRO) peut jouer un rôle non seulement sur la séquestration du carbone dans les sols mais également sur l'amendement de sols dégradés et leur fertilisation grâce à la présence d'azote et de phosphore dans ces matières.

De nombreux travaux de recherche sur ces différents sujets ont été conduits ces dernières années notamment en France. Afin que l'état actuel des connaissances soit mieux connu, que les résultats de ces travaux soient plus largement diffusés, l'association RECORD a souhaité la réalisation de ce travail, dont l'objectif principal est de produire des recommandations aux acteurs (agriculteurs, collectivité, administrations) qu'ils soient producteurs, utilisateurs ou prescripteurs.

Ce document détaille les résultats de ce travail :

- de synthèse sur les connaissances du stockage du carbone dans les sols agricoles lié à l'épandage des PRO,
- d'analyse des impacts d'utilisation des PRO d'un point de vue agronomique, environnemental, et économique, sur 4 territoires définis.

## Objectifs et méthode

Ce document est organisé en 3 parties.

Une **1<sup>ère</sup> phase** de bibliographie et d'analyse prospective avec pour objectif de faire le point sur le gisement de PRO actuellement valorisé et à l'horizon 2030 ainsi que la synthèse sur l'état des connaissances sur la contribution des PRO à la séquestration carbone.

Une **2<sup>ème</sup> phase** d'analyse à partir d'outil de modélisation (AMG et Proleg) afin de quantifier le stockage de carbone à partir de PRO sur 4 territoires différenciés d'un point de vue contexte pédoclimatique, systèmes agricoles, gisement de PRO disponible : un territoire de grandes cultures en contexte périurbain (Plaine de Versailles – 78) ; un territoire d'élevage de l'Ouest de la France (Coglais Marches de Bretagne – 35), un territoire de polyculture élevage aux sols karstiques (Grand Figeac – 46) et un territoire viticole dans un contexte périurbain avec une forte contrainte d'épandage (Pays de l'Or et Pays de Lunel – 34).

Une **3<sup>ème</sup> phase** de recommandations et de proposition de messages clés, facilement compréhensibles par les acteurs.

## Context

*Carbon is the main component of soil organic matter. Embedded in the soil, it plays a major role in maintaining and improving soil fertility and quality, as well as in providing many ecosystem services, including climate change mitigation and adaptation.*

*In 2015, France, at COP 21, launched the 4 for 1000 initiative, suggesting that an increase in soil C stocks of 4 per thousand per year would offset anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions, thus contributing to carbon neutrality, a necessary objective according to the IPCC by 2050. Its good condition is also the guarantee of our food security.*

*In soils, organic carbon stocks depend on land use, soil type and climate. The highest stocks are found in highland areas and under permanent forests or grasslands.*

*At the same time, about 150 million tons of organic waste, which can be spread in agriculture in its raw or treated state, are produced each year in France. The contribution of these Organic Waste Products (OWP) can play a role not only in the sequestration of carbon in soils but also in the amendment of degraded soils and their fertilization thanks to the presence of nitrogen and phosphorus in these materials.*

*A lot of studies about carbon sequestration has been carried out in recent years, particularly in France. In order disseminate more widely the results of those works, the RECORD association wanted this study to be carried out. The main objective of the study is to produce recommendations for stakeholders (farmers, local authorities, administrations), whether they are producers, users or prescribers.*

*This document details the results of this work:*

- *a synthesis of knowledge on carbon storage in agricultural soils linked to the application of organic fertilizers*
- *analysis of the impacts of the use of organic fertilizers from an agronomic, environmental and economic point of view, in four defined territories.*

## Objectives and method

*This document is divided into 3 parts:*

*A **first phase** of bibliography and prospective analysis (current resources and by 2030) as well as the synthesis of the state of knowledge for contribution of OWP to carbon sequestration.*

*A **second phase** of analysis using modelling tools (AMG and Proleg) to quantify the carbon storage from OWPs in 4 territories differentiated from a pedoclimatic context, agricultural systems and available OWP deposits : a large-scale farming area in a peri-urban context (Plaine de Versailles – 78); a livestock farming area in western France (Coglais Marches de Bretagne - 35), a mixed farming area with karstic soils (Grand Figeac - 46) and a wine-growing area in a peri-urban context with a strong land application constraint (Pays de l'Or and Pays de Lunel - 34)*

*A **third phase** of recommendations and proposals for key messages, easily understood by the stakeholders.*

## Principaux résultats

### Phase 1 : analyse prospective et état des connaissances

Hors résidus de culture, le gisement de PRO s'élève actuellement à environ 150 Mt/an. A l'horizon 2030, ce gisement pourrait s'élever à 200 Mt/an, essentiellement composé de PRO d'origine agricole, selon les hypothèses suivantes :

- Diminution tendancielle du cheptel
- Développement des projets de méthanisation, avec une ration incluant de la biomasse végétale (cultures intermédiaires à vocation énergétique, résidus de cultures)
- Augmentation de la valorisation des biodéchets (Loi AGEC) avec une obligation de tri à la source et de retour au sol
- Développement des solutions de gazéification pour la biomasse (déchets notamment)
- Augmentation des contraintes réglementaires : sur le retour au sol notamment pour les contaminants (Socle Commun) et les possibilités de mélange des intrants

Aujourd'hui, la quasi-totalité des effluents d'élevage produits en France retournent au sol et il n'y a donc pas de possibilité d'accroître les stocks de C organique des sols par une mobilisation supplémentaire de ce gisement. On observe cependant qu'une part croissante de ces effluents subit des transformations avant épandage, allant d'une simple séparation de phase à une digestion anaérobie, dont les conséquences sur la composition des produits et le stockage de C après retour au sol doivent être étudiés. D'autres produits organiques comme les boues d'épuration ne reviennent que partiellement au sol, le reste étant incinéré. Sous réserve que l'épandage puisse être fait sans risque de contamination des sols, il y a là un gisement supplémentaire de carbone qui pourrait être mobilisé pour accroître le stockage de C dans les sols.

La mobilisation de nouvelles ressources comme les biodéchets et les déchets verts et leur transformation par compostage ou méthanisation permettraient d'augmenter les volumes produits et donc le retour au sol. Ceci est particulièrement vrai sur les zones péri-urbaines proches de centres urbains de taille importante.

Les apports de nutriments, azote et phosphore, permettent, quel que soit le PRO, de limiter les dépenses en fertilisants chimiques, malgré une augmentation du temps de travail lié à l'épandage.

D'un point de vue du bilan GES intégrant le stockage carbone, émissions liées au machinisme, à la production des fertilisants N et PK, aux émissions au champ de N<sub>2</sub>O (directes et indirectes) montre que sur les 5 premières années d'apport, le stockage de C et les économies d'engrais N permettent un bilan favorable pour l'ensemble des PRO (contributions stockage C et économies N variable selon les PRO) et après 30 ans, le stock de carbone est à l'équilibre, mais économies d'engrais N maintiennent un bilan favorable. En revanche, en intégrant les émissions liées à la collecte, lors de la fabrication/production et du stockage des PRO, sur la base des données des méthodes Label Bas Carbone (Soenen *et al.*, 2021), le bilan GES est complètement changé, et seul le bilan GES des fumiers est significativement favorable.

### Phase 2 : l'analyse sur les 4 territoires

Tous les PRO indiqués dans la situation actuelle (Figure 1) sont déjà épandus à l'heure actuelle. Le potentiel de stockage additionnel est donc nul. Il est cependant important de maintenir le retour au sol de ces PRO pour maintenir ce stockage. Celui-ci peut en effet représenter une proportion significative de

## Main results

### Phase 1: prospective analysis and state of knowledge

*Excluding crop residues, OWP currently account for about 150 Mt/year. By 2030, this resource could reach 200 Mt/year, essentially composed of agricultural residues, according to the following hypotheses*

- *Trend decrease in livestock numbers*
- *Development of anaerobic digestion projects, with a ration including plant biomass (intermediate crops for energy purposes, crop residues)*
- *Increase in the recovery of bio-waste (AGEC law) with an obligation to sort at source and return to the soil*
- *Development of gasification solutions for biomass (especially waste)*
- *Increased regulatory constraints (contaminants, inputs)*

*Today, almost all livestock effluents produced in France are returned to the soil and there is therefore no possibility of increasing soil organic C stocks through additional mobilization of this source.*

*However, it has been observed that a growing proportion of these effluents undergoes transformations before spreading, ranging from simple phase separation to anaerobic digestion, the consequences of which on the composition of the products and the storage of C after return to the soil must be studied. Other organic products such as sewage sludge only partially return to the soil, the rest being incinerated. Provided that spreading can be done without risk of soil contamination, there is an additional source of carbon that could be mobilized to increase C storage in soils.*

*The mobilization of new resources such as bio-waste and green waste and their transformation by composting or anaerobic digestion would increase the volumes produced and therefore the return to the soil.*

*This is particularly true in peri-urban areas.*

*Nutrient inputs, nitrogen and phosphorus, make it possible, whatever the organic fertilizers, to limit expenditure on chemical fertilizers, despite an increase in working time linked to spreading.*

*From the point of view of the GHG balance integrating carbon storage, emissions linked to machinery, to the production of N and PK fertilizers, and to N<sub>2</sub>O emissions in the field (direct and indirect) shows that over the first 5 years of application, C storage and N fertilizer savings allow a favorable balance for all the organic fertilizers and after 30 years, the carbon stock is in balance, but N fertilizer savings maintain a positive balance.*

*On the other hand, by integrating the emissions linked to the collection, manufacture and storage of the organic fertilizer, based on the data from the Label Bas Carbone methods (Soenen *et al.*, 2021), the GHG balance is completely changed, and only the GHG balance of the manures is significantly favorable.*

### Phase 2: Analysis on the 4 territories

*All the organic fertilizers indicated in the current situation are already applied to land at present. The potential for additional storage is therefore zero. However, it is important to maintain the return of these residues to the soil to maintain this storage. This can represent a significant proportion of the storage allowed by crop residues: up to 29% in the plain of Versailles. In other areas, the comparison is more difficult due to less knowledge of cropping systems (e.g. management of crop residues or grasslands) and a poorer*

stockage permis par les résidus de culture : jusqu'à 29% en plaine de Versailles. Sur les autres territoires, la comparaison est plus délicate du fait d'une moindre connaissance des systèmes de culture (gestion des résidus de culture ou des prairies par exemple) et d'une moins bonne représentation des restitutions de carbone liés aux surfaces fourragères dans le modèle AMG utilisé dans l'étude.

En s'intéressant au scénario alternatif et plus particulièrement au potentiel en digestat de biodéchets, celui-ci est important notamment en plaine de Versailles (0,025 t C/ha/an pour le digestat de biodéchets). Ce potentiel repose notamment sur les imports de biodéchets d'un territoire bien plus vaste (correspondant aux biodéchets actuellement incinérés dans l'incinérateur du territoire). Sur les autres territoires, plus ruraux, le potentiel théorique est bien plus faible (non estimé sur le Coglais). De plus, la gestion de ces biodéchets dans ces territoires ruraux sera a priori principalement décentralisée (compostage individuel et collectif). La production de digestat y est donc encore plus théorique, ainsi que le stockage associé en terres agricoles (le stockage pouvant cependant être réalisé dans les jardins où le compost serait épandu).

Concernant le potentiel de développement de la méthanisation des effluents d'élevage sur le Grand Figeac ou sur le Coglais, celui-ci ne semble pas modifier fortement l'ordre de grandeur du stockage de C : 0,22 t C ha/an après méthanisation contre 0,23 t C ha/an avant méthanisation. Ce faible changement s'explique notamment par le fait que seule une partie des fumiers a été considérée méthanisée, en lien avec les projets actuels sur le territoire. Le potentiel de stockage de C diminue cependant légèrement. Cette baisse est cohérente avec des travaux récents qui montrent que la méthanisation, à quantité d'effluents constants, conduit plutôt à un léger déstockage (Moinard, 2021).

Enfin, sur le territoire des Pays de Lunel et de l'Or, une importation de composts de déchets verts et boues pourrait augmenter significativement le stockage de C. Il est à noter que dans ce cas, cela correspondrait simplement à un transfert, ces composts étant épandus ailleurs à l'heure actuelle.

*representation of carbon restitution from forage areas in the AMG model used in the study.*

*The alternative scenario, and more specifically the potential for biowaste digestate, is significant, particularly in the Versailles plain (0.025 t C/ha/year for biowaste digestate). This potential is based on the import of bio-waste from a much larger area (corresponding to the bio-waste currently incinerated in the area's incinerator). In other, more rural areas, the theoretical potential is much lower (not estimated for the Coglais). Moreover, the management of this bio-waste in these rural areas will a priori be mainly decentralized (individual and collective composting). The production of digestate is therefore even more theoretical, as well as the associated storage in agricultural land (storage could however be carried out in gardens where the compost would be spread).*

*As regards the potential development of anaerobic digestion of livestock effluents in Grand Figeac or Coglais, this does not seem to significantly modify the order of magnitude of C storage: 0.22 t C ha/year after anaerobic digestion compared to 0.23 t C ha/year before anaerobic digestion. This slight change is explained in particular by the fact that only part of the manure was considered to be digested, in line with current projects in the area. However, the potential for C storage decreases slightly. This decrease is consistent with recent studies that show that anaerobic digestion, with constant effluent quantities, leads to a slight reduction in storage (Moinard, 2021).*

*Finally, in the Pays de Lunel et de l'Or area, importing green waste and sludge composts could significantly increase C storage. It should be noted that in this case, it would simply correspond to a transfer, as these composts are currently spread elsewhere.*

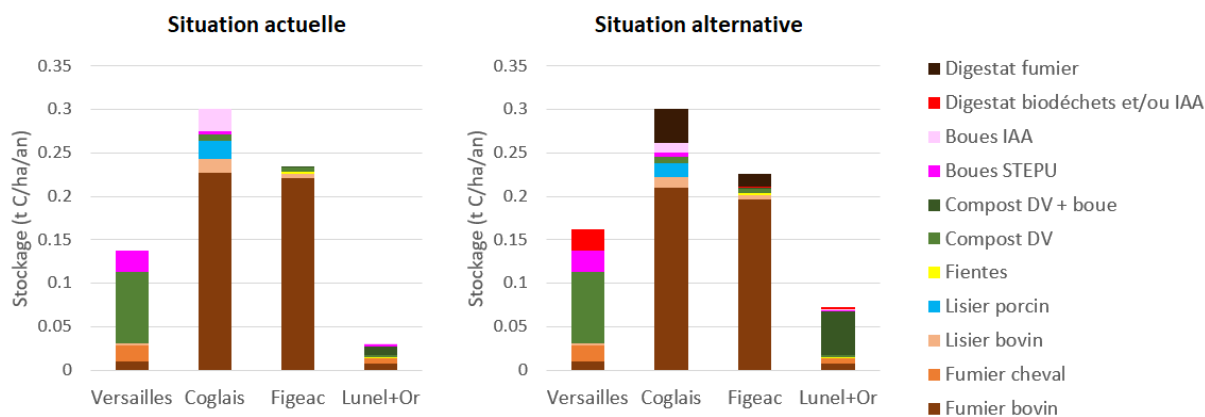


Figure 1 : Stockage annuel moyen de carbone sur 30 ans par les PRO dans les 4 territoires, pour la situation actuelle et une situation de gestion alternative par territoire (méthanisation de biodéchets en plaine de Versailles, situation inchangée dans le Coglais, méthanisation de fumier, de biodéchets et de déchets d'IAA dans le Grand Figeac, méthanisation de biodéchets et de déchets d'IAA et import de compost de déchets verts et de boues dans les Pays de Lunel et de l'Or) (RECORD 2022)

### Phase 3 : les 9 Messages clés

#### Message n°1 : Le stock de C n'augmente pas indéfiniment dans un sol : à pratiques et/ou intrants constants, le stock de C atteint un équilibre.

Les matières organiques dans les sols ne sont pas inertes. Elles se transforment dans le sol sous l'action de différents processus (biotransformations, transferts, stabilisation, déstabilisation).

Le carbone frais est apporté au sol par les résidus aériens et racinaires des cultures et par les PRO, il alimente le compartiment du carbone organique humifié actif (Ca). Ce dernier se minéralise **sur l'année** (sortie sous forme de CO<sub>2</sub>). Une partie du carbone du sol est du carbone organique humifié stable (Cs) qui est considéré totalement inerte à l'échelle du siècle.

Le stock de C n'augmente pas indéfiniment dans un sol. Si les pratiques ou les intrants restent constants, il atteint un équilibre dont le niveau dépend des flux d'entrée (apports de PRO, enfouissement des résidus de culture...) et de sortie (flux de minéralisation qui dépend des caractéristiques physico-chimiques du sol et du climat).

On parle de stockage additionnel par rapport à une pratique existante. Ainsi, par exemple, dans le cas d'apports, notamment déjections animales, réalisés généralement depuis de nombreuses années, cet apport n'est pas considéré comme du stockage additionnel.

En outre, dès l'arrêt des pratiques stockantes, on observera un déstockage du carbone. Ainsi, il est préconisé de maintenir les pratiques stockantes sur le long terme.

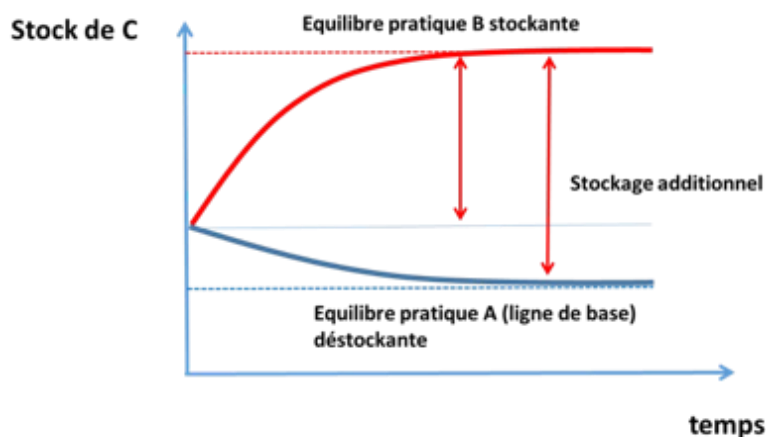


Figure 2 : Représentation schématique de l'évolution des stocks de C dans des sols soumis à des pratiques différentes et calcul du stockage additionnel (RECORD 2022)

Enfin, à noter que certains auteurs évoquent un phénomène de saturation des sols, caractérisé par un potentiel maximum de stockage, associé à la fraction fine des sols. Toutefois cette notion est controversée.

#### Message n°2 : L'apport de PRO sur les parcelles permet d'augmenter le stock de carbone et la quantité annuelle de carbone stocké est fonction de leurs caractéristiques. La gestion des PRO doit être réalisée en regard des besoins (carbone du sol, fertilisation à court terme).

La quantité de stockage annuel est fonction de leurs caractéristiques des PRO.

### Phase 3: The 9 Key Messages

#### Message n°1: The C stock does not increase indefinitely in a soil: with constant practices and/or inputs, the C stock reaches an equilibrium.

Organic matter in soils is not inert. They are transformed in the soil through various processes (biotransformations, transfers, stabilization, destabilisation).

Fresh carbon is brought to the soil by the aerial and root residues of crops and by the OWP, it feeds the active humified organic carbon compartment (Ca). The latter is mineralized over the year (output in the form of CO<sub>2</sub>). Part of the soil carbon is stable humified organic carbon (Cs) which is considered totally inert on a century scale.

The C stock does not increase indefinitely in a soil. If practices or inputs remain constant, it reaches an equilibrium, the level of which depends on input flows (OWP inputs, burial of crop residues...) and output flows (mineralization flows that depend on the physico-chemical characteristics of the soil and the climate).

This is referred to as additional storage in relation to an existing practice. Thus, for example, in the case of inputs, particularly animal manure, which have generally been made for many years, this input is not considered as additional storage.

Moreover, as soon as the storage practices are stopped, carbon will be removed. It is therefore recommended that storage practices be maintained over the long term.

Finally, it should be noted that some authors refer to a phenomenon of soil saturation, characterized by a maximum storage potential, associated with the fine fraction of soil. However, this notion is controversial.

#### Message n°2: The addition of OWPs on the plots increases the carbon stock and the annual quantity of carbon stored depends on their characteristics. The management of organic matter must be carried out according to needs (soil carbon, short-term fertilization).

The amount of annual storage is a function of their characteristics.

En plus des caractéristiques de la matière organique des PRO apportés, l'efficacité à augmenter la matière organique des sols va dépendre de nombreux facteurs : la fréquence et les doses d'application des PRO, les conditions pédo-climatiques (les caractéristiques physico-chimiques des sols, la température et la pluviométrie vont influencer les vitesses des biotransformations dans les sols après apport).

Les fumiers et les composts bénéficient du meilleur facteur de stockage de carbone (0,45 à 0,72 t C/ha/an) pour des pratiques d'apports observées.

*In addition to the characteristics of the organic matter of the input materials, the effectiveness in increasing soil organic matter will depend on many factors: the frequency and doses of application of the inputs, soil and climatic conditions (the physico-chemical characteristics of the soil, temperature and rainfall will influence the rates of biotransformation in the soil after input).*

*Manures and composts benefit from the best carbon storage factor (0.45 - 0.72 t C/ha/year) for observed application practices.*

Tableau 1 : Stockage additionnel lié aux apports de PRO dans des scénarios sur une période de 20 ans d'apport représentatifs des pratiques agriculteurs et calculé à l'aide des facteurs de conversion présentés dans le tableau 5 (Compilation RECORD 2022)

|                  | Dose (t MB/ha) | Fréquence de retour (an) | Teneur en C (%MB) | Flux d'apport de C au sol en 20 ans (t/ha) | Facteur de conversion (tC sol/t C apporté) | stockage de C additionnel total (tC/ha) | stockage de C annuel (tC/ha an) |
|------------------|----------------|--------------------------|-------------------|--|--|---|---------------------------------|
| Fumier           | 40             | 3                        | 10.1              | 26.9                                       | 0.36                                       | 9.7                                     | 0.48                            |
| Fumier composté  | 40             | 3                        | 8.8               | 23.5                                       | 0.38                                       | 8.9                                     | 0.45                            |
| Lisier de porcs  | 40             | 2                        | 2.7               | 10.8                                       | 0.18                                       | 1.9                                     | 0.10                            |
| lisier de bovins | 40             | 2                        | 4.5               | 18   | 0.18                                       | 3.2                                     | 0.16                            |
| Compost          | 30             | 3                        | 17.6              | 35.2                                       | 0.41                                       | 14.4                                    | 0.72                            |
| Boue             | 10             | 3                        | 3.3               | 2.2  | 0.30                                       | 0.7                                     | 0.03                            |

Concernant les biochars, produits organiques issus de la pyrolyse de biomasse, leurs caractéristiques dépendent du type de procédé de production (torréfaction, pyrolyse lente ou rapide, gazéification, carbonisation hydrothermale...). De manière générale, leur valeur amendante est élevée, notamment en carbone organique stable.

En outre, de nombreuses pratiques agricoles stockantes existent et peuvent être mises en place sur les territoires, quelque ce soit le type d'agriculture : grandes cultures (couverts végétaux, bandes enherbées, haies), élevage (prairies, agroforesterie), vergers/vignes (enherbement).

*Concerning biochars, organic products resulting from biomass pyrolysis, their characteristics depend on the type of production process (torrefaction, slow or fast pyrolysis, gasification, hydrothermal carbonization, etc.). In general, their amending value is high, particularly in terms of stable organic carbon.*

*In addition, many agricultural practices that store carbon exist and can be implemented on the territories, whatever the type of agriculture: field crops (plant cover, grass strips, hedges), livestock (grasslands, agroforestry), orchards/vines (grassing).*

Tableau 1 : Pratiques agricoles stockantes (source : Guide Gestim +, Arvalis, 2020)

|  | t C/ha/an          |
|--|--------------------|
| Enherbement permanent vergers                              | 0,5 +/- 0,3        |
| Intégration de prairie temporaire dans les rotations       | 0,47 +/- 0,16      |
| Couvert végétal intermédiaire                              | 0,31 +/- 0,31      |
| Accroissement de la durée des prairies                     | 0,28 +/- 0,78      |
| Enherbement permanent vignes                               | 0,3 +/- 0,2        |
| Augmentation du pâturage (conversion de prairie de fauche) | 0,27 +/- 0,08      |
| Agroforesterie   | 0,25 (0,23 à 0,73) |
| Augmentation de la fertilisation azotée des prairies       | 0,18 +/- 0,06      |
| Haies, bandes enherbées sur cultures annuelles             | 0,02               |

**Message n°3 : Les déjections animales permettent un stockage important de carbone (maintien de stocks élevés). La méthanisation de ces déjections impacte faiblement (à la baisse) le potentiel de stockage du carbone**

Le stockage du carbone par les déjections animales non traitées varie de 0,2 t C/ha/an pour des lisiers à 0,35 t C/ha/an pour des fumiers. Le stockage est plus important avec des

**Message n°3: Animal manure allows for significant carbon storage (maintaining high stocks). The methanisation of these manures has a small (downward) impact on carbon storage potential**

*Carbon storage in untreated animal manure varies from 0.2 t C/ha/yr for slurry to 0.35 t C/ha/yr for manure. Storage is higher with composted animal manure (0.45 t C/ha/yr). With*



déjections animales compostées (0,45 t C/ha/an). Concernant les digestats, à quantité d'effluents constants, la méthanisation conduit plutôt à un léger déstockage du carbone. Toutefois les projets de méthanisation agricole sont généralement accompagnés de mise en œuvre de nouvelles pratiques agricoles (mise en œuvre de CIVE par exemple) ou l'apport de carbone exogène (biodéchets) qui améliore le stockage du carbone.

La méthanisation est à envisager en considérant des effets bénéfiques sur la fertilisation et sur le levier vers l'agroécologie qu'elle peut assurer.

A court terme, l'épandage du digestat permet de valoriser plus d'azote en substitution aux engrais minéraux (en suivant les préconisations pour limiter la volatilisation au stockage et à l'épandage).

Le projet de méthanisation peut être le moteur d'intégration de pratiques stockantes de carbone sur l'exploitation agricole (couverts végétaux notamment).

**Message n°4 : Les PRO peuvent apporter des solutions de stockage de carbone additionnels dans les zones péri-urbaines.**

Le stockage additionnel est valable pour les PRO actuellement non valorisés, c'est-à-dire principalement les biodéchets. Ceux-ci peuvent être valorisés sous forme de digestat ou de compost. Les composts de boues urbaines et/ou de déchets verts permettent un stockage intéressant de carbone notamment pour les zones péri-urbaines. Leur apport de fertilisant azoté n'est pas direct. L'effet de la minéralisation de l'azote est visible à long terme.

La vigilance est requise pour ne pas déstabiliser un territoire d'accueil actuel au détriment d'un autre. Les unités de traitement doivent être pensées au regard des besoins des sols des territoires.

Autour des pôles urbains, étant donné l'importance des gisements localisés de biodéchets et de boues urbaines, l'impact en quantité de carbone retourné au sol peut être important vis-à-vis d'autres pratiques agricoles stockantes comme les résidus de cultures (jusqu'à 30% dans le cas particulier étudié de Plaine de Versailles).

**Message n°5 : Les PRO apportent également des nutriments et permettent des économies d'engrais minéraux de synthèse.**

Les digestats et les lisiers apportent plus d'azote disponible à court terme pour les plantes. Pour l'année en cours, l'épandage de ces PRO permet des économies de N minéral de synthèse. Elles peuvent être limitées par la volatilisation du N (au stockage et à l'épandage).

Les composts et fumiers apportent de l'azote libérable à long terme dans le sol. A long terme, des économies de N minéral de synthèse sont réalisables, suite à l'augmentation de la MO du sol qui augmente la minéralisation du N chaque année.

Les boues urbaines apportent du phosphore assimilable par les plantes.

Le fumier bovin apporte du potassium assimilable par les plantes.

**Message n° 6 : Les apports de métaux par les PRO restent limités après 30 ans d'apport.**

*regard to digestates, given a constant quantity of effluent, methanisation leads to a slight removal of carbon. However, agricultural anaerobic digestion projects are generally accompanied by the implementation of new agricultural practices (e.g. use of intermediate crops) or the addition of exogenous carbon (bio-waste) which improves carbon storage.*

*Anaerobic digestion should be considered in view of the beneficial effects on fertilization and the leverage towards agroecology that it can provide.*

*In the short term, spreading digestate allows more nitrogen to be used as a substitute for mineral fertilizers (by following recommendations to limit volatilization during storage and spreading).*

*The anaerobic digestion project can be the driving force behind the integration of carbon-storing practices on the farm (particularly plant cover).*

**Message n°4: Organic fertilizers can provide additional carbon storage solutions in peri-urban areas.**

*Additional storage is valid for currently non-recovered biowaste. This can be recovered in the form of digestate or compost.*

*Compost from urban sludge and/or green waste provides an interesting carbon storage, especially for peri-urban areas. Their contribution of nitrogenous fertilizer is not direct. The effect of nitrogen mineralization is visible in the long term.*

*Vigilance is required in order not to destabilize a current host area to the detriment of another. The treatment units must be thought out with regard to the needs of the soils of the territories.*

*Around urban centers, given the importance of the localized bio-waste and urban sludge deposits, the impact of carbon storage from OWP is not negligible with respect to other agricultural practices that store carbon (around 30% for the studied case of Plaine de Versailles).*

**Message n°5: Organics fertilizers also provide nutrients and save on synthetic mineral fertilizers.**

*Digestates and slurry provide more short-term available N for plants. In the current year, the application of these residues allows savings of synthetic mineral N. They can be limited by N volatilization (during storage and application)*

*Compost and manure provide long-term releasable N in the soil. In the long term, savings of synthetic mineral N are possible, as a result of the increase in soil OM which increases N mineralization each year.*

*Urban sludge provides plant-available phosphorus.*

*Cattle manure provides plant-available potassium.*

**Message n° 6: Heavy metal inputs from organic fertilizers remain limited after 30 years of input.**

*Other contaminants can nevertheless be found in organic fertilizers (pathogens, pharmaceutical residues, PAHs, microplastics).*

*Vigilance is required on plots receiving organic fertilizers because, compared to synthetic fertilizers, the application of organic fertilizers brings a higher contamination (flux) in Ni,*

D'autres contaminants peuvent néanmoins se retrouver dans les PRO (pathogènes, résidus pharmaceutiques, HAP, microplastiques).

Une vigilance est requise sur les parcelles recevant les PRO car, par rapport à un apport d'engrais de synthèse, l'épandage des PRO apporte une contamination plus élevée (flux) en Ni, Cu, Hg, Pb, Zn, Cr, mais moins élevée en cadmium (Cd) contenu en quantité dans les engrais phosphatés de synthèse.

Pour les paramètres contaminants ETM, HAP et pathogènes, le suivi et le contrôle sont réalisés dans le cas de plans d'épandage : sur les flux apportés aux sols (seuils réglementaires sur les flux à respecter) et sur les sols (seuils réglementaires sur l'accumulation dans les sols à respecter).

Les résidus pharmaceutiques, pesticides, microplastiques ne font pas l'objet à date d'obligation de suivi.

**Message n°7 : La gestion des PRO (stockage, épandage) et des pratiques culturales (couverts) impactent fortement les effets sur le bilan azote.**

Les pratiques vertueuses doivent être mises en œuvre pour limiter les pertes de N avec les PRO :

- Fertilisation équilibrée pour limiter la lixiviation à court terme
- Mise en œuvre de couverts végétaux à l'automne pour limiter les pertes par lixiviation à long terme, du fait de la minéralisation du N liée à l'augmentation de la matière organique
- Couverture du stockage des PRO (notamment lisier et digestat brut/liquide) pour limiter les pertes par volatilisation
- Bonnes pratiques d'épandage (équipements + enfouissement rapide + conditions climatiques favorables) pour limiter les pertes par volatilisation

**Message n°8 : Les paramètres physico-chimiques des sols ne sont pas impactés négativement par l'apport de PRO.**

Suivant la typologie de sol, le choix des PRO peut permettre l'amélioration des paramètres (battance, densité apparente, biomasse microbienne, réserve utile, structure, pH).

Les doses et les calendriers d'apport doivent être respectés pour éviter toute pollution.

**Message n°9 : Seul, le stockage du carbone par les PRO, ne permet pas de compenser totalement les émissions de GES liées aux étapes de traitement amont et aux émissions aux champs.**

La prise en compte d'externalités positives (production d'énergie renouvelable, baisse de la consommation d'engrais de synthèse) est nécessaire pour améliorer le bilan GES des PRO. Des incertitudes quant aux émissions des différentes étapes amont de traitement existent, des travaux sur ces questions sont à mener.

Les fortes émissions liées à la fabrication des PRO, notamment les émissions lors du compostage pour le compost (fortes incertitudes, données à consolider), la déshydratation pour les boues urbaines, amènent à un bilan GES nettement défavorable (émissions > stockage).

La considération de la production d'énergie renouvelable et des économies d'engrais minéraux de synthèse permettrait de rééquilibrer le bilan, notamment dans le cas du digestat. Les questions se posent en termes d'allocation des émissions aux PRO, les déchets initiaux devant dans tous les cas faire l'objet d'un traitement.

*Cu, Hg, Pb, Zn, Cr, but less in cadmium (Cd) contained in quantity in synthetic phosphate fertilizers.*

*For the contaminant parameters heavy metals, PAH and pathogens, monitoring and control are carried out in the case of spreading plans: on inputs (regulatory thresholds on flows to be respected) and on soils (regulatory thresholds on accumulation in soils to be respected).*

*Pharmaceutical residues, pesticides and microplastics are not currently subject to monitoring obligations.*

**Message n°7: The management of organic matter (storage, spreading) and cropping practices (cover crops) have a strong impact on the nitrogen balance.**

*Virtuous practices must be implemented to limit N losses with organic fertilizers:*

- *Balanced fertilization to limit leaching in the short term*
- *Implementation of cover crops in the autumn to limit long-term leaching losses, due to the mineralization of N linked to the increase in organic matter*
- *Covering the storage of organic fertilizers (especially slurry and raw/liquid digestate) to limit volatilization losses*
- *Good spreading practices (equipment + rapid burial + favourable climatic conditions) to limit volatilization losses*

**Message n°8: The physico-chemical parameters of soils are not negatively impacted by the addition of organic fertilizers**

*Depending on the soil typology, the choice of organic fertilizers can improve parameters such as: crusting, apparent density, microbial biomass, useful reserves, structure, pH.*

*The doses and timetables of application must be respected to avoid any pollution.*

**Message n°9: Carbon storage by residues alone does not fully compensate for GHG emissions linked to upstream processing stages and field emissions.**

*Taking into account positive externalities (production of renewable energy, reduction in the consumption of synthetic fertilizers) is necessary to improve the GHG balance of organic fertilizers, and there are uncertainties regarding the emissions of the various upstream processing stages, and work on these issues is needed.*

*The high emissions linked to the manufacture of organic matter, in particular emissions during composting for compost (high uncertainties, data to be consolidated) and dehydration for urban sludge, lead to a clearly unfavourable GHG balance (emissions > storage).*

*Consideration of the production of renewable energy and savings on synthetic mineral fertilizers would make it possible to rebalance the balance, particularly in the case of digestate. The questions arise in terms of allocating emissions to OWPs, as the initial waste must in all cases be treated.*

## **Bibliography**

*ARVALIS (2020). GES'TIM+ : la référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air, ADEME - Agence de la transition écologique.*

## Bibliographie

ARVALIS (2020). GES'TIM+ : la référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air, ADEME - Agence de la transition écologique.

Moinard, V., Levavasseur, F., & Houot, S. (2021). Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105523.

Soenen B., Henaff M., Lagrange H., Lanckriet E., Schneider A., Duval R., Streibig J.L. (2021). Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures (version 1.0). 133p

*Moinard, V., Levavasseur, F., & Houot, S. (2021). Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. Resources, Conservation and Recycling, 169, 105523.*

*Soenen B., Henaff M., Lagrange H., Lanckriet E., Schneider A., Duval R., Streibig J.L. (2021). Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures (version 1.0). 133p*