Le programme GESSOL 2 : Impact des pratiques agricoles sur les matières organiques et les fonctions des sols

M. Bernoux(1)*, C. Chenu(2), E. Blanchart(1), T. Eglin(3), A. Bispo(3), M. Bardy(4) et D. King(5)

1) IRD, UMR Eco&Sols, Campus Montpellier-SupAgro, Bât. 12, 2 place Viala, 34060 Montpellier cedex 2, France
2) AgroParisTech, UMR Bioemco, Bât. EGER, Campus AgroParisTech Grignon, 78850 Thiverval Grignon, France
3) ADEME, Direction Productions et Energies Durables, Service Agriculture et Forêts, 20 avenue du Grésillé, BP 90406, 49004 Angers cedex 1, France
4) MEEDTL, CGDD/DRI/SR, Tour Voltaire, 92055 La Défense Cedex, France
5) INRA, UR 0272 Science du Sol, INRA Orléans, 2163 avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, 45075 Orléans Cedex 02, France

* Auteur correspondant : martial.bernoux@ird.fr

RÉSUMÉ

Il est admis de manière univoque que le caractère non renouvelable du patrimoine sol, à l'échelle des générations humaines, impose de préserver les sols et les services écosystémiques qu'ils rendent, tels que la production alimentaire et de biomasse, la régulation et le filtrage des eaux, l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, la conservation de la biodiversité. En 1998, le ministère en charge de l'environnement a mis en place le programme GESSOL (fonctions environnementales des sols - GEStion du patrimoine SOL). En France, GESSOL est le premier et le seul programme de recherche spécifiquement consacré aux sols et à leurs fonctions dans leur ensemble. Le deuxième appel à propositions de recherche, lancé en 2003, connu sous l'abrégé GESSOL-2, portait sur l'« impact des pratiques agricoles sur les sols et les transferts d'eau et de polluants vers les hydrosystèmes ». Les matières organiques du sol (MOS) se sont imposées comme le principal thème fédérateur des projets qui ont concerné, en particulier, l'axe de recherche sur « l'influence des pratiques agricoles sur la qualité des sols et les modalités d'une gestion durable ». Le programme GESSOL a ainsi financé 6 projets en lien avec les MOS : ces projets concernent les services dits de « régulation » : régulation des risques, régulation des maladies, régulation de l'érosion et régulation du climat. Dans ce numéro thématique d'Etude et Gestion des Sols, ces projets font l'objet d'articles détaillés qui en présentent les principaux résultats. La suite du programme GESSOL, initiée en 2008, ambitionne de replacer ce type de résultats dans la sphère humaine et sociale pour mieux mettre en valeur les nombreux services rendus par les sols grâce à la diversité de leurs fonctions.

Mots clés

Matière organique des sols, service écosystémique, programme de recherche, France, gestion des sols.

Reçu : septembre 2011 ; Accepté : septembre 2011

SUMMARY

THE PROGRAM GESSOL 2: IMPACT OF AGRICULTURAL PRACTICES ON ORGANIC MATTERS AND SOIL FUNCTIONS

It is accepted unequivocally, that the non-renewable soil heritage, on a scale of human generations, imposed to preserve soils and eco-system services they provide, such as food production and biomass, regulation and filtering water, mitigation and adaptation to climate change, conservation of biodiversity. In 1998, the Ministry for the Environment has set up the program GESSOL (acronym built from the words "gestion" and "sol", i.e. respectively management and soil", the full title of the programme being "Environmental functions of soils - Management of the soil heritage"). In France, GESSOL is the first and only program of research specifically devoted to soils and their functions as a whole. The second call for research proposals, launched in 2003, known as GESSOL-2, concerned the "impact of agricultural practices on soil and water, and transfers of pollutants to water systems". Among the project financed by GESSOL-2, soil organic matter (SOM) have emerged as the main unifying theme, in particular, when concerning the research axis on "the influence of agricultural practices on soil quality and modalities of sustainable management". The programme GESSOL-2 has funded six projects related to SOM and involving different regulation services concerning risk, disease, erosion, and climate. In this thematic issue of Etude et Gestion des Sols, those projects are subject to detailed articles presenting the main results. The next step of GESSOL, initiated in 2008, aims to put these results in relation with human and social aspect to better showcase the many services provided by soils through the diversity of their functions.

Key-words

Soil organic matter, ecosystem services, public research programme, France, soil management.

RESUMEN

EL PROGRAMA GESSOL 2: IMPACTO DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS SOBRE LAS MATERIAS ORGÁNICAS Y LAS FUNCIONES DE LOS SUELOS

Se admite de una manera univoca que el carácter no renovable del patrimonio suelo, a escala de las generaciones humanas, impone preservar los suelos y los servicios eco-sistémicos que rinden, como la producción alimentaria y de biomasa, la regulación y la filtración de las aguas, la atenuación y la adaptación al cambio climático, la conservación de la biodiversidad. En 1998, el ministerio en carga del medio ambiente desarrolló el programa GESSOL (funciones ambientales de los suelos - GEStión del patrimonio SOL (suelo)). En Francia, GESSOL está el primero y el solo programa de investigación específicamente dedicado a los suelos y a sus funciones en su globalidad. La segunda llamada a proposiciones de investigación, en 2003, conocida bajo compendio GESSOL-2, trató sobre "el impacto de las prácticas agrícolas sobre los suelos y las transferencias de agua y de contaminantes hacia los hidrosistemas". Las materias orgánicas de los suelos (MOS) se impusieron como el principal tema unificador de los proyectos que concernieron, en particular, el eje de investigación sobre "la influenza de las prácticas agrícolas sobre la calidad de los suelos y las modalidades de una gestión sostenible". El programa GESSOL financió así 6 proyectos en vínculos con las MOS: estos proyectos conciernen los servicios dichos de "regulación": regulación de los riesgos, regulación de las enfermedades, regulación de la erosión, y regulación del clima. En este número especial de Estudio y Gestión de los Suelos, estos proyectos hacen el objeto de artículos detallados que presentan los principales resultados. La continuación del programa GESSOL, empezado en 2008, quiere integrar este tipo de resultados a la esfera humana y social para poner mejor en valor los numerosos servicios dados por los suelos gracias a la diversidad de sus funciones.

Palabras clave

Materia orgánica de los suelos, servicios eco-sistémicos, programa de investigación, Francia, gestión de los suelos.

INTRODUCTION

Les sols sont le principal support de la production alimentaire et de biomasse et rendent donc un service indispensable qui fait partie des services écosystémiques tels que définis par l'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire, plus connu sous le terme anglais de Millenium Ecosystem Assessment (MEA). Si la fonction de production des terres agricoles, sylvicoles et de pâture est de plus en plus sollicitée du fait d'une pression démographique et de besoins sociétaux (notamment énergétiques) toujours croissants ; les autres services rendus par les sols, tels que régulation et filtrage des eaux, atténuation et adaptation au changement climatique, réservoir de biodiversité, doivent également être préservés voire exacerbés. Cette réflexion holistique s'est progressivement mise en place dès la fin des années 90 et le début des années 2000, notamment au niveau de l'Union Européenne. Ainsi, en 2006, la Commission Européenne a publié une « Stratégie thématique en faveur de la protection des sols » (COM(2006)231 final). Même si, depuis, l'Union Européenne n'a toujours pas validé une législation au niveau européen sur la protection des sols, les préoccupations sur la qualité des sols et des services qui leur sont associés sont plus que jamais d'actualité. En effet, le caractère non renouvelable du patrimoine sol à l'échelle des générations humaines est de plus en plus prégnant.

En 1998, conscient des pressions croissantes sur les sols et du manque de recherches coordonnées sur les fonctions environnementales des sols, le ministère en charge de l'environnement a mis en place le programme GESSOL (fonctions environnementales des sols - GEStion du patrimoine SOL). En France, GESSOL est le premier et le seul programme de recherche spécifiquement consacré aux sols, ayant pour ambition de considérer les fonctions du sol dans leur ensemble.

Après un 1er Appel à Proposition de Recherche (APR) en 1999, le ministère en charge de l'environnement lançait, en 2003, un deuxième APR sur les sols intitulé « Quel impact des pratiques agricoles sur les sols et les transferts d'eau et de polluants vers les hydrosystèmes », plus connu sous l'abrégé GESSOL-2. Ce programme ciblait particulièrement deux principaux axes de recherche :

- l'influence des pratiques agricoles sur la qualité des sols et les modalités d'une gestion durable (gestion des matières organiques, fonctionnements biologiques, méthodes de protection des sols, devenir des composés biotiques et abiotiques dans les sols) ;
- l'influence des pratiques agricoles et sylvicoles sur les transferts et la qualité des eaux souterraines.

Fin 2008, un colloque de restitution a été organisé et a permis de présenter aux chercheurs, aux décideurs politiques et aux gestionnaires les principaux résultats du premier axe, avec pour thème fédérateur les **Matières Organiques du Sol (MOS)**. Ce thème était en effet commun à la plupart des projets soumis et retenus lors de l'appel d'offres GESSOL-2.

LES MATIÈRES ORGANIQUES DES SOLS : AU CŒUR DE LA GESTION DURABLE DES FONCTIONS DES SOLS ET DES SERVICES QU'ILS RENDENT

Origine et devenir des matières organiques des sols

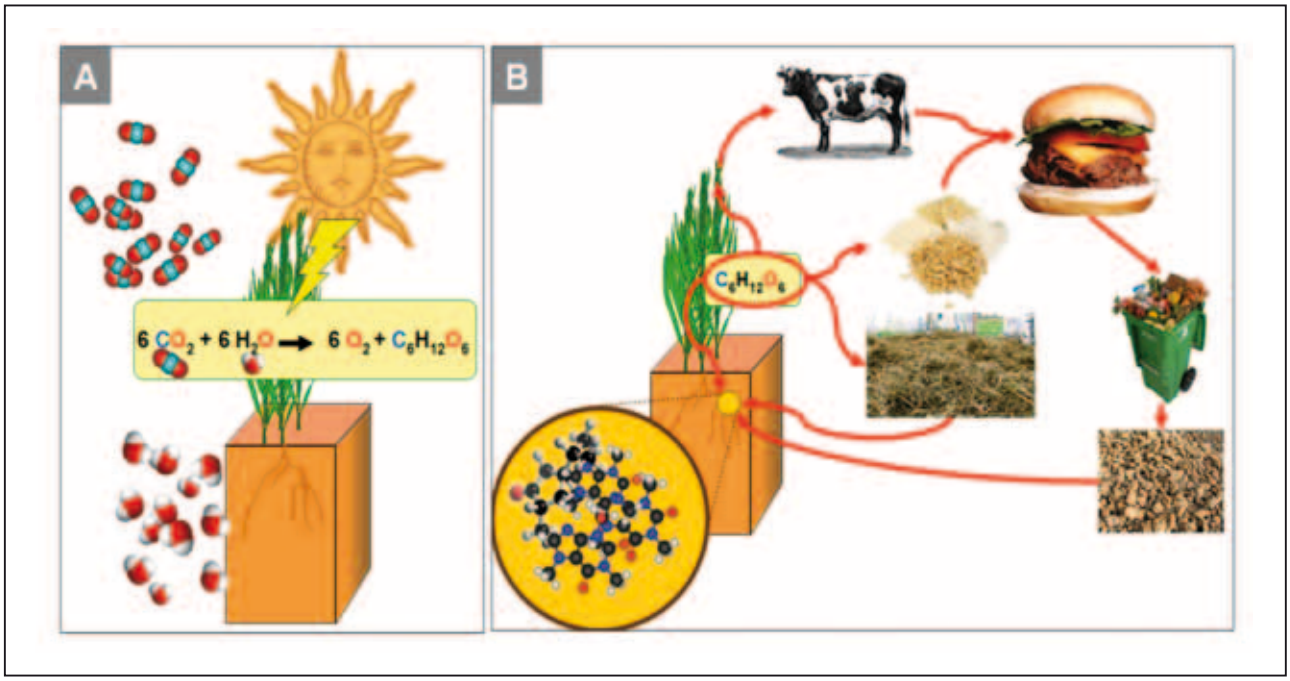
Les MOS, dans leur acception la plus large, correspondent à l'ensemble des matériaux organiques, vivants et morts, présents dans le sol, ce qui comprend à la fois les organismes vivants et les résidus décomposés et non décomposés. La matière organique du sol est donc un *continuum* de matières plus ou moins complexe en perpétuel renouvellement. Ce compartiment est alimenté en permanence par la mort des végétaux et des animaux, la chute de litière et aussi par les matières organiques issues du métabolisme des êtres vivants comme les exsudats racinaires. Des apports externes de matières organiques dites « exogènes » (MOE) car non produites directement sur la parcelle peuvent en fonction des pratiques constituer également des entrées. C'est notamment le cas des épandages de lisiers et de fumiers, des boues de station d'épuration ou encore des composts. Le terme humus a souvent été utilisé comme synonyme de la matière organique du sol, mais est moins général, ne correspondant qu'à une fraction transformée des matières organiques des sols ou à des horizons superficiels du sol sous forêt.

Dans la plupart des agroécosystèmes, l'essentiel des entrées se fait à la surface du sol (chute de feuilles, résidus de culture, apports exogènes dans les sols agricoles) ou dans les horizons superficiels où la densité racinaire et l'activité biologique sont les plus importantes. La principale source primaire de matière organique est donc la photosynthèse. Les pertes de MOS s'expliquent principalement par l'activité microbienne, responsable de leur biodégradation et minéralisation, mais aussi par le lessivage des matières organiques dissoutes, l'érosion hydrique et éolienne et les incendies. La quantité et la composition des MOS résultent donc d'un équilibre entre les apports et les pertes.

Les MOS sont composées de 4 éléments principaux : le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O) et l'azote (N). Le carbone représente plus de 50% de la masse des MOS et est le principal indicateur utilisé pour suivre la quantité de MOS. Les MOS sont composées également d'éléments secondaires comme le soufre (S), le phosphore (P), le potassium (K), le

Figure 1 - A : La photosynthèse est la source primaire de l'essentiel des MOS ; B : les différents « chemins » empruntés par la matière organique pour devenir des MOS.

Figure 1 - *A : Photosynthesis is the primary source of most soil organic matter (SOM), B: the different «paths» followed by organic matter to become SOM.*



calcium (Ca) et le magnésium (Mg), ainsi que d'oligo-éléments, tous essentiels à la nutrition des plantes.

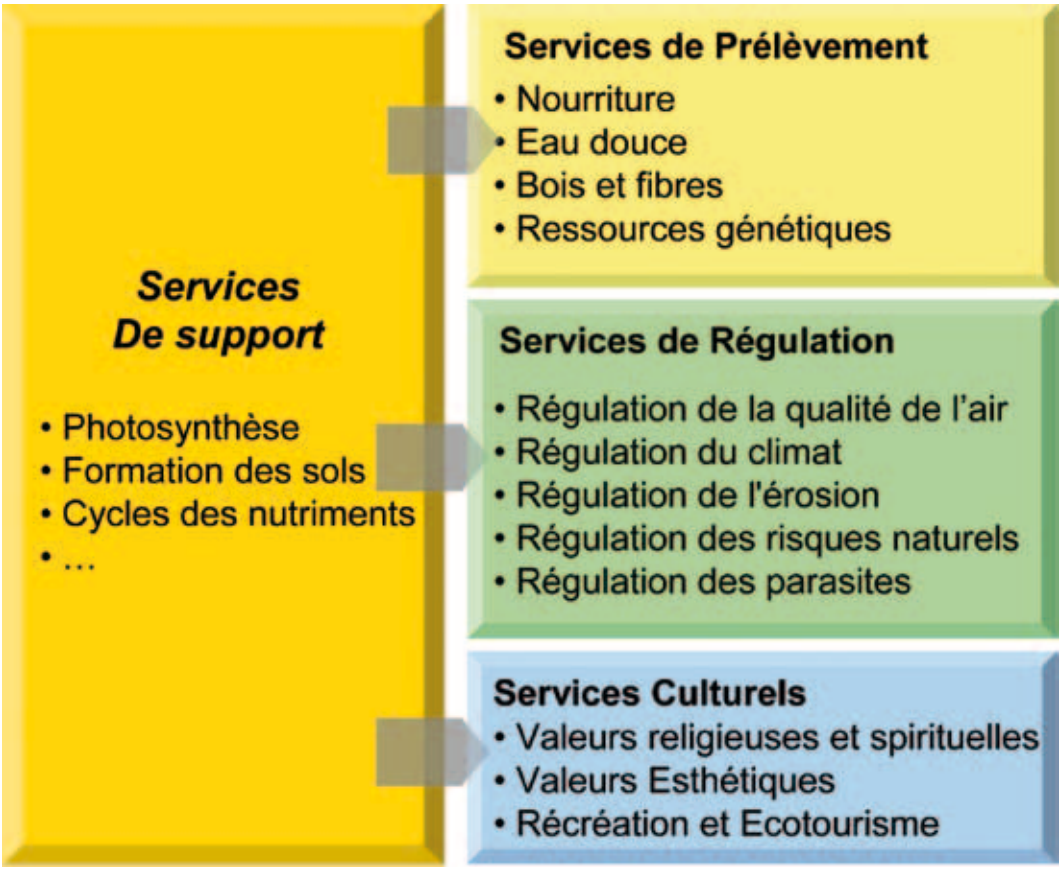
Du fait des entrées et des sorties multiples et variables au cours des saisons, les MOS sont en constante évolution en quantité comme en composition. La dynamique des matières organiques des sols peut être conceptualisée par différents compartiments cinétiques présentant des temps de résidence différents, qui vont du mois à l'année pour la fraction la plus labile, jusqu'à des dizaines, voire des milliers d'années pour les compartiments les plus stables. Les dynamiques des MOS sont influencées par des paramètres tels que le climat, la nature et la gestion des sols et des couverts végétaux (Lavelle *et al*., 1993). La pluviométrie et la température jouent un rôle majeur. Une humidité faible ou trop importante des sols se traduit par un blocage des processus biologiques de décomposition. Les activités microbiologiques sont quant à elles multipliées par un facteur 2 à 3 lorsque la température augmente de 10°C. Ainsi, certains milieux comme les tourbières, où l'eau est en excès, la température souvent froide et les pH très acides, accumulent naturellement plus de MOS que d'autres.

Rôles assurés par les matières organiques des sols, liens avec les services écosystémiques

Dans les sols, les MOS permettent le bon fonctionnement et la durabilité des agroécosystèmes :

- elles assurent le stockage et la mise à disposition, lorsque qu'elles sont minéralisées, des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin ;
- elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol ;
- elles ont un rôle central dans la structuration du sol et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement…). Elles contribuent ainsi à la perméabilité des sols, à leur aération et leur capacité de rétention en eau ;
- elles jouent un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la qualité de l'eau en raison de leur forte capacité de rétention des contaminants organiques (pesticides, hydrocarbures…) et minéraux (éléments traces métalliques). Mais elles peuvent aussi être des sources d'autres contaminants, comme les nitrates, les phosphates, les résidus médicamenteux ou encore les organismes pathogènes *via* notamment l'introduction de matières organiques exogènes telles que les boues de stations d'épuration ou les effluents d'élevage…) ;

Figure 2 - Les services écosystémiques selon la classification du MEA (2005).
Figure 2 - *Ecosystem services as classified by the MEA (2005).*



- elles influencent également la qualité de l'air par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre (CO_2, CH_4, N_2O).

Ces fonctions portées par la MOS peuvent être rattachées à des services que les agroécosystèmes assurent pour le fonctionnement et le bien-être des sociétés. Ces services dits écosystémiques ont été classifiés par le MEA (2005) en services de support, d'approvisionnement, de prélèvement, de régulation et culturels *(figure 2).*

Ainsi, une perte de MOS, surtout lorsque les teneurs initiales sont faibles, se traduit invariablement par la dégradation des sols et des fonctions associées, provoquant un cercle vicieux de dégradation *(figure 3).* Par exemple, un déclin des MOS peut induire une perte des qualités physiques du sol et de sa capacité à fournir des éléments nutritifs par minéralisation, ce qui peut entraîner un déclin de la production de biomasse par la photosynthèse et donc une réduction des apports organiques au sol, amplifiant ainsi la dégradation des fonctions du sol. Les MOS sont donc directement reliées à un ensemble de services, notamment ceux dits d'approvisionnement et de régulation. Leur maintien, voire leur renforcement, passe par une meilleure gestion des MOS.

Les agriculteurs et plus généralement les gestionnaires des terres disposent de leviers d'action pour piloter les fonctions des sols et les services écosystémiques *via* les matières organiques des sols : choix des espèces cultivées, implantation d'intercultures ou de couverts permanents, mode de gestion des praires, mode de gestion des résidus de culture, apports de matières organiques exogènes, modalités de travail du sol

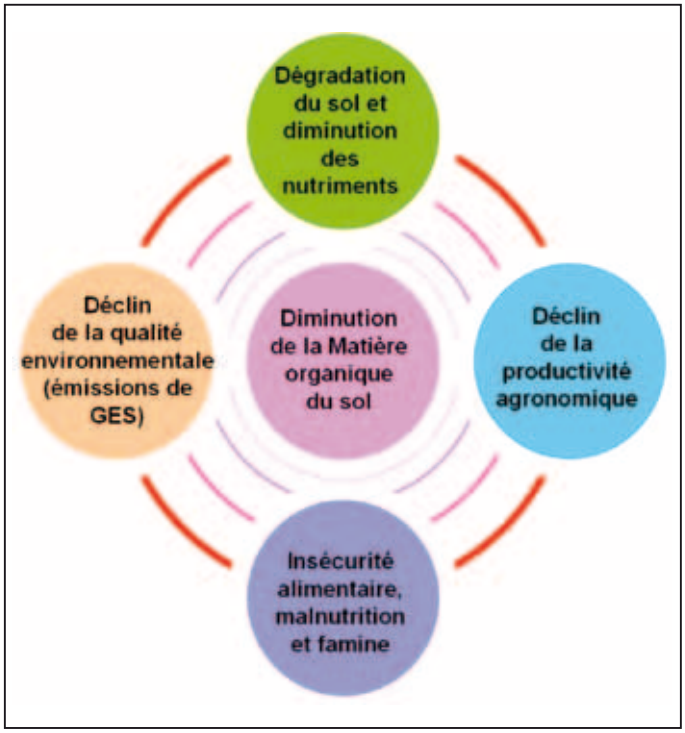
Quels besoins de recherche ?

Les MOS ont occupé et occupent encore une part importante des travaux de recherche au sein des sciences du sol. Sans vouloir être exhaustif, les besoins de recherche identifiés sont notamment les suivants :

- Connaître l'impact des modes de gestion des terres

Figure 3 : Le cercle vicieux de la perte de MOS et des fonctions du sol associées. D'après Lal (2004). http://maps.grida.no/go/graphic/the-vicious-cycle-of-depletion.

Figure 3 : *The vicious cycle of loss of soil organic matter and its associated soil functions. According to Lal (2004). http://maps.grida.no/go/graphic/the-vicious-cycle-of-depletion.*



(agricoles comme autres usages) sur le stockage de C et sur les quantités, qualités, localisation et dynamique des MOS.

- Identifier et prévoir les cinétiques et la réversibilité des changements d'usage et de pratique sur les stocks de C (en lien avec le climat et les types de sol).
- Etablir des relations quantitatives (mécanistes ou statistiques) entre la quantité/qualité des MOS et leurs contributions aux propriétés et fonctions des sols (ex : stabilité de la structure, réserve en eau, diversité et activité biologique).
- Evaluer les autres bénéfices du stockage de C dans les sols.

Il s'agit notamment pour cela d'identifier, parmi ce *continuum* que sont les MOS, une compartimentation relative à leurs rôles (toutes les MOS n'ont pas la même aptitude à retenir l'eau ou à libérer de l'azote) et/ou à leur dynamique (difficulté persistante à relier des compartiments cinétiques à des fractions que l'on sait isoler chimiquement ou physiquement). L'objectif à terme est de proposer aux utilisateurs des modèles simplifiés et des indicateurs fiables de gestion des MOS.

Le développement de telles relations ou d'indicateurs est nécessaire au plan opérationnel afin de servir de base à toute réglementation concernant les sols (ex : directive cadre) ou pour des évaluations environnementales dans lesquelles les sols sont actuellement très mal pris en compte (ex : analyses de cycle de vie, bilans carbone). Le programme GESSOL a soutenu plusieurs projets de recherche qui avaient pour objectif de répondre à ces questions.

GESSOL 2 : DES PROJETS DE RECHERCHE POUR AIDER À DÉFINIR UNE GESTION DURABLE DES MOS

Dans le cadre de l'APR GESSOL-2, le programme GESSOL a ainsi financé 6 projets en lien avec les MOS *(tableau 1).* Ces projets concernent les services dits de « régulation » : régulation des risques, régulation des maladies, régulation de l'érosion, régulation du climat *(figure 2)*. Ils intègrent également un *continuum* d'échelles allant de l'échelle moléculaire à l'échelle de la région voire du pays, en passant par la rhizosphère, la parcelle et le bassin versant. L'ensemble de ces projets permet ainsi d'éclairer sur l'influence des différentes pratiques agricoles sur les flux, les stocks et la qualité des MO, et *in fine* les services rendus par les agroécosystèmes étudiés.

Ces projets étudient des modes d'occupation et de gestion des sols qui sont fréquents dans le paysage agricole français et qui ont des effets majeurs sur la nature des restitutions organiques ainsi que sur les services rendus directement ou indirectement par les sols.

Attard *et al.* (2011) étudient l'impact du travail du sol sur la nitrification et la dénitrification, qui sont des processus affectant directement la lixiviation des nitrates et les émissions de N_2O, puissant gaz à effet de serre ayant un Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) d'environ 300 fois plus fort que le CO_2. Les résultats confirment le potentiel élevé des prairies et des cultures gérées en semis direct à émettre du N_2O du fait de la concentration des MOS et de la présence de bactéries dénitrifiantes dans les horizons superficiels du sol.

Le stockage de carbone, et donc au-delà le risque climatique (flux de GES), est également abordé par les travaux de Balesdent *et al.* (2011). Les plantes sont une source de matière organique tout au cours de leur croissance *via* les exsudats racinaires, et à la fin du cycle cultural *via* les litières foliaires et racinaires. Ces dépôts influent sur le stock de C et l'activité microbienne. Ainsi, selon le type de dépôt et sa composition, il peut se produire aussi bien un enrichissement en C du sol (incorporation dans le stock de MOS) qu'a contrario une minéralisation accrue de la MOS par la stimulation de

Tableau 1 : Projets soutenus dans le cadre de l'appel à projets de recherche GESSOL-2.
Table 1 : *Projects supported under the call for research projects GESSOL-2.*

Responsable(s) scientifique(s)	Projet de l'APR GESSOL-2	Références
Sylvie RECOUS (INRA) et Xavier LE ROUX (CNRS)	**COSMOFLUX** : Impacts de changements d'occupation et de gestion des sols, sur la dynamique des matières organiques, les communautés microbiennes et les flux de carbone et d'azote.	Attard *et al.* (2011), Recous et Le Roux, coord. (2008)
Jérôme BALESDENT (INRA)	**RACINE-C :** Evaluation (caractérisation, quantification, potentiel) de la source racinaire de carbone pour la gestion et la modélisation des matières organiques des sols	Balesdent *et al.* (2011); Balesdent, coord (2008)
Emmanuel DOELSCH (CIRAD)	Recyclage agricole des déchets organiques dans les sols tropicaux (Ile de La Réunion) : quel impact sur les transferts d'éléments traces métalliques ?	Doelsch *et al.* (2011), Doelsch, coord (2008)
Jean-Marcel DORIOZ (INRA)	**PASTOR :** Pratiques pastorales et qualité microbiologique des eaux à l'échelle du bassin versant: rôle des facteurs pédoclimatiques et hydrométéorologiques dans la survie, l'état physiologique et le transfert des populations de bactéries fécales bovines	Dorioz *et al.* (2011), Dorioz, coord (2008)
Claire CHENU (AgroParisTech)	**MOST :** Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure des sols sous l'effet de la gestion organique des sols	Chenu *et al.* (2011), Chenu, coord. (2008)
Guy RICHARD (INRA)	**DST :** Dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement: impact, prévision, prévention, suivi, cartographie	Roger-Estrade *et al.* (2011), Richard, coord. (2008)

la biomasse microbienne rhizosphérique (ce que l'on appelle le « priming effect ») conduisant à un efflux supplémentaire de CO_2. Ces mécanismes sont encore mal compris et insuffisamment pris en compte dans les modèles qui servent à la prédiction à long terme de la dynamique des MOS. Balesdent *et al.* explorent l'importance de la rhizodéposition, et montrent comment des recherches *a priori* très fondamentales sur les processus sont indispensables à une meilleure compréhension de la prédiction des flux de C sur le long terme.

Les flux de MO exogène (MOE) lorsqu'ils sont associés à des communautés microbiennes potentiellement pathogènes doivent être maîtrisés. Au niveau du paysage, la place de l'élevage dans l'espace géographique n'est pas anodine, et peut avoir des répercussions importantes, notamment sur la santé humaine, et cela bien au-delà de la parcelle. Dorioz *et al.* (2011) démontrent ainsi que la gestion des troupeaux et de leur excrétion est un enjeu en termes de qualité des eaux.

Les risques liés au recyclage des MOE peuvent également être d'origine non-biologique. Ainsi, l'apport de déchets organiques plus ou moins riches en éléments traces métalliques (ETM), peut affecter les fonctions des sols, d'autant plus lorsque cela concerne des sols dont les teneurs en ETM sont déjà naturellement élevées, comme c'est le cas sur l'île de la Réunion. Les travaux de Doelsch *et al.* (2011) montrent que l'épandage de lisier de porc riche en cuivre (Cu) et zinc (Zn), ne se traduit pas par un lessivage de ces éléments dans les eaux de drainage. La fonction de filtration des eaux n'est donc pas affectée. Toutefois, ces éléments sont immobilisés dans les premiers centimètres du sol. Certains usages agricoles peuvent donc être à risque, par exemple la production de tubercules, ou la mise en œuvre de pratiques favorisant une érosion des horizons superficiels de ces sols riches en ETM.

Les MOS jouent également sur les propriétés physiques du sol et déterminent en partie leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Chenu *et al.* (2008, 2011) ont travaillé à la mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols. A partir d'une base de données constituée dans le cadre du projet, des relations ont été développées pour relier la stabilité de la structure à différents paramètres du statut organique des sols (la teneur en carbone étant d'ailleurs un des indicateurs les plus prometteurs). Parallèlement, les essais de terrain mis

en place dans le cadre du programme ou issus d'autres projets comparant différents systèmes de culture modulant les formes et les quantités de matière organique (ex : déchets, résidus, plantes de couverture, non labour) ont permis de proposer un modèle (CANTIS - Stab) reliant les apports de matières organique à l'activité microbiologique des sols et à la stabilité de la structure.

Si les MOS jouent sur les propriétés physiques du sol, les travaux de Roger-Estrade *et al.* (2011) rappellent que la gestion des MOS implique aussi des opérations et des passages d'engins qui ont un impact direct sur ces propriétés. Roger-Estrade *et al.* (2011) explorent la dégradation des sols liée au tassement et proposent une carte nationale des risques de tassement des sols ainsi qu'un système d'avertissement agricole basé sur la prévision à 5 jours de la teneur en eau du sol.

Ces différents travaux permettent d'avoir une vision très diversifiée et enrichie des modes d'occupation et de gestion des sols, et de leur impact sur les MOS et les fonctions des sols associées. L'ensemble de ces travaux est détaillé dans les articles qui composent ce numéro spécial. Les résultats scientifiques des différents projets y sont non seulement présentés, mais aussi expliqués en termes de conséquences opérationnelles pour ceux qui ont en charge la gestion des sols.

Il convient également de souligner que les résultats de ces projets ont alimenté les réflexions et la synthèse publiée en 2008 par le programme GESSOL (Citeau *et al.*, 2008).

PERSPECTIVES : LES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES AU CŒUR DE GESSOL 3

Aujourd'hui, il apparaît clairement que les résultats « biotechniques », obtenus jusqu'alors par les précédents projets financés par GESSOL, ne suffisent pas pour mettre en œuvre des pratiques durables de gestion multifonctionnelle des sols. Il s'agit de les replacer dans la sphère humaine et sociale : ce n'est pas parce qu'une solution est bonne qu'elle sera spontanément adoptée par l'ensemble d'une communauté ! Il est donc important de comprendre les déterminants de l'appropriation des améliorations techniques par les utilisateurs et les modalités d'une meilleure prise en compte de la multifonctionnalité des sols. Forts de cette réflexion, les nouveaux APR GESSOL publiés en 2008 et 2009 ont permis de démarrer 23 projets qui intègrent cette vision plus globale, mêlant aux approches biophysiques classiques les approches portées par les sciences économiques, juridiques, humaines et sociales. Ainsi, cette troisième phase du programme a pour ambition de mettre en valeur les nombreux services rendus par les sols grâce à la diversité de leurs fonctions. Les trois axes suivants ont été retenus :

- observer et évaluer les fonctions du sol et les services rendus à la société,
- préserver le patrimoine « sol » et sensibiliser les acteurs,
- améliorer et restaurer les sols pour une ou plusieurs de leurs fonctions.

Avec cette démarche innovante, le programme GESSOL cherche à mettre en évidence des mécanismes sociaux et économiques à l'origine de la faible prise en compte des sols et de proposer des alternatives pour mieux coordonner les acteurs dans une compétition croissante pour l'usage des sols et de leurs fonctions, autant pour arbitrer entre ces usages que pour garantir la pérennité des sols et de leurs fonctions. Dans le cadre des travaux sur les MOS des sols, les nouvelles recherches financées visent autant à caractériser la matière organique des sols par des techniques rapides (par exemple la Spectroscopie dans le Proche InfraRouge, SPIR) qu'à mieux évaluer économiquement les services portés par les sols afin notamment de pouvoir intégrer à terme le sol dans les circuits financiers (ex : futurs marchés carbone) ou dans les évaluations environnementales (ex : analyses de cycle de vie).

En effet, une certitude demeure : la préservation de ce capital non renouvelable qu'est le capital sol passe notamment par un meilleur pilotage des MOS et des fonctions qui y sont liées. Un des principaux défis actuels est de mettre en place des systèmes de culture permettant à la fois une économie des intrants chimiques par valorisation des ressources naturelles et une amélioration des pratiques pour accroître la productivité ; ceci en diminuant la déforestation et la dégradation des sols et surtout en prenant en compte l'ensemble des impacts environnementaux (érosion, lixiviation, pertes en biodiversité, gaz à effet de serre, etc.). La MOS est donc au cœur de cette révolution doublement verte.

BIBLIOGRAPHIE

Nota : l'ensemble des documents relatifs au programme GESSOL listés ci-dessous sont disponibles sur le site Internet du programme : www.gessol.fr, ouvert en octobre 2011.

Attard E., Le Roux X., Laurent F., Chabbi A., Nicolardot B., et Recous S., 2011 - Impacts de changements d'occupation et de gestion des sols sur la dynamique des matières organiques, les communautés microbiennes et les flux de carbone et d'azote. Etude et Gestion des Sols, 18 (3), pp. 147-159.

Balesdent J., coord., 2008 - Projet Racine –C : La source racinaire de carbone pour la gestion et la modélisation des matières organiques des sols. Rapport final de contrat GESSOL - MEDDTL, Aix-en-Provence, INRA, 34 p.

Balesdent J., Derrien D., Fontaine S., Kirman S., Klumpp K., Loiseau P., Marol C., Nguyen C., Péan M., Personeni E., et Robin C., 2011 - Contribution de

la rhizodéposition aux matières organiques du sol, quelques implications pour la modélisation de la dynamique du carbone. Etude et Gestion des Sols, 18 (3), pp. 201-216.

Chenu C., coord., 2008 - Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols « MOST » (matières organiques et structure des sols. Rapport final de contrat GESSOL - MEDDTL, Grignon, INRA/AgroParisTEch.

Chenu C., Abiven S., Amblès A., Annabi M., Barray S., Bertrand M., Bureau F., Cosentino D., Darboux F., Duval O., Fourrié L., Francou C., Houot S., Jolivet C., Laval K., Le Bissonnais Y., Lemée L., Menasseri S., Pétraud J.-P., Verbeque B., 2011 - Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols. Etude et Gestion des Sols, 18 (3), pp. 161-174

Citeau L., Bispo A., Bardy M., King D., coord., 2008 - Gestion durable des sols. Quae Editions 320 p.

Commission Européenne, 2006 - COM (2006) 231 Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen, au comité économique et social européen et au comité des régions - Stratégie thématique pour la protection des sols, 13 p.

Doelsch E., coord., 2008 - Recyclage agricole des déchets organiques dans les sols tropicaux (île de La Réunion) : quel impact sur les transferts d'éléments traces métalliques ? Etude et Gestion des sols. Rapport de fin de contrat GESSOL - ADEME, 85 p.

Doelsch E., Basile Doelsch I., Bottero J.Y., Cazevieille P., Chevassus-Rosset C., Feder F., Garnier J.M., Gaudet J.P., Legros S., Levard C., Masion A., Moussard G., Rose J., Saint Macary H., 2011 - Recyclage agricole des décehts organiques dans les sols tropicaux (île de La Réunion) : quel impact sur les transferts d'éléments traces métalliques ? Etude et Gestion des Sols, 18 (3), pp. 175-186.

Dorioz J.M., coord., 2008 - Pratiques pastorales et qualité microbiologiques des eaux à l'échelle du bassin versant : rôle des facteurs pédoclimatiques et hydrométéorologiques dans la survie, l'état physiologique et le transfert des populations de bactéries fécales bovines. Rapport final de contrat GESSOL - MEDDTL, Thonon-les-Bains, INRA, 122 p.

Dorioz J.M., Quetin Ph. , Prigent-Combaret C., Trevisan D., 2011 - Rôle des facteurs édaphiques et hydrométéorologiques dans la survie et le transfert à l'échelle bassin versant, de bactéries fécales bovines. Etude et Gestion des Sols, 18 (3), pp. 217-236

Lal R., 2004 - Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Nature, 304, 5677, pp. 1623-1627.

Lavelle P., Blanchart E., Martin A., Martin S., Barois I., Toutain F., Spain A.V. et Schaefer R., 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems. Application to soils of the humid tropics. Biotropica, 25, pp. 130-150.

Recous S., Le Roux X., coord., 2008 - Modifications des pratiques agricoles et impacts environnementaux : vers un meilleur couplage de la dynamique des communautés microbiennes du sol, des matières organiques du sol et des flux de carbone et d'azote dans les sols (Cosmos-Flux). Rapport final de contrat GESSOL - MEDDTL, Laon, INRA, 90 p.

Richard G., coord., 2008 - Le projet GESSOL DST : Dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement. Rapport final de contrat GESSOL - MEDDTL, 50 p.

Roger-Estrade J., Adamiade V. , Arrouays D., Baranger E., Bartoli M. , Boizard H., Brethes A., Brisson N., Capowiez Y., Chanzy A., Chaplain V., Cousin I., Cosenza P., Cui K., Cui Y.-J., Debuisson S., Defossez P., Gerard F., Jayet P.-A., Labreuche J., Le Bas C., Lefevre Y. , Leonard J., Leveque E., Leveque F., Mary B., Mumen M., Ranger J., Tabbagh A., Tabbagh J., Tang A.-M., Tessier D., Richard G., 2011 - Dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement : principaux résultats du projet GESSOL-ADD DST. Etude et Gestion des Sols, 18, 3, pp. 187-199