Carbone organique des sols

L'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Collectivités territoriales et monde agricole

CONNAÎTRE ET AGIR

Édito

Carbone des sols : enjeu pour le climat et l'agronomie

Jérôme Mousset
Chef du service agriculture et forêt
ADEME

Socle vivant de la production agricole et de la forêt, le sol est une ressource limitée et non renouvelable à l'échelle humaine. Les sols sont de plus en plus sollicités et font l'objet de tensions entre les usages. Modification des modes de production, retournement des prairies, perte de terres cultivables ou boisées au profit de l'urbanisation, augmentation des prélèvements de biomasse … autant d'évolutions qui, mal prises en compte, pourraient affecter la qualité des sols et dissiper les stocks en carbone qu'ils contiennent. Pourtant, le sol est un atout considérable dans les stratégies de lutte contre le changement climatique. L'enjeu manque encore d'échos. Pour mieux sensibiliser les gestionnaires des territoires, les décideurs, les agriculteurs et les forestiers, l'ADEME a mobilisé experts, scientifiques, conseillers, représentants des pouvoirs publics, afin de réaliser cette brochure.
Son but : expliquer l'enjeu du sol dans la lutte contre l'effet de serre et, au-delà, valoriser les bénéfices environnementaux associés à une meilleure gestion des matières organiques. Un sol en bonne santé, vivant, équilibré,stockant du carbone, accroit le potentiel de production végétale, contribue à optimiser l'utilisation d'intrants agricoles, filtre l'eau de ses polluants, développe plus de biodiversité. Cette notion de services à la fois environnementaux et économiques s'inscrit dans les principes de l'agro-écologie.

Le GIS Sol en bref

Le Groupement d'Intérêt scientifique Sol (GIS Sol) a été créé en France en 2001. Il regroupe l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), le ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt (MAAF), le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). L'objectif du GIS Sol est de constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France, par rapport à leur distribution spatiale, à leurs propriétés et à l'évolution de leurs qualités. Le sol est une ressource limitée et non renouvelable à l'échelle de temps humaine.

Sommaire

Enjeux

04. **Le sol,** un réservoir de carbone essentiel pour le climat

06. **Matières organiques** Alimenter le sol en permanence

08. Prestataires de services environnementaux

Regards croisés

10. **Stockage du carbone dans les sols :** une réelle prise de conscience

Impacts et leviers d'actions

12. **Changement d'affectation des sols :** préserver les sols riches en carbone

14. **Sols forestiers :** raisonner l'intensification des prélèvements

16. **Sols agricoles :** agir sur les entrées et sorties de matière organique

18. **Pratiques agricoles** selon leur coût et leur efficacité

Regards croisés

20. **Reconstitution des stocks de carbone** De multiples bénéfices à valoriser

Évaluation

22. **Quantifier les évolutions** à la parcelle

24. **Outils de mesure** au niveau des territoires

26. **Améliorer et diffuser** les références

Ce document a été édité par l'ADEME

Coordination technique :
Pour l'ADEME

Service agriculture et forêt : Thomas Eglin, ingénieur en agronomie et environnement

Service communication : Sylvie Cogneau

Rédaction et conception graphique : Terre-Écos
Photo de couverture : Vivescia
Illustrations : Gana Castagnon

Impression : Pure impression certification PEFC, Iso 14001, Imprim'vert, Print Environnement

Brochure Réf. 7886 téléchargeable sur www.ADEME.fr/mediatheque

ADEME
20, avenue du Grésillé - BP 90406 49004 Angers Cedex 01

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, Juin 2014

ISBN : 978-2-358-38-447-6

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

Le sol, un réservoir de carbone essentiel pour le climat

Les sols stockent, sous forme de matières organiques, deux à trois fois plus de carbone que l'atmosphère. Leur utilisation engendre des flux de CO_2 et a des répercussions sur l'évolution du climat. Aujourd'hui, l'enjeu est de limiter les pertes lorsqu'elles sont liées au retournement des terres et d'accroître les stocks par la promotion de pratiques agricoles et sylvicoles adaptées.

Le dioxyde de carbone (CO_2) est le principal gaz à effet de serre (GES) lié aux activités humaines. À l'échelle mondiale, ce sont près de 35 milliards de tonnes de CO_2 qui ont été émises en 2013, par la consommation des réserves fossiles de pétrole, de gaz ou de charbon et par la production de ciment. Les écosystèmes terrestres atténuent l'impact de ces émissions en en captant plus du tiers via la photosynthèse.

PRÉSERVER LES STOCKS DE MATIÈRE ORGANIQUE

Les matières organiques du sol constituent le réservoir de carbone organique le plus important, devant la biomasse des végétaux. Le premier mètre des sols mondiaux stocke entre 1500 et 2400 milliards de tonnes de carbone organique. Les pertes de sols et des matières organiques qu'ils contiennent remettent en cause leur rôle de puits de carbone et augmentent les émissions. Une réduction de 5 % des stocks représenterait l'équivalent de deux à quatre années d'émissions. En France, 3 à 4 milliards de tonnes de carbone sont stockés dans les 30 premiers centimètres de sols, soit trois fois plus de carbone que dans le bois des forêts. Les niveaux de stocks se montrent très variables selon les occupations, le type de sol et le climat. La tendance serait une réduction des teneurs en matières organiques dans les sols agricoles mais avec de fortes disparités entre les régions et les territoires.

Les évolutions des stocks de carbone dans les sols français restent encore très incertaines en raison du nombre de mécanismes impliqués et de la difficulté à les quantifier : extension des surfaces forestières, développement des surfaces urbanisées, retournement des prairies et évolution des pratiques culturales. À cela, s'ajoute l'impact du changement climatique. Ce phénomène favorise la production de matière végétale et accroît aussi la dégradation des matières organiques.

PRISE EN COMPTE DES FLUX DE CARBONE

Par l'adoption en 2013 de la décision 529/2013/EU, l'Union européenne va rendre obligatoire pour les États membres la mise en place d'une comptabilité de leurs émissions/absorptions de GES, intégrant les variations des stocks de carbone des sols. Ce seront d'abord celles liées à la gestion forestière à partir de 2013 puis celles liées à la gestion des terres cultivées et des pâtures à partir de 2021. Cette décision témoigne d'un premier pas vers l'intégration future de la question de l'usage des sols dans les engagements de l'Union européenne en matière de réduction d'émissions de GES. Au sein des marchés carbone, les projets volontaires dits de « compensation carbone » constituent une perspective de valorisation des pratiques de stockage du carbone dans les sols. À l'international, le nombre d'initiatives et les réductions obtenues à ce jour par ce mécanisme restent très limités en raison du caractère diffus des émissions et des incertitudes sur les niveaux de stockage. Des méthodes d'estimation fiables et à moindre coût sont nécessaires.

3 à 4 Md de tonnes de C sont stockés dans les 30 premiers centimètres des sols français

Stocks et flux de carbone à l'échelle de la planète

source IPCC 2013

L'atmosphère contient 829 milliards de tonnes de carbone dont 240 proviendraient des activités humaines depuis 1750. Le flux annuel le plus important est enregistré au niveau des zones industrielles et urbaines avec 7,8 Md de tonnes auxquelles s'ajoute le flux lié au changement d'affectation des sols et à la déforestation pour 1,1 Md de tonnes. Ces émissions sont partiellement compensées par le bilan de la photosynthèse et de la respiration des végétaux ainsi que par la dissolution du carbone dans les océans pour 2,6 et 2,3 Md de tonnes respectivement. Au final, 4 Md de tonnes de carbone s'ajoutent dans l'atmosphère chaque année.

Variation des stocks de carbone organique selon l'affectation des sols en France

source GIS sol

XX Estimation du stock de carbone dans les 30 premiers centimètres du sol

Le stock de matière organique est élevé dans les forêts, les prairies et les pelouses d'altitude mais faible en viticulture, dans les zones méditerranéennes et de cultures. Les stocks sont difficilement quantifiables en zone urbaine, des réserves conséquentes peuvent exister sous les espaces verts. Pour les forêts, le stock de carbone dans la litière n'est pas pris en compte.

Matières organiques : alimenter le sol en permanence

Les matières organiques du sol se définissent comme « tout ce qui est vivant ou a été vivant dans le sol ». Elles y subissent une dégradation qui mène à leur minéralisation. Le carbone qu'elles contiennent est alors majoritairement relâché dans l'atmosphère sous forme gazeuse. Ces pertes doivent être compensées afin de maintenir le stock de carbone. Explications.

A.D.

Les racines contribuent de façon importante au stockage de matières organiques dans le sol.

La matière organique entre dans le sol sous forme « fraîche ». Il s'agit de végétaux (chute de feuilles, résidus de culture, exsudats racinaires…), de micro-organismes ou d'animaux morts. Une grande partie est rapidement décomposée : en quelques mois, cette matière organique est minéralisée par des organismes décomposeurs (champignons, bactéries…) et transformée en gaz carbonique (CO_2) vite relâché dans l'atmosphère*. De manière plus marginale, le lessivage des matières organiques dissoutes, mais aussi l'érosion hydrique et éolienne, ou encore les incendies contribuent à la perte de matière organique.

L'INFLUENCE DU CLIMAT ET DE LA NATURE DES SOLS

Dans les sols de certains grands écosystèmes, tels que les savanes africaines ou les forêts tropicales, le stockage de matière organique dans le sol se déroule à la même vitesse que sa dégradation. Dans les agro-écosystèmes en revanche, cet équilibre peut être bousculé par de nombreux facteurs, susceptibles de favoriser l'accumulation de matière organique, ou à l'inverse sa minéralisation. La pluviométrie et la température jouent un rôle majeur. Par exemple, une humidité faible ou trop importante entrave l'activité des organismes décomposeurs dans des sols qui accumulent donc naturellement plus de matière organique que d'autres.

Inversement, les activités microbiologiques sont multipliées par un facteur 2 à 3 lorsque la température augmente de 10 °C. Le changement climatique, qui stimule actuellement la productivité végétale (concentrations atmosphériques en CO_2, température), et la minéralisation des matières organiques, a un impact difficile à évaluer sur le stockage du carbone. Enfin, la nature physique et chimique des sols diminue également la minéralisation, par leur capacité à « protéger » la matière organique (*voir encadré*).

L'AGRICULTEUR, GESTIONNAIRE DES MATIÈRES ORGANIQUES

En moissonnant ses parcelles, l'agriculteur prélève une quantité substantielle de végétaux. Le retour de matières organiques au sol est alors limité. En outre, des pratiques telles que le labour, en aérant le sol, favorisent l'activité microbienne, et donc la minéralisation. Étant donnée l'importance de la matière organique et son influence positive sur l'environnement, il s'agit de maintenir des entrées importantes de matières organiques, en les adaptant a minima aux sorties.

* Si certains organismes (autotrophes, anaérobies) sont capables de consommer ce CO_2 avant cela, ils sont rares, et ce mécanisme est donc considéré comme faible.

Avis d'expert

A.D.

Éric Blanchart
Directeur de recherche
Institut de recherche pour le développement

Structure et nature des sols agissent sur la stabilité des matières organiques

« Alors que la majeure partie de la matière organique est minéralisée rapidement, une quantité plus modeste peut subir trois mécanismes susceptibles de la rendre plus stable et résistante à la minéralisation. Première possibilité : une transformation chimique, sous l'action de microbes, en molécules carbonées complexes dites « récalcitrantes », chimiquement difficiles à dégrader. La seconde voie consiste en une incorporation de la matière organique dans des agrégats formant une barrière physique contre l'action des micro-organismes. Enfin, dans les sols où ils sont plus présents, les argiles et les carbonates peuvent réagir avec la matière organique, lui conférant une protection physico-chimique contre la minéralisation. Si ces protections permettent à la matière organique de rester stable sur des périodes longues, allant jusqu'à plusieurs milliers d'années, la minéralisation finit toujours par s'opérer. »

Modalités de formation et de dégradation des matières organiques

G. Castagnon

À l'exception des apports racinaires, l'essentiel des entrées de matières organiques s'effectue depuis la surface. En revanche, une grande partie de leur dégradation se joue dans le sol, via l'activité microbienne. Des leviers sont actionnables, à la fois pour augmenter les entrées et pour limiter les sorties.

Matières organiques : prestataires de services environnementaux

Dans les sols, les matières organiques sont essentielles au bon fonctionnement et à la durabilité des écosystèmes agricoles et forestiers : stabilité des sols, stockage de carbone, qualité des eaux, biodiversité… Si certains des services qu'elles rendent sont conditionnés par leur présence en quantité, d'autres dépendent en revanche de leur minéralisation.

Les matières organiques rendent de nombreux services environnementaux. En premier lieu, elles constituent l'alimentation des organismes vivants du sol, micro-organismes et faune. Un sol riche en matière organique favorisera la présence de ces animaux et végétaux, nombreux et variés, et donc la biodiversité.

LA MINÉRALISATION, UN PHÉNOMÈNE POSITIF POUR LA NUTRITION DES PLANTES…

En consommant les matières organiques, ces organismes vont les décomposer et contribuer à leur minéralisation. Or, les matières organiques sont de véritables éponges dans le sol. Elles adsorbent et contiennent de nombreux éléments qu'elles relâchent lorsqu'elles sont minéralisées. Dans les écosystèmes agricoles et forestiers, les plantes profitent alors des cations et des éléments minéraux libérés, qui contribuent à leur nutrition.

… À COMPENSER POUR PRÉSERVER LES STOCKS DE CARBONE ET LIMITER LES TRANSFERTS DE CONTAMINANTS

La minéralisation des matières organiques présente d'autres effets. En premier lieu, elle a pour produit des molécules simples, dont des gaz (CO_2, N_2O ou CH_4 selon les conditions de dégradation), très majoritairement relâchés dans l'atmosphère* et participant à l'effet de serre. Les ions nitrate et phosphate libérés sont des éléments nutritifs profitables aux plantes, mais quand celles-ci ne les assimilent pas, ils peuvent être transférés dans les eaux. La minéralisation peut contribuer également au relargage d'éléments contaminants organiques et métalliques retenus sur les matières organiques. Il est donc important de reconstituer au fur et à mesure le stock de matières organiques, via les végétaux ou par des apports exogènes conformes à la réglementation. Si ce stock est maintenu, les services rendus par la minéralisation peuvent être assurés, les stocks de carbone conservés et les transferts de contaminants limités.

UN RÔLE STRUCTURANT POUR LE SOL

Enfin, l'entretien d'une certaine quantité de matière organique est indispensable à la structure des sols et à leur stabilité vis-à-vis de la pluie. En effet, les matières organiques jouent le rôle de « colle » dans le sol. Elles agrègent les particules minérales et servent également d'alimentation à des organismes (micro-organismes, vers de terre…) dont l'activité est également favorable à la structure du sol. Les matières organiques contribuent donc directement et indirectement à cette structuration, dont les bénéfices sont à la fois agronomiques et environnementaux. En effet, les racines des cultures profitent de l'aération des sols, et l'infiltration de l'eau est favorisée, évitant les phénomènes de ruissellement et d'érosion.

* Seuls quelques rares micro-organismes sont capables de consommer ces gaz dans le sol.

Des bioindicateurs pour estimer la dynamique des matières organiques

Les bactéries et champignons dégradent les matières organiques, les nématodes régulent les populations de micro-organismes, les vers de terre structurent les sols… Le programme « Bioindicateurs de la qualité des sols » de l'ADEME vise à mieux comprendre les rôles des organismes du sol, pour fournir aux acteurs publics et privés des outils de surveillance et de caractérisation de la biologie du sol. Le suivi de nombreuses variables liées aux communautés du sol, dans différentes situations agroclimatiques, a permis d'évaluer l'impact de la gestion des matières organiques du sol sur la biodiversité. Ainsi, l'abondance de champignons et de groupes microbiens ainsi que la diversité des nématodes ont été identifiées comme des indicateurs précoces de l'évolution de l'état organique des sols.

Un profil de sol constitué de mottes de terre et d'agrégats est un système complexe vivant présentant des habitats imbriqués pour la microflore et la faune du sol.

Avis d'expert

Claire Chenu
Enseignante-chercheuse
AgroParisTech

Multifonctionnelles

Les matières organiques sont précieuses à la fois par leur présence et par leur dégradation. Elles constituent une véritable « plaque tournante » du cycle des éléments majeurs (le carbone, l'azote, le phosphore) et des polluants dans les écosystèmes terrestres.
Elles assurent ainsi une fonction de filtre pour l'environnement en stockant des contaminants de nature aussi bien organique que métallique ou de synthèse. Lorsqu'elles sont dégradées, les matières organiques rendent service d'une autre manière, au bénéfice de l'alimentation des plantes et de la biodiversité des sols.

G. Castagnon

Stockage du carbone dans les sols : une réelle prise de conscience

Le monde de la recherche et celui des politiques publiques se rejoignent pour permettre aux sols français de s'enrichir en carbone et ainsi de mieux lutter contre le changement climatique.

Dominique Arrouays, ingénieur de recherche à l'unité Infosol de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) d'Orléans.

Joseph Lunet, chargé de mission agriculture et forêt au ministère du Développement durable (Direction générale de l'énergie et du climat, département de lutte contre l'effet de serre).

Si le grand public n'a pas encore pleinement conscience de l'importance du rôle des sols comme réserve de carbone et acteur de la lutte contre le changement climatique, l'intérêt est en revanche désormais plus présent dans le monde économique et politique. *« Une vraie prise de conscience dans les filières agriculture et forêt émerge »*, reconnaît ainsi Dominique Arrouays, chercheur à l'INRA et spécialiste des sols, avant de tempérer : *« C'est probablement moins vrai pour les acteurs des espaces verts et les professionnels de l'aménagement du territoire. »*

Au ministère du Développement durable, Joseph Lunet confirme que les politiques mises en place prennent aujourd'hui bien en compte ce rôle majeur des sols. Selon lui, les pouvoirs publics participent notamment à l'amélioration de la connaissance concernant les phénomènes en jeu et les quantités de carbone concernées : *« L'État soutient des programmes publics de recherche visant à poursuivre le développement de nos connaissances en la matière, sous l'égide du GIS Sol[1]. Les travaux visant à une meilleure connaissance des flux de carbone en lien avec les sols agricoles et forestiers sont essentiels. »*

CONSERVER OU ACCROÎTRE LES STOCKS DÉJÀ IMPORTANTS

Pour l'heure, Dominique Arrouays estime que les principales sources de variabilité du niveau de carbone dans les sols français sont l'occupation des sols et son historique, le climat, la teneur en argile, la profondeur des sols et les pratiques agricoles et forestières. *« Le potentiel d'accroissement des stocks n'est pas forcément localisé là où ils sont les plus faibles,* explique par ailleurs le chercheur. *Il peut être plus utile de chercher à conserver ou à accroître des stocks déjà importants, que de chercher à en créer de nouveaux là où le potentiel de stabilisation est faible. Des actions à cibler régionalement existent certainement et se déclinent par secteurs d'activité. »*

Carte des stocks de carbone dans les sols français

Le Réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS) permet de dresser une cartographie des stocks de carbone dans les sols. Ils apparaissent plus importants dans les zones d'altitude et d'élevage. Le réseau ne fournit pas de valeur de stocks de carbone pour les zones urbanisées (zones banches sur la carte). Toutefois, l'inventaire des émissions nationales de gaz à effet de serre retient dans les zones urbaines une valeur égale à 50 % de celle des prairies. Elle tient compte, entre autres, de l'existence des jardins et parcs urbains.

source : Meersmans *et al.* 2012

MONTÉE EN PUISSANCE DES MESURES INCITATIVES

Selon Joseph Lunet, les mesures d'accompagnement visant à préserver ou à augmenter les stocks de carbone des sols agricoles montent justement en puissance, notamment au travers de la nouvelle Pac (Politique agricole commune) 2014-2020 et de la Loi d'avenir pour l'agriculture et la forêt : incitations au maintien des prairies permanentes, aux surfaces d'intérêt écologique, interdiction du retournement de certaines prairies naturelles, limitation des défrichements des terres boisées, lutte contre l'étalement urbain etc. Le représentant du ministère du Développement durable ajoute que cette problématique carbone et sol n'est, pour l'heure, pas au cœur des politiques publiques en matière de climat, *« du fait notamment de la prise en compte limitée du carbone des sols dans le cadre du protocole de Kyoto »*. Selon lui, la France souhaite pourtant au contraire que le secteur de l'utilisation des terres soit *« bien inclus dans le cadre du futur accord international sur le climat, post-2020 »*. Les mesures incitatives visant à préserver ou augmenter les stocks de carbone des sols n'en seraient que mieux prises en compte dans les politiques.

> « Une vraie prise de conscience émerge dans les filières agriculture et forêt. Chez les acteurs des espaces verts et de l'aménagement du territoire, elle reste à développer. »

> « La France souhaite que le secteur de l'utilisation des terres soit bien inclus dans les accords internationaux sur le climat. »

(1) Groupement d'intérêt scientifique regroupant l'INRA, l'ADEME, l'IGN, l'IRD et les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement.

Changement d'affectation des sols : préserver les sols riches en carbone

© A.D.

Le retournement d'une prairie provoque un déstockage de carbone. La Politique agricole commune incite les agriculteurs à maintenir les prairies en place.

La reconstitution d'un stock de carbone organique dans le sol demande plusieurs décennies. Mieux vaut donc préserver les zones ayant les réserves les plus importantes et maîtriser l'artificialisation des terres.

La mise en culture d'une prairie conduit au déstockage du carbone du sol alors que le boisement de terres cultivées provoque un stockage. D'après la statistique agricole annuelle du ministère de l'Agriculture, les principaux changements d'affectation des sols opérés entre 1990 et 2010 ont porté sur la hausse des hectares boisés avec + 0,6 million d'hectares (Mha) mais aussi des surfaces artificialisées avec + 1,4 Mha de reconvertis. Ces évolutions se sont réalisées au détriment des terres agricoles avec une perte nette de 1,3 Mha en vingt ans et de 0,7 Mha de surfaces naturelles. Au sein des sols à vocation agricole, les prairies permanentes ont le plus reculé avec - 1,6 Mha, notamment au profit des cultures.

MAÎTRISER L'OCCUPATION DES SOLS

Si l'afforestation accroît les stocks de carbone, l'artificialisation, et en particulier l'imperméabilisation des sols, conduit à une perte de matières organiques et des fonctions des sols, très difficilement voire non réversibles.

Plus de **400 000 ha** de surfaces toujours en herbe ont été retournés en France depuis 2000 et 1,6 Mha depuis 1990.
(source Statistique Agricole)

62 000 ha agricoles par an ont été perdus entre 2006 et 2012 en France, selon Teruti-Lucas.

Évolution du taux de carbone selon le changement d'affectation des sols.

Pendant les vingt premières années suivant un changement d'affectation des sols, le déstockage est deux fois plus rapide que le stockage. Au bout de plusieurs décennies voire plus d'un siècle, un stockage peut compenser un déstockage.

source : d'après Arrouays *et al.* 2002

CULTURE -> FORÊT
CULTURE -> PRAIRIE
FORÊT -> CULTURE
PRAIRIE -> CULTURE

Changements d'affectation entre 2006 et 2012

Les changements d'affectation des sols génèrent des flux de carbone. Actuellement, la résolution spatiale des méthodes de suivi et le manque de connaissances sur les sols urbains limitent la précision de leur quantification.

G. Castagnon

source : d'après Teruti-Lucas pour la période 2006-2012 et les surfaces de 2012

Dans tous les cas, la préservation des stocks de carbone dans les sols français et du rôle de puits de carbone de certains écosystèmes passe par la protection des milieux naturels et la conservation des prairies dans les systèmes d'élevage. Au niveau agricole, des mesures agro-environnementales incitent à ne pas retourner les prairies au bout de cinq ans. Les Safer[1] peuvent aussi intervenir pour préempter des terres menacées d'artificialisation. D'autres leviers réglementaires sont prévus dans le code de l'urbanisme, le Code rural et le Code de l'environnement ou dans le cadre de la loi ALUR[2]. Ils impliquent différents mécanismes comme le zonage de protection, la préemption ou les normes de densification urbaine.

Avis d'expert

Antonio Bispo
Ingénieur Sol et Environnement à l'ADEME

Intégrer les stocks de carbone dans l'évaluation du bilan GES des politiques publiques sur l'utilisation des terres

« Toute modification d'utilisation des terres, que ce soit pour des productions à vocation non alimentaire ou pour l'urbanisme peut avoir des répercussions, non seulement en France mais aussi dans les pays en développement. La déforestation peut ainsi s'intensifier afin de maintenir l'offre en matières premières sur les marchés mondiaux. Dans le cadre d'un groupe de travail initié en 2010, l'impact des politiques de développement des biocarburants conduites en France sur l'usage des terres agricoles et les émissions de CO_2 a été estimé. Ces recherches vont désormais s'étendre et intégrer différents scénarios et moteurs des changements d'usage, comme l'artificialisation ou les orientations agricoles, à l'échelle nationale, mais aussi dans le monde. La concurrence d'usage des sols est un enjeu majeur pour les politiques publiques. »

(1) Sociétés d'aménagement foncier et d'établissement rural.
(2) Loi pour l'accès au logement et un urbanisme rénové.

Sols forestiers : raisonner l'intensification des prélèvements

Moins sollicités et moins perturbés que les sols agricoles, les sols forestiers évoluent lentement. Néanmoins, leur fertilité est limitée et très dépendante des flux naturels d'éléments et de matière organique. Une hausse de la demande en bois-énergie doit s'accompagner de mesures visant à mieux les préserver.

L'impact à moyen et long termes d'une intensification des prélèvements en forêt sur les stocks de carbone est mal connu. L'effet des pratiques dépend fortement de la nature des sols.

Au sein d'un territoire, les sols forestiers sont généralement les plus pauvres chimiquement ou ceux dont les propriétés physiques sont les plus défavorables à l'agriculture. Contrairement aux sols agricoles, ils ne sont pas travaillés ou le sont peu. Cela se traduit par une accumulation importante de matières organiques dans la litière et les horizons superficiels du sol. En forêt tempérée, le stock de carbone dans les sols est du même ordre de grandeur que celui contenu dans les arbres.

PRATIQUES SYLVICOLES DURABLES

Les stocks de carbone dans les sols forestiers évoluent plus lentement que dans les sols agricoles. En général, ils sont supposés stables mais très peu de suivis permettent de connaître leur évolution réelle à moyen et long termes, notamment sous l'influence de l'évolution des pratiques sylvicoles.

Dans le futur, l'augmentation prévisible des besoins en bois-énergie et bois-matériau favorisera l'intensification de la récolte forestière. L'impact de cette intensification sur les stocks est incertain, il pourrait conduire à des effets opposés sur la production de litière et l'incorporation des pertes d'exploitation au sol. Néanmoins, une récolte accrue des rémanents forestiers, c'est-à-dire le menu bois et les branches restant sur la parcelle après l'abattage et le façonnage, à des fins énergétiques, réduit directement les apports de carbone au sol. Le guide ADEME* sur « *La récolte raisonnée des rémanents en forêts* » préconise de ne pas prélever toute la biomasse aérienne en laissant une part des rémanents au sol, et ce, à chaque récolte, et de ramasser les rémanents une fois, voire deux, au maximum dans la vie du peuplement. Si ces recommandations sont faites pour préserver la fertilité chimique minérale des sols forestiers et réduire les risques de tassement, elles sont également valables pour ce qui concerne les stocks de carbone.

Avis d'expert

Laurent Augusto
chercheur à l'INRA

Des indicateurs pour préserver la fertilité des sols

L'enjeu pour la recherche consiste à trouver les leviers logistiques afin de mobiliser les gisements de bois insuffisamment exploités, mais aussi les bons compromis pour gérer les forêts de plus en plus sollicitées. Ces dernières doivent conserver la pluralité de leurs fonctions, comme produire, être réservoirs de biodiversité ou stocker le carbone. Le maintien de la matière organique dans les sols forestiers est dans ce cadre essentiel, car contrairement à certains pays, la forêt française ne reçoit pratiquement pas d'apport pour maintenir la fertilité de ses sols. Or, les sols forestiers sont, pour moitié d'entre eux, des terres agricoles qui ont été reboisées au milieu du XIXe siècle car trop pauvres ou difficilement cultivables. Pour conserver ce capital, le dilemme réside donc dans le juste équilibre entre le bois exporté et le bois laissé au sol. Actuellement, des projets de recherche visent à mettre au point des indicateurs afin que les gestionnaires puissent mieux raisonner les prélèvements.

*Le guide sera mis à jour sur la base de l'expertise collective RESOBIO coordonnée en 2013 par le GIP ECOFOR pour le compte de l'ADEME.

Éléments du bilan GES des filières bois

L'augmentation des prélèvements de bois en forêt pourrait limiter l'accroissement des stocks de carbone dans les sols et les arbres. Une évaluation complète du bilan GES des filières bois implique de prendre en compte le stockage dans les produits (construction et ameublement) ainsi que les substitutions de matériaux et d'énergies fossiles.

Sols agricoles : agir sur les entrées et sorties de matière organique

Pour accroître le retour au sol de matières organiques, il faut favoriser la couverture des sols nus par l'incorporation des cultures intermédiaires dans la rotation et par l'enherbement des interrangs des vignes et des vergers.

Moins de 1 % des surfaces cultivées sont exploitées en semis direct.

4,6 Mha sont conduits en techniques culturales simplifiées, soit un tiers des surfaces cultivées.

(source : Arvalis Institut du végétal).

Pour enrichir les sols agricoles en carbone, deux types d'actions sont identifiés : favoriser les pratiques qui accroissent le stock de matière organique et limiter celles qui augmentent les pertes.

Le potentiel maximal de stockage additionnel du carbone dans les sols agricoles pourrait être de l'ordre de 1 à 3 millions de tonnes par an pendant vingt ans selon des estimations effectuées par l'INRA en 2002 puis en 2013. Ce stockage pourrait compenser jusqu'à 3 à 4 % des émissions annuelles en gaz à effet de serre de la France, ce qui n'est pas négligeable, mais supposerait des actions très volontaristes.

Les pratiques à mettre en œuvre agissent soit en augmentant la matière organique soit en en limitant les pertes.

FOURNIR PLUS DE MATIÈRE ORGANIQUE

Première action pour fournir plus de carbone au sol : accroître la production végétale et le retour au sol de matières organiques. Pour cela, il faut favoriser la couverture des sols nus par l'incorporation des cultures intermédiaires dans la rotation, l'enherbement des interrangs des vignes et des vergers, et l'augmentation de la durée de vie des prairies temporaires.

L'implantation de haies et de bandes enherbées, motivées pour leur rôle de réservoir de biodiversité, de corridor écologique mais aussi de zone tampon entre cultures et cours d'eau permet d'enrichir le sol en matière organique. L'agroforesterie, avec la mise en place de lignes d'arbres en plein champ et au cœur des pâtures, s'accompagne d'une augmentation des stocks de carbone à la fois dans les sols et dans le bois. Des pratiques d'intensification modérée peuvent aussi être réalisées sur les prairies peu productives (pacages, alpages et landes). Pour les cultures et les prairies déjà intensifiées, l'intérêt n'est plus d'accroître les apports mais de conserver au mieux les résidus de cultures. Enfin, les épandages des matières organiques d'origine urbaine ou des effluents d'élevage constituent localement une solution intéressante, s'ils sont préférentiellement épandus sur les sols pauvres en carbone et respectent les normes en vigueur.

FREINER LES PERTES

Les haies et la couverture des sols agissent aussi sur les stocks en réduisant le ruissellement et les pertes par érosion.

L'abandon du labour induirait une augmentation des teneurs en carbone des sols par une moindre minéralisation des matières organiques en raison de leur meilleure protection physique dans les agrégats et à des conditions plus froides et humides en surface. Actuellement, 34,4 % des surfaces cultivées sont conduits en techniques culturales simplifiées selon Arvalis-Institut du végétal, ce sont principalement les cultures d'automne. Les techniques sans labour s'étendent du semis direct à des interventions plus ou moins profondes. Leur impact sur les stocks de carbone a souvent été surestimé. Sur la base des suivis expérimentaux réalisés par la communauté scientifique internationale, seul le semis direct affiche un stockage moyen de 0,15 tonne de carbone de plus par an que le labour. Ce résultat est très variable selon les situations. D'ailleurs, un essai mené par Arvalis pendant quarante ans sur le site de Boigneville, dans l'Essonne, montre qu'après avoir permis un stockage de l'ordre de 2 t/ha de carbone organique pendant 24 ans, le semis direct ne se différencie pas du labour au bout de 40 ans. De plus, un labour s'avère parfois nécessaire pour des raisons agronomiques (*voir encadré*). Selon l'INRA, un labour occasionnel tous les cinq ans, permettrait de conserver une partie du possible gain sur les stocks de carbone, et surtout les économies de carburant.

Quand le labour se justifie

Selon Arvalis-Institut du végétal, le labour est le plus pratiqué sur les cultures de printemps et dans les sols peu argileux. Il représente en effet une sécurité pour l'implantation des cultures de printemps, que ce soit pour favoriser leur levée ou vis-à-vis de la structure du sol dans des systèmes de cultures où le risque de compaction des sols n'est pas négligeable (récoltes tardives, sols limoneux). C'est aussi dans les sols les plus faciles à labourer que cette pratique est la moins remise en cause. Dans une situation où la maîtrise des adventices se complexifie, le retournement occasionnel du sol est une solution préconisée en particulier face à de fortes pressions de graminées.

Avis d'expert

Jérôme Labreuche
responsable du pôle Agroéquipement Arvalis-Institut du végétal

Une meilleure prise en compte des pratiques favorables aux apports de matière organique

Suite aux obligations réglementaires, la mise en place de cultures intermédiaires pièges à nitrates (Cipan) pendant les périodes d'interculture longue se développe. Cette pratique est positive pour le bilan humique d'autant plus que l'effet stockage de carbone organique par les Cipan a été récemment réévalué par rapport à des références anciennes. La tendance est aussi d'allonger le temps de présence de ces cultures et de les implanter dans des zones où elles ne sont pas obligatoires. Autre évolution observée : en zone céréalière, certains agriculteurs n'hésitent pas à importer des amendements organiques sur leur terre.

Pratiques agricoles selon leur coût et leur efficacité

L'INRA a analysé en 2013 le potentiel d'atténuation des émissions nationales de GES associé aux pratiques agricoles. L'agroforesterie, le non-labour, l'allongement des prairies temporaires et la couverture permanente des sols ressortent comme des leviers efficaces favorisant le stockage du carbone. Bilan des enseignements tirés de cette expertise.

Dix actions ont été identifiées par l'INRA pour atténuer les émissions agricoles des trois principaux gaz à effet de serre, le CO_2, le N_2O et le CH_4 à horizon 2030. Ces mesures doivent être pragmatiques et sans pertes de rendement au-delà de 10 %. Cumulées, elles conduiraient, à cette même échéance, à une atténuation annuelle représentant 32 millions de tonnes équivalent CO_2. Elles ont aussi été appréhendées sous un angle économique. Celles qui visent à réduire les rejets de dioxyde de carbone et qui procurent en plus un gain financier pour l'agriculteur portent en premier lieu sur les économies d'énergie fossile et sur le stockage de carbone dans les sols et la biomasse.

Par rapport à la séquestration du carbone dans le sol, les mesures les plus efficaces en termes d'atténuation concernent le labour occasionnel (3,77 Mt équivalent CO_2 par an) et l'agroforesterie (1,53 Mt eqCO_2). L'impact du labour occasionnel reste toutefois à confirmer sur le long terme (*voir p. 17*). Ces pratiques ont un coût efficacité modéré, c'est-à-dire inférieur à 25 euros la tonne équivalent CO_2 évitée.

APPRÉHENDER L'ENSEMBLE DES BÉNÉFICES

Autres mesures à coût modéré favorisant les stocks de matières organiques : l'augmentation de la durée de vie des prairies temporaires (1,44 Mt eqCO_2 par an) et l'allongement de la durée du pâturage. Une mise à l'herbe prolongée aura en plus un effet sur les autres GES puisque la part des déjections émises en bâtiment, et donc les émissions de N_2O et CH_4 associées, seront réduites.

L'implantation des haies, les cultures intermédiaires, l'enherbement permanent en vigne et verger, les bandes enherbées (2,77 Mt eqCO_2 par an) ont un coût plus élevé, notamment en raison du temps de travail dédié. Ces actions se révèlent néanmoins bénéfiques sur d'autres aspects environnementaux comme la préservation de la qualité des eaux, de la qualité des sols et de la biodiversité, dont l'impact économique n'a pas été considéré dans cette étude.

PLAFONNEMENT DES STOCKS DE CARBONE À MOYEN TERME

Au total, les leviers relatifs au stockage du carbone dans le sol et la biomasse représentent 30 % du potentiel d'atténuation des émissions de GES, en incluant leurs effets sur les émissions de CH_4, de N_2O et la substitution d'énergies fossiles. Au-delà de l'échéance 2030 fixée par cette étude, les stocks de carbone tendront vers un plafond et, à terme, la fixation nette de CO_2 s'annulera. Cependant les autres effets d'atténuation, telles les économies de carburant, se poursuivront.

Avis d'expert

Sylvain Pellerin
Coordinateur de l'étude de l'INRA « *Dix mesures pour réduire les GES par les pratiques agricoles* »

C'est la première fois que des mesures ont été quantifiées en termes d'atténuation des émissions et de coûts de réalisation. Le stockage du carbone est favorisé par des mesures à coût modéré comme le non-labour ou l'agroforesterie.
Pour que ces pratiques soient mieux prises en compte dans leur dimension stockage de carbone, les méthodes d'inventaires doivent progresser. Actuellement, seul l'impact du changement d'affectation des sols est mesuré.

Estimation de l'impact des pratiques agricoles sur le stockage du carbone

Remarques :
- Une tonne de carbone stocké équivaut à environ 3,66 t de CO_2 captées.
- La surface agricole française représente 28,2 Mha.

Reconstitution des stocks de carbone
De multiples bénéfices à valoriser

Les pratiques favorisant le stockage de la matière organique ou préservant le capital existant dans les sols trouvent un meilleur écho sur le terrain si elles combinent plusieurs avantages environnementaux. Des outils et leviers existent pour faciliter leur mise en place. Explications.

Sandrine Leménager, chargée de mission Sol à la Direction générale des politiques agricole, agroalimentaire et des territoires (DGPAAT), ministère en charge de l'Agriculture.

Jean-Luc Fort, responsable du service agronomie et environnement à la Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes et animateur du Réseau mixte technologique Sols & Territoires

Le stockage du carbone dans le sol est un enjeu auquel les agriculteurs se montrent sensibles, sous l'angle des bénéfices identifiés pour l'activité biologique et la fertilité globale des sols. Le rôle de la matière organique dans le bilan climatique reste peu pris en compte. *« Le pas de temps est tellement important pour reconstituer le stock de carbone que ce seul enjeu ne suffit pas pour déclencher des mesures correctives dans les pratiques culturales,* complète Jean-Luc Fort, responsable du service agronomie et environnement à la Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes et animateur du RMT Sols & Territoires. *En revanche, les organismes techniques, les conseillers agricoles et les coopératives s'impliquent dans de nombreux programmes de développement et de sensibilisation axés sur les bénéfices environnementaux multiples. »*

Sandrine Leménager, chargée de mission Sol à la Direction générale des politiques agricole, agroalimentaire et des territoires (DGPAAT) du ministère chargé de l'Agriculture, identifie du côté de l'administration et des politiques publiques de nouvelles opportunités en faveur d'une meilleure prise en compte des enjeux autour du carbone des sols et du climat. Le calendrier en témoigne : *« 2015 est une année charnière. La France est le pays hôte de la 21e conférence climat, Paris Climat 2015 (Cop21). C'est aussi l'année internationale des sols. La PAC 2014-2020 donne une priorité forte aux mesures permettant d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre via le stockage du carbone dans les sols comme le maintien des prairies, la couverture des sols, les surfaces d'intérêt écologique… Enfin, la lutte contre l'artificialisation des terres agricoles et forestières contribue au maintien du service écosystémique de stockage du carbone rendu par les sols. »*

> « Le seul critère stockage de carbone ne suffit pas pour pousser une pratique culturale favorable. L'approche doit être multifonctionnelle. »

PRIVILÉGIER LES MESURES INCITATIVES

Approcher l'enjeu carbone via les pratiques agricoles favorisant son stockage est, pour Sandrine Leménager, le point d'entrée. Les pratiques identifiées concernent la couverture des sols, notamment les cultures intermédiaires, les bandes enherbées, l'apport de matière organique, le développement de l'agroforesterie ainsi que l'entretien des haies et boisements, *« les outils existent pour favoriser la mise en place de chacune,* insiste-t-elle, *notamment au sein de la PAC. Certains sont incitatifs, d'autres réglementaires, mais la tendance est bien à une meilleure prise en compte des enjeux sols et carbone dans les pratiques. »*

Les mesures agro-environnementales du second pilier de la PAC sont, pour Jean-Luc Fort, un levier pertinent car le point d'accroche repose sur les bénéfices environnementaux et les compensations économiques obtenues et non sur la seule gestion administrative d'une problématique. *« Il faut renverser la vapeur, valoriser les bénéfices agronomiques et économiques offerts par la meilleure prise en compte des aspects environnementaux. Les itinéraires techniques innovants combinant plusieurs objectifs environnementaux reçoivent un bon accueil dans la mesure où ils cumulent aussi des intérêts agronomiques et économiques. Dans notre région le développement de la luzerne comme culture peu consommatrice d'intrants et bénéfique dans la rotation avec, en parallèle, le maintien de l'élevage pour la valoriser est un parfait exemple de synergie positive. »*

> « Les pratiques qui favorisent le stockage du carbone rejoignent l'objectif du projet agro-écologique pour la France. »

Synergie qui peut même dépasser le secteur agricole. Parmi les actions retenues pour accroître la matière organique, Sandrine Leménager relève l'épandage des matières fertilisantes et des amendements organiques, *« à condition que leur innocuité et valeur agronomique soient démontrées. Les ministères de l'Agriculture et du Développement durable œuvrent en ce sens »,* rappelle-t-elle.

Repères

Mesures favorisant le stockage du carbone

Mesures	Leviers
Apport de matières organiques	Réflexions en cours sur les produits résiduaires organiques et politique actuelle de promotion de la matière organique d'origine agricole.
Cultures intermédiaires Bandes enherbées	Directive nitrates et ses textes d'application. PAC - verdissement : surfaces d'intérêt écologique
Enherbement des vignes et vergers	PAC, mesures agro-environnementales
Haies Agroforesterie	PAC, mesures agro-environnementales Art 23 du règlement de développement rural 2014-2020 PAC - verdissement : surfaces d'intérêt écologique
Maintien des prairies permanentes	PAC - verdissement : pas de retournement des prairies permanentes désignées comme sensibles et des autres surfaces si l'État membre le souhaite. Non-dépassement d'un taux de diminution des prairies permanentes de 5 % au niveau national.

Quantifier les évolutions à la parcelle

L'influence des actions mises en œuvre à l'échelle d'une parcelle sur l'évolution des stocks de carbone dans le sol peut être évaluée par des mesures directes et estimée à l'aide de modèles. Ces derniers aident les conseillers agricoles pour orienter les pratiques. Tour d'horizon des outils et normes disponibles.

Pour quantifier l'impact de la gestion d'une parcelle sur le stock de carbone présent dans le sol, des mesures directes peuvent être réalisées avant et après la mise en œuvre de nouvelles pratiques.

MESURES DIRECTES POUR ÉVALUER DES RÉSULTATS

Cette démarche d'évaluation par mesures directes exige des précautions essentielles (*voir encadré Avis d'expert*). Pour constater l'impact des changements de pratiques, cinq, voire dix ans d'attente sont nécessaires. Des méthodes analytiques peuvent être mises en œuvre pour évaluer de manière précoce l'évolution de la matière organique (*voir tableau ci-contre*). Afin d'anticiper l'effet des apports de matières organiques exogènes (lisier, fumier, compost…) sur le stock de carbone, des indices de biodégradabilité basés sur leur composition biochimique ont également été développés et normalisés, comme l'indice de stabilité de la matière organique (ex : NF XPU 44-162, 2009).

Évaluation de	Exemple de norme	Objectif
La dynamique des matières organiques	NF X31-516, 2007	Isoler les matières organiques particulaires (débris végétaux en cours de décomposition) des complexes organo-minéraux
La biomasse microbienne des sols	NF EN 14240-1 et -2, 2011	Estimer l'activité microbienne de dégradation des matières organiques
La respiration des sols	NF EN 16072, 2011	
Certaines activités enzymatiques	NF EN 23753-1 et -2, 2011	
Les vers de terre	NF EN 23611-1, 2011	Évaluer le nombre et la diversité des invertébrés impliqués dans la dynamique de la matière organique (ex : vers de terre, nématodes)
Les collemboles et les acariens	NF EN 23611-2, 2011	
Les enchytraéides	NF EN 23611-3, 2011	
Les nématodes	NF EN 23611-4, 2011	
La macrofaune totale	PR NF ISO 23611-5, 2010	

Avis d'expert

Annie Duparque
chargée de mission Agronomie à Agro-Transfert Ressources et Territoires et partenaire du RMT Sols et Territoires

Dynamique du carbone : trois points clés à respecter

« L'évaluation de la dynamique du carbone exige de définir une procédure d'échantillonnage pertinente. Les mesures successives doivent porter sur la même masse de terre et ne pas être biaisées par la forte hétérogénéité spatiale des teneurs en carbone organique rencontrée en parcelles agricoles.
Trois précautions sont à prendre : repérer les points de prélèvement dans la parcelle avec un GPS, et y revenir lors de la mesure suivante, cinq à sept ans plus tard ; bien raisonner la profondeur de prélèvement en fonction de la profondeur de travail du sol et la conserver d'une mesure à l'autre ; dans la mesure du possible, déterminer la densité apparente du sol sur la profondeur de prélèvement.
L'analyse des teneurs en carbone des échantillons préalablement séchés à l'air est pratiquée par un laboratoire. Le stock de carbone organique (en t/ha) peut alors être calculé par le produit de cette teneur et de la masse de terre concernée, estimée via la profondeur de prélèvement et la densité apparente. »

Chambre d'agriculture de l'Oise

L'évaluation de la dynamique du carbone des sols cultivés nécessite le suivi d'un protocole précis.

RECOURS À LA MODÉLISATION POUR ORIENTER LES PRATIQUES

La simulation d'un changement de pratiques est également réalisable grâce à des modèles comme le modèle AMG établi en France par l'INRA de Laon (02). Un outil d'aide à la décision, Simeos-AMG, intégrant ce modèle, a été développé par Agro-Transfert-RT, l'INRA et des partenaires du monde agricole. Utilisable pour le conseil agricole, il permet de simuler et de visualiser l'évolution prévisible du stock en carbone organique du sol à long terme (20, 30, 50 ans…) sous l'effet des pratiques agricoles (succession culturale, gestion des résidus, apports organiques, pratiques de cultures intermédiaires, travail du sol, irrigation) et en fonction des caractéristiques du sol et du climat. Des modèles spécifiques à l'Outre-Mer, comme l'application Web MorGwanik, développée pour la Guadeloupe, ont été conçus afin de prendre en compte les particularités des climats, systèmes de culture et types de sols ultramarins. L'outil Dia'Terre® de l'ADEME, utilisé dans le cadre des plans de performances énergétiques, permet quant à lui d'intégrer les sols dans les diagnostics gaz à effet de serre à l'échelle de l'exploitation.

Simeos-AMG, un outil de simulation utilisé pour le conseil agricole à différentes échelles

Système légumier en limon (rotation : pomme de terre/blé/pois de conserve/betterave/blé/carotte)

SYSTÈME ACTUEL
- Labour : 2 ans sur 3
- Prof. labour : 28 cm
- Engrais vert : 1 an sur 3

SCÉNARIO A
(Réduction des pertes de C)
- Suppression d'un labour (1 an sur 2)
- Réduction de la profondeur de labour à 22 cm

SCÉNARIO B
(Augmentation des restitutions humiques)
- Apport de 10 t/ha de compost de déchets verts/6 ans
- Engrais vert : 1 an sur 2

SCÉNARIO C
- Apport de 10 t/ha de compost de déchets verts/6 ans
- Suppression d'un labour et réduction de prof. de labour à 22 cm

Évolution de la teneur en carbone organique sur la couche travaillée

Source : Agro-Transfert RT, Duparque *et al*, 2011

Outils de mesure au niveau des territoires

Mesures directes, bases de données nationales, modélisation, etc. : des outils d'évaluation offrent la possibilité de suivre l'impact des politiques publiques et de prévoir l'évolution des stocks de carbone dans les sols.

L'effet de la modification des systèmes de cultures sur les stocks de carbone peut être évalué par des modèles à l'échelle de territoires agricoles.

Comme pour les parcelles, le suivi du stock de carbone des sols d'un territoire peut être réalisé à l'aide de mesures directes ou de modèles. Le suivi par mesures directes exige la mise en place de réseaux de prélèvements.

DES RÉSEAUX DE MESURES À L'ÉCHELLE NATIONALE

À l'échelle nationale, deux principaux réseaux, complémentaires dans leur conception, sont gérés dans le cadre du Gis Sol : le RMQS (Réseau de mesure de la qualité des sols) et la BDAT (Base de données d'analyse de terres).

■ Le RMQS repose sur le suivi de 2 200 sites d'observation, répartis selon une maille carrée de 16 km de côté sur l'ensemble du territoire. Ce réseau fournit des valeurs moyennes et représentatives de stocks de carbone pour les principales occupations (forêts, cultures, prairies permanentes…). Des analyses sont aussi réalisées pour caractériser des paramètres agronomiques, les niveaux de contamination et la biodiversité des sols. Une première campagne d'échantillonnage (2001-2011) a permis d'évaluer les stocks de carbone en métropole et aux Antilles. Une nouvelle campagne d'échantillonnage doit être mise en place à partir de 2015 afin d'identifier les évolutions. La totalité des échantillons prélevés sur les sites du RMQS est conservée au Conservatoire national d'échantillons de sols à l'INRA d'Orléans.

■ La BDAT est une base de données capitalisant les résultats des analyses de sols réalisées par des agriculteurs. La base de données regroupe près de deux millions d'échantillons prélevés depuis 1990. Elle a permis d'estimer que les sols agricoles échantillonnés avaient eu tendance à déstocker 6 MtC/an entre les périodes 1990-1995 et 1999-2004. Néanmoins, cette évolution est très variable spatialement et la généralisation à l'ensemble des sols agricoles français est accompagnée d'une forte incertitude liée à l'hétérogénéité dans le temps et dans l'espace des modes de prélèvements et des analyses.

D'autres réseaux d'observation intégrant des mesures du carbone des sols existent en France. Ainsi, le réseau Renecofor suit 102 sites forestiers en France métropolitaine. Les réseaux SOERE (Système d'observation et d'expérimentation sur le long terme pour la recherche en environnement) regroupent quant à eux des sites mis en place pour évaluer les impacts du climat et des pratiques sur le long terme.

ÉVALUER GRÂCE AUX MODÈLES

La mise en œuvre des réseaux d'observation est limitée par leur coût et leur durée. Ainsi, pour l'évaluation des politiques affectant la gestion des sols et les stocks de carbone, le recours à la modélisation est nécessaire pour compléter et extrapoler les mesures directes. Tel est le cas de méthodes développées par l'INRA, avec le Citepa, sur la base des données du GIS Sol, pour alimenter les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre.

D'autres outils sont développés pour être appliqués à l'échelle de territoires. L'outil Simeos-AMG a permis de mettre en œuvre le modèle AMG à l'échelle de territoires agricoles dans le Loiret et en Poitou-Charentes (*voir encadré*). Le projet ABC'Terre (Reacctif ADEME 2012) poursuit ces travaux et conduira aussi à la mise au point d'une méthode de calcul de bilan de gaz à effet de serre intégrant le bilan carbone des sols à l'échelle de territoires agricoles. Ce projet permettra également d'améliorer l'outil Climagri® de l'ADEME, utilisé dans les diagnostics gaz à effet de serre des plans climat-énergie territoriaux (PCET). ■

Avis d'expert

Olivier Scheurer
enseignant à l'Institut polytechnique LaSalle Beauvais et partenaire du RMT Sols et Territoires

Bilans d'émissions nettes de CO_2 par les sols cultivés sur les terres rouges de la Vienne, calculés à partir des évolutions simulées sur cinquante ans.

	Bilan (tC/ha/an)	Bilan (tC/ha/an)
Terres rouges - 86	- 0,05	0,01
Moyennement profondes	-0,10	-0,05
Peu profondes	0,07	0,13
Profondes	- 0,10	- 0,03
	Sans cultures intermédiaires	Avec cultures intermédiaires

La modélisation offre la possibilité d'estimer les effets de la modification des systèmes de cultures à l'échelle de petites régions agricoles

« Dans le cadre des travaux du RMT Sols et territoires [1], nous avons montré qu'il est possible d'appliquer le modèle AMG de dynamique du carbone dans les sols agricoles sur la base d'un inventaire spatialisé des combinaisons « sol, système de culture, teneur actuelle en carbone organique ». Cet inventaire mobilise des bases de données préexistantes : données Pac, référentiel régional pédologique (RRP), base de données d'analyse de terres. L'expertise agronomique locale reste néanmoins nécessaire pour combiner ces données. Le tableau ci-dessus illustre un exemple d'application en Poitou-Charentes (Vigot, 2012) : la mise en place de cultures intermédiaires permet de limiter les pertes de carbone, voire d'accroître les stocks selon le type de sol considéré. »

(1) www.sols-et-territoires.org

Améliorer et diffuser les références

Si des incertitudes restent à lever pour mieux prendre en compte le rôle du carbone des sols dans les bilans environnementaux, des outils se développent pour accompagner les filières agricoles et les collectivités.

L'intégration du critère sol dans les analyses de cycle de vie des produits alimentaires permettra à terme de mieux orienter les pratiques agricoles.

Les sols et le carbone qu'ils séquestrent sont liés à de nombreux enjeux environnementaux. Ils jouent un rôle majeur dans la régulation du climat mais aussi dans la préservation de la qualité des eaux et de l'air, la préservation de la fertilité des sols et le maintien de la biodiversité, tout particulièrement via la préservation, voire l'accroissement, des stocks de matières organiques.

Pour faciliter la prise en compte du carbone des sols dans les politiques nationales et territoriales, la réduction des incertitudes se révèle essentielle. Ainsi, les références nécessitent d'être approfondies pour mieux représenter la diversité des territoires et des usages des sols. Cela se fera notamment en poursuivant l'acquisition de nouvelles données expérimentales caractérisant les dynamiques du carbone sur le long terme, mais aussi par la mise en commun des données existantes. Des travaux importants sont à mener sur les sols forestiers, l'Outre-Mer et les milieux urbains. Dans une approche « climatique », ces travaux doivent intégrer l'ensemble des GES émis par les sols, en particulier le protoxyde d'azote (N_2O) issu de la dégradation des matières organiques et de la fertilisation des cultures.

PRENDRE EN COMPTE LES SOLS DANS LES OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION

Que ce soit à l'échelle de la parcelle agricole ou du territoire, des outils d'aide à la décision intégrant le carbone du sol se développent. Leur amélioration et leur diffusion permettront d'appuyer les agriculteurs, les conseillers agricoles et les collectivités dans leurs choix et leurs préconisations. Au niveau des filières de production, l'intégration du sol dans les analyses de cycles de vie des produits, notamment alimentaires ou biosourcés, permettrait à terme la prise en compte du carbone du sol dans les choix d'approvisionnement et de systèmes de production. Pour les sols forestiers et les sols urbains, ces outils sont à créer. Enfin, il ne s'agira pas de considérer les sols sous le seul aspect « carbone » mais aussi au regard de leurs autres rôles environnementaux.

Avis d'expert

Isabelle Feix
Expert national « sol » ADEME

La matière organique est le carburant de l'agro-écologie

L'agro-écologie remet l'agronomie au centre des pratiques agricoles. Le sol et les organismes qui y vivent, en sont l'un des moteurs. Les matières organiques constituent le carburant. Selon leur dégradabilité, ces matières organiques vont, à des degrés divers, apporter des nutriments aux plantes, contribuer à la stabilité des sols, au maintien de la réserve en eau, à la vie des organismes du sol et au bon enracinement des cultures. La bonne gestion de ce potentiel dans les sols est fondamentale pour l'évolution des systèmes de production. Un sol en bonne santé permettra de rationnaliser les apports de fertilisants, d'eau, voire de produits phytosanitaires, et de renforcer la vigueur des cultures.

Pour faciliter la mise en œuvre de l'agro-écologie, la recherche doit mettre l'accent sur les sols et œuvrer dans une logique de filière en lien avec les instituts techniques et les agriculteurs. Elle doit apporter la preuve que d'autres modèles de production durables, identifiés selon la nature des sols, peuvent être mis en place. Elle doit garantir la durabilité des systèmes favorables à l'accroissement ou à la préservation des stocks de carbone du sol (évaluation de l'ensemble des impacts environnementaux, économiques et sociaux), pour éviter, par exemple, que les bénéfices environnementaux obtenus via le stockage de carbone ne créent d'autres problèmes, comme la hausse des émissions de N_2O ou des quantités de produits phytosanitaires utilisées.

Principales références

- ADEME, AFOCEL, IDF, UCFF, INRA, 2008. La récolte raisonnée des rémanents. Collection Connaître et Agir de l'ADEME. 40 p.
- Agro-Transfert Ressources et Territoire (coord.) 2012. Gérer l'état organique des sols dans les exploitations agricoles.
- Arrouays D., Balesdent J., Germon JC., Jayet PA., Soussana JF., Stengel P., 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre, Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Synthèse du rapport d'expertise scientifique réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 33 p.
- Calvet R., Chenu C., Houot S. 2011. Les matières organiques des sols : rôles agronomiques et environnementaux. Éditions France Agricole. 347 p.
- Duparque, Annie, Vincent Tomis, Bruno Mary, Hubert Boizard, et Nathalie Damay. 2011. « Le bilan humique AMG, pour une démarche de conseil fondée sur des cas-types régionaux ». In : 10es rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre. GEMAS-COMIFER. Reims : 16 p
- GIS Sol. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp
- Pellerin S. *et al.* 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, Étude INRA-ADEME-MAAF-MEDDE.
- Meersmans J. *et al.* 2012. A high resolution map of French soil organic carbon. Agronomy for Sustainable Development, 32(4), 841-851.
- Landmann G., Nivet., C. (coord.) 2013. Projet Resobio. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Angers : ADEME, Paris : ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt - GIP Ecofor. Rapport final, 248 p.
- UE, 2013. Décision 529/2013/EU relative aux règles comptables concernant les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre résultant des activités liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie (UTCATF) et aux informations concernant les actions liées à ces activités.
- Vigot M., 2012. Le carbone organique des sols cultivés de Poitou-Charentes ; quantification et évolution des stocks. Chambre d'agriculture de Poitou-Charentes/RMT Sols et territoires. 24 p.

Remerciements

Aux contributeurs et relecteurs :

Véronique Antoni (MEDDE), Dominique Arrouays (INRA), Laurent Augusto (INRA), Marion Bardy (INRA), Marc Bardinal (Ademe), Eric Blanchart (IRD), Antonio Bispo (Ademe), Alain Bouthier (Arvalis-Institut du Végétal), Michel Brossard (IRD), Claire Chenu (AgroParisTech), Vincent Colomb (Ademe), Annie Duparque (Agro-Transfert RT), Isabelle Feix (Ademe), Christian Feuillet (MEDDE), Jean-Luc Fort (Chambre d'agriculture Poitou-Charentes), Chantal Gascuel (INRA), Camille Guellier (Ademe), Françoise Juille (INRA) Jérôme Labreuche (Arvalis-Institut du Végétal), Sandrine Leménager (MAAF), Joseph Lunet (MEDDE), Manuel Martin (INRA), Sarah Martin (Ademe), Dorothée Pageaud (MEDDE), Sylvain Pellerin (INRA), Caroline Rantien (Ademe), Olivier Scheurer (Institut Lasalle-Beauvais), Nicolas Saby (INRA), Marie-Françoise Slak (IGN), Audrey Trevisiol (Ademe), Vivescia.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie et du ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr.

Carbone organique des sols

L'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat.

Les terres agricoles et la forêt occupent plus de 80 % du territoire national et séquestrent actuellement 4 à 5 GtC (soit entre 15 et 18 Gt CO_2) dont plus des deux tiers dans les sols. Toute variation positive ou négative de ce stock influe sur les émissions nationales de gaz à effet de serre (GES), estimées à 0,5 Gt CO_2eq/an (valeur 2011). Les filières agricoles et forestières offrent aussi des solutions pour lutter contre le changement climatique en produisant des énergies renouvelables et en préservant ou en augmentant les stocks de carbone dans la biomasse et les sols. La gestion des matières organiques, principal réservoir de carbone dans les sols, est un déterminant majeur de la capacité des sols à produire des aliments et des matériaux, et à fournir d'autres services environnementaux comme la régulation du cycle de l'eau et de la qualité de l'air… Agir sur les stocks de carbone dans les sols, c'est aussi agir sur la qualité des sols et des milieux.

Cette brochure rappelle la place du carbone des sols dans l'atténuation du changement climatique en France, en s'appuyant sur les données issues du GIS Sol. Pour répondre à cet enjeu, elle présente les principaux leviers d'actions dans les secteurs agricoles et forestiers sur la base de travaux menés par l'INRA pour l'ADEME et les ministères en charge de l'agriculture et du développement durable. Un inventaire des outils d'évaluation, déclinés de la parcelle au territoire national permet aux gestionnaires et conseillers de mieux orienter les pratiques.

7886 | 3 000 ex. | ISBN 978-2-358-38-447-6 | Juin 2014 | Imprimé par Pure impression Certifications PEFC - ISO 9001 - ISO 14001 - imprim'vert

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec

ADEME
20, avenue du Grésillé - BP 90406
49004 Angers cedex 01

www.ademe.fr