Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sol

En quoi un sol pauvre est-il pauvre et en quoi un sol riche est-il riche ? Cette question est un peu… terre à terre, elle est surtout beaucoup plus simple à poser qu'à solutionner. Trop de paramètres interfèrent pour affirmer qu'une terre est pauvre ou ne l'est pas. La complexité du sujet a donné l'idée au pôle agronomie des chambres d'agriculture de Bretagne de revisiter les connaissances sur le sol, sa composition et sur les interactions entre les composants de ce sol qui en déterminent la qualité.
D'où ce dossier très dense à la manière d'une leçon de choses à destination de tous ceux qui, au quotidien, ont le sol pour allié.

Dossier réalisé par Bertrand Decoopman, Daniel Hanocq et Djilali Heddadj, pour le pôle agronomie-productions végétales des chambres d'agriculture de Bretagne
Pour Terra : Audrey Dibet
Composition Jeanine Deshoux

Liste des abréviations en page 33.

JC Gutner

TERRA / 15 novembre 2013

La matière organique, pivot de la fertilité

L'humus a toujours été considéré comme un pivot de la fertilité des sols. Les agronomes des années 1950-1970 (Henin, Monnier, Boiffin...) ont mis en place des données qui sont encore d'actualité, même si les mesures de laboratoire et aux champs s'affinant, la compréhension des mécanismes du sol continue de progresser.

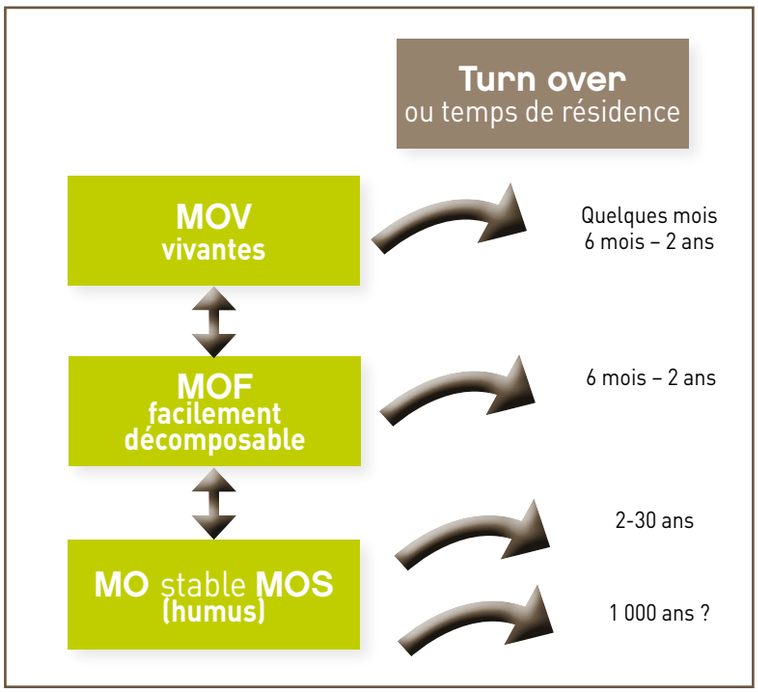
Le taux de matière organique (MO) du sol, analysé en laboratoire, est obtenu en quantifiant le carbone (C) par la méthode Anne (la plus courante) puis en multipliant le chiffre issu de l'analyse par un coefficient (1.72 ou 2 selon les laboratoires).
La raison de ce facteur multiplicateur est due à la composition des molécules de cette MO où le carbone mesuré (C) ne représente qu'une fraction de la matière organique (58 % ou 50 % selon le coefficient appliqué), le reste étant les autres constituants de cette MO soit de l'oxygène, de l'azote...

Quatre groupes de matière organique

Les nouvelles méthodes de laboratoire (tamisage granulométrique, microscope à balayage...) ont permis de différentier plusieurs constituants de cette MO qui n'apparaissent pas avec l'analyse du carbone total (méthode Anne) encore pratiquée couramment en analyse de sol. Ces constituants organiques se répartissent en 3 groupes :

→ **Les matières organiques vivantes (MOV) :** elles peuvent être d'origine animale, végétale, fongique et microbienne et englobent les racines, la faune du sol et la microflore. Cette MOV constitue 1 à 3 % de la MO totale du sol. C'est le moteur du sol ! Il entretien des interactions directes indispensables avec les racines de nos cultures (mycorhizes, inoculum...). C'est lui qui par son activité transforme les MO fraîches et fait évoluer l'humus, mais a le plus d'impact sur la structure le sol.

→ **Les matières organiques fraiches (MOF) :** elles sont d'origine végétale (débris végétaux incorporés, racines...), animale (déjections, cadavres...), fongique et microbienne (cadavres, exsudats).
Elles constituent 1 à 2 % de la MO totale du sol. Associées aux produits issus de la décomposition des MOV, elles constituent les matières organiques facilement décomposables.



Source : R. Chaussod et al.,2001, Inra Dijon

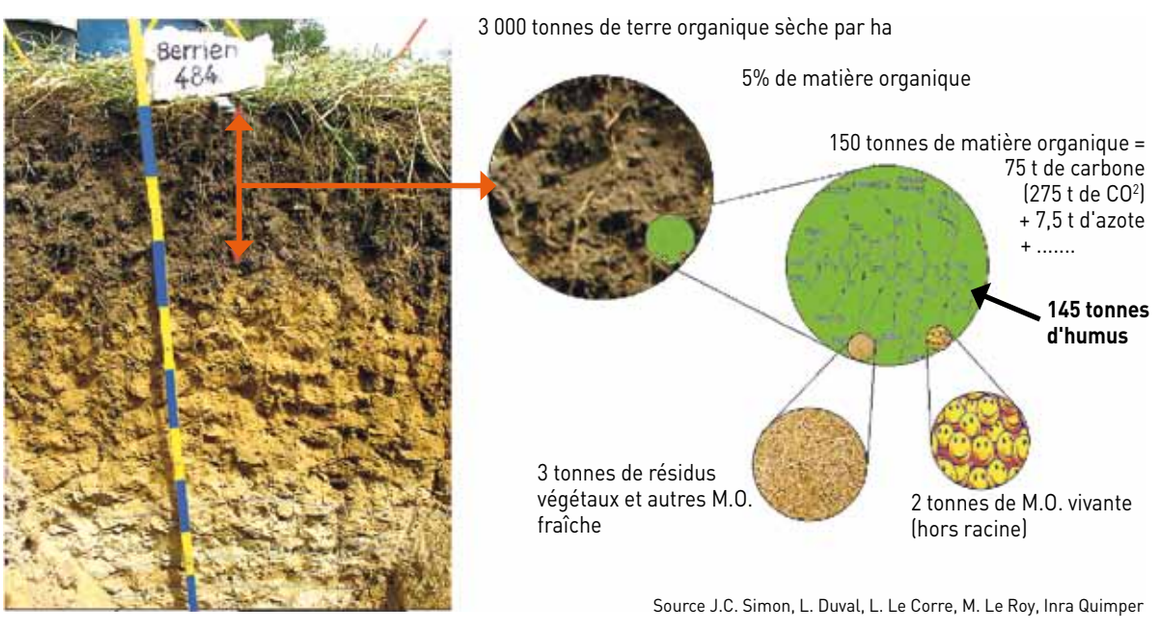
Le nombre d'organismes vivants est très élevé dans un sol

quantité présente dans 1m²

300 milliards de bactéries	→ 100 fois la population humaine sur terre
10 milliards de protozoaires	→ 3 fois la population humaine sur terre
100 millions d'algues microscopiques	→ 2 fois la population française
15 000 km de filaments de champignons	→ le diamètre de la terre
50 millions de nématodes	→ environ la population française
5 000 insectes	
500 mollusques	
100 vers de terre	

Source : R. Chaussod

Composition de l'horizon de surface d'un sol de culture



Source J.C. Simon, L. Duval, L. Le Corre, M. Le Roy, Inra Quimper

des sols

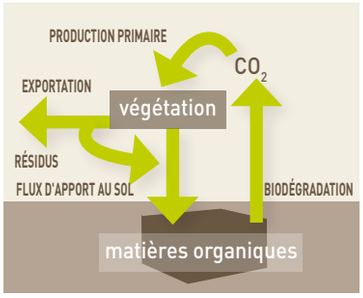
→ **Des matières organiques en cours de stabilisation (MOS) :** elles sont constituées de matières en cours de décomposition, plus ou moins liées aux fractions minérales du sol. La durée de vie (turn over) de ce compartiment qui évolue sous l'action du compartiment vivant, est de 20 à 30 ans. Il constitue 20 à 50 % de la MO totale du sol.

→ **Des matières organiques très stabilisées :** elles sont constituées de molécules longues et complexes très liées aux particules minérales du sol et généralement appelé humus, avec un turn over qui peut être très long (plusieurs centaines d'années). Il constitue généralement plus de 50 % de la MO totale du sol.

Les taux de MO élevés observés (5 à 8 %) dans les terres du centre/sud Bretagne sont dus à la présence de particules organiques issues de la végétation antérieure de lande et protégées de la décomposition par des particules minérales (fer et aluminium).

Il est difficile de dire à ce jour que la fertilité d'un sol repose plus sur tel ou tel compartiment, mais tous les agronomes s'accordent pour mettre en avant le rôle stratégique du compartiment vivant, sur les diverses propriétés du sol y compris physiques.

→ Les matières organiques sont perpétuellement renouvelées



Source : J Balesdant mai 2000

Une carte des sols pour la Bretagne

Les sols sont essentiels pour la production agricole, mais aussi la qualité de l'environnement. Pour prendre en compte les potentialités et leurs contraintes dans la gestion des territoires, encore faut-il les connaître ! C'est l'objectif du programme Sols de Bretagne, qui vise à acquérir, diffuser et valoriser les données sur les sols.

La connaissance des sols est un enjeu fort pour l'agriculture, mais aussi l'aménagement du territoire et la gestion de l'environnement. Le programme régional Sols de Bretagne a pour objectif de connaître les sols pour mieux les gérer. Il décline deux programmes nationaux coordonnés par le groupement d'intérêt scientifique Sols (GIS Sol) : le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols - RMQS - (volet surveillance) et Inventaire, Gestion et Conservation des Sols - IGCS - (volet cartographique).

Un réseau et une carte

Les travaux menés par Agrocampus Ouest (UMR SAS), l'université de Rennes 1 (UMR Ecobio) et les chambres d'agriculture de Bretagne avec le soutien de l'Etat, de la région, des départements bretons et de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ont conduit à la mise en place d'un réseau de 109 sites qui seront échantillonnés tous les 10 ans environ (RMQS), et à la réalisation d'une carte des sols au 1/250 000 exhaustive et homogène sur toute la région (IGCS). Une action spécifique sur la biodiversité des sols, le RMQS Biodiv, a permis d'étudier la diversité des organismes du sol sur les 109 sites du RMQS.

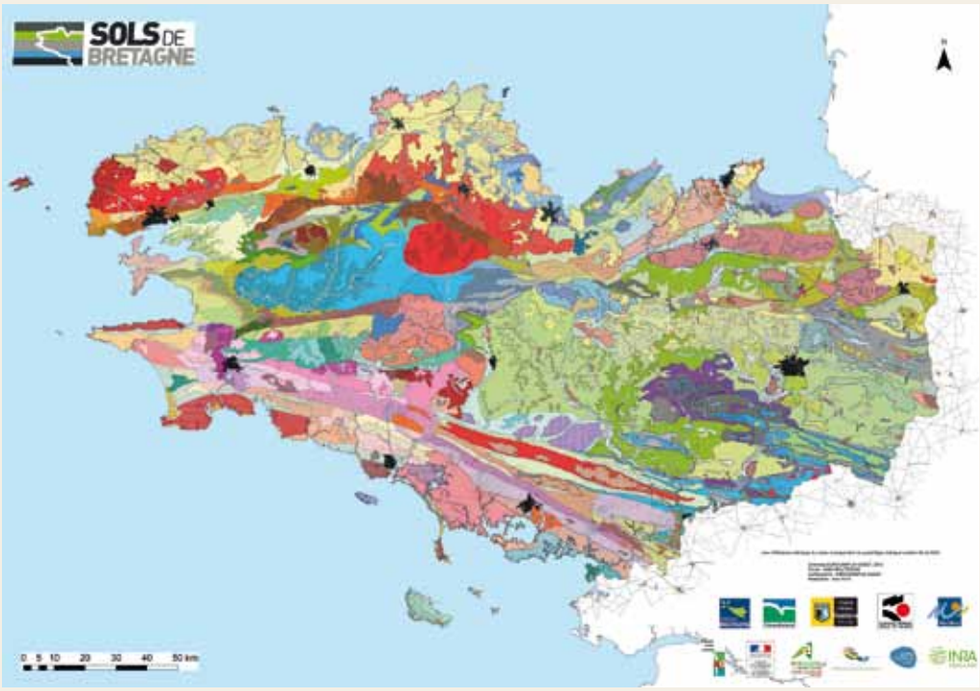
Grâce à 3 années de terrain et aux documents préexistants, 380 types de sols ont été identifiés dans le volet cartographique à l'échelle 1/250 000 et distribués, en 445 unités cartographiques. Le format numérique des cartes et des bases de données permet de faciliter leur diffusion, l'extraction de données et d'adapter les produits aux besoins des utilisateurs.

Vers une diffusion large des données sol

La première phase du programme Sols de Bretagne (2005-2012) était axée sur la réalisation des cartes et des bases de données, la deuxième (2013-2017) sera tournée vers l'utilisation des données et leur diffusion. Un certain nombre d'informations sont d'ores et déjà accessibles sur le site de Sols de Bretagne (www.sols-de-bretagne.fr) : rapports, guides d'organisation des sols, inventaires de données, cartes interactives, via portail GéoSAS.

L'objectif des mois et années à venir est de porter ces informations à connaissance des techniciens, conseillers, agriculteurs et gestionnaires de l'espace rural au travers de cartes, de références sur les sols (sensibilité à l'érosion ou la capacité du sol à stocker l'eau par exemple) et de formations. Des mesures physiques et des inventaires biologiques vont compléter les informations déjà récoltées, et des fiches sur les 380 types de sol seront rédigées. Un outil d'aide à l'identification des types de sols sur le terrain sera élaboré et diffusé largement. Les bases de données pédologiques permettent aussi de répondre à des actions plus spécifiques nécessitant des développements particuliers.

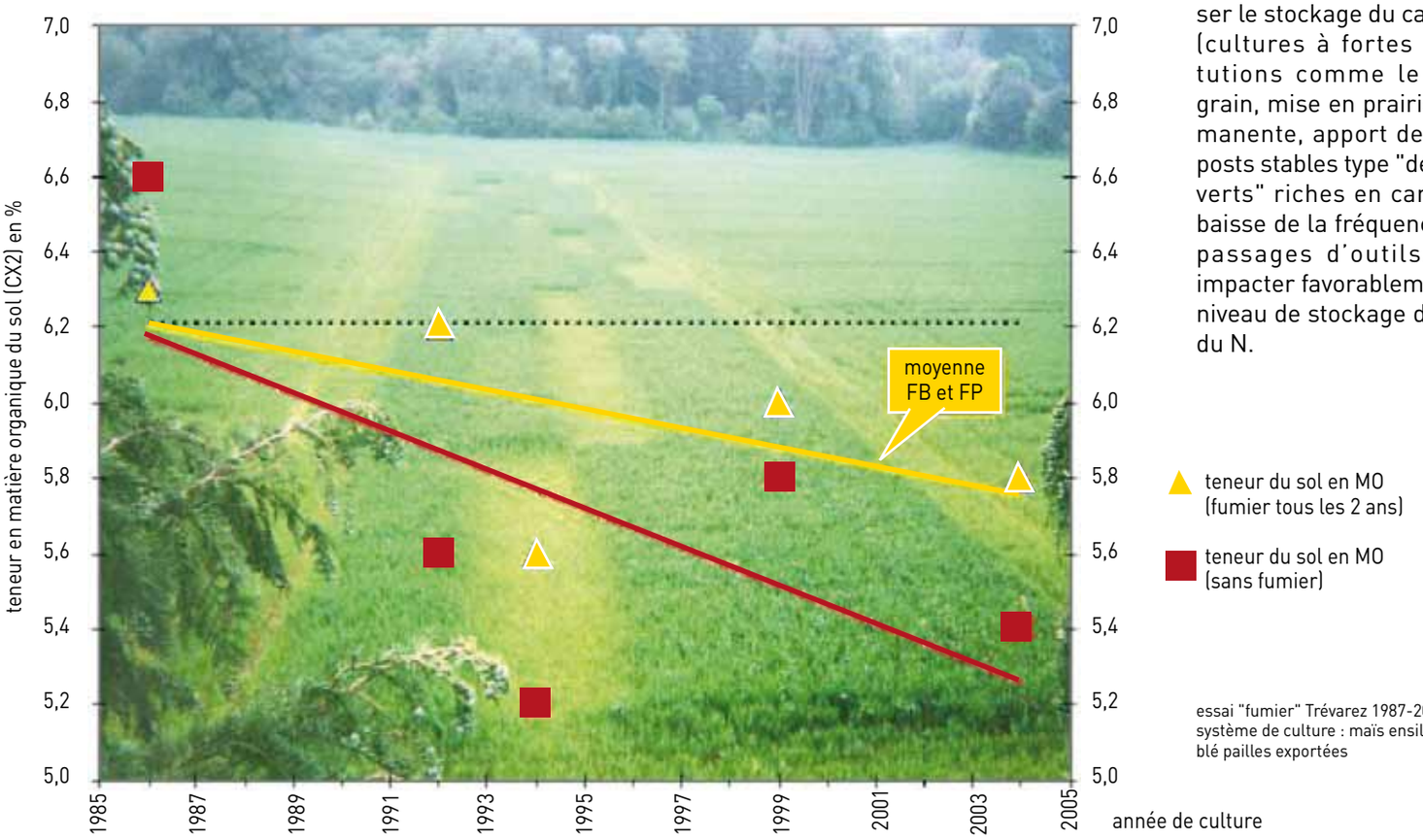
Blandine Lemercier
(Agrocampous Ouest, UMR SAS)
solsdebretagne@agrocampus-ouest.fr



Le lien carbone - azote est indissociable !

La quantité d'azote total contenue dans un sol et liée au carbone varie de 2 à 10 tonnes/ha. Les fractions ammoniacales et nitriques ne représentent qu'une très faible part de cet azote total.
Toute action qui va favoriser la minéralisation de la MO (travail du sol, chaulage de terre acide, retournement de prairie...) va provoquer une perte de carbone par dégagement de CO^2 et aussi une libéralisation d'azote stocké dans le sol.
Le rapport C/N est un indicateur de l'activité biologique du sol. Il renseigne sur le degré moyen d'évolution de la matière organique, l'activité biologique et le potentiel de minéralisation de l'azote. Plus le rapport C/N est élevé (supérieur à 12), plus l'activité biologique est réduite et la minéralisation rencontre des difficultés (acidité excessive, sol insuffisamment oxygéné...)
Si le C/N est inférieur à 10, le sol est classiquement présenté comme "travaillant beaucoup".
Toute action qui va favoriser le stockage du carbone (cultures à fortes restitutions comme le maïs grain, mise en prairie permanente, apport de composts stables type "déchets verts" riches en carbone, baisse de la fréquence des passages d'outils...) va impacter favorablement ce niveau de stockage du C et du N.

Minéralisation apparente sur les témoins "zéro azote"



essai "fumier" Trévarez 1987-2004
système de culture : maïs ensilage et blé pailles exportées

La MO a un rôle chimique

Le Complexe Argilo Humique (CAH) est le terme indiquant cet ensemble (MO + fractions minérales) qui structure le sol et qui en constitue "le garde manger" pour les cultures.
Le rôle du CAH s'apprécie entre autre, par une analyse dite de la CEC (Capacité d'Echange Cationique). Ce paramètre, dont la mesure est présente dans les bulletins d'analyses de sol, représente la capacité d'un sol à stocker les éléments nutritifs (Ca++, Mg++, NH4+, K+...) et aussi H+ l'ion de l'acidité. Cette CEC dépend de la teneur en argile et en matière organique du sol.
Il a été mesuré dans le nord Bretagne que environ 50 % de la CEC était directement porté par la MO du sol. La CEC d'un sol varie très peu au cours du temps.
Un sol à CEC élevé (150 à 200 meq/kg de terre) retient des cations qui seront ainsi moins lessivés que si la CEC était faible (50 à 100 meq/kg de terre).

La MO a un lien avec le phosphore

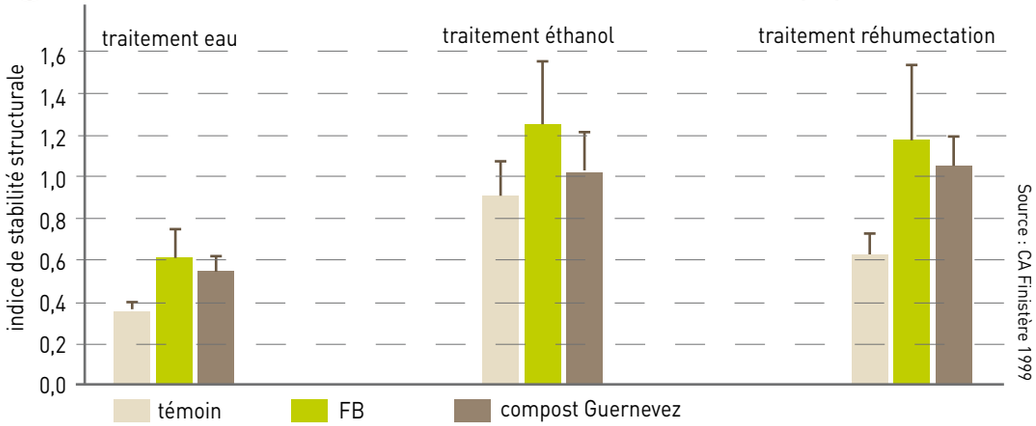
Une part importante du phosphore contenu dans les sols, en particulier quand le passé de fertilisation a été à base de déjection d'élevage, est lié à la MO.
La MO du sol intervient aussi sur la biodisponibilité des oligo éléments. Le cuivre (Cu) par exemple prend la place du fer (Fe) sur les sites d'échange de la MO. Les seuils de risque de carence de bon nombre d'oligo éléments présents sur les bordereaux d'analyse, sont dépendants du taux de MO. Ils s'élèvent proportionnellement à ce taux.
Ce constat est le même que pour certains désherbants à action racinaire où les doses d'utilisation peuvent être plus facilement réduites dans le cas de teneurs faibles en MO.
Le taux de MO joue aussi sur la rémanence des effets des produits phytosanitaires. On définit ainsi un KOC (Coefficient de fixation par le carbone organique) pour chaque matière active.

La MO intervient sur les propriétés hydriques et physiques du sol

Dans les sols sableux, la MO liée aux particules minérales améliore la rétention d'eau (RFU). Le mulch peut permettre d'économiser jusqu'à 150 mm d'eau de mars à septembre en région parisienne (Monnier 1982). La présence d'éléments organiques grossiers mais aussi l'activité fongique et lombricienne favorise la porosité et donc le drainage de l'eau l'hiver.
Elle intervient sur la plasticité du matériau (sa souplesse) qui permet d'augmenter sa portance et le nombre de jours où le sol est travaillable dans l'année.
Le taux de MO et en particulier l'activité du compartiment vivant, va favorablement influencer la stabilité structurale (capacité des agrégats de sol à résister à l'action des pluies ou des passages de charges) et limiter les phénomènes de battance en surface. Les apports de matière organique, tels que fumier de bovin ou compost, ont un effet mesurable sur la stabilité structurale des sols de limons. Il est important de rappeler qu'il existe une corrélation positive entre la stabilité structurale et la résistance à l'érosion du sol 1.

C'est principalement l'activité du compartiment vivant qui va permettre à un sol de se "refaire" après qu'il ait subi des tassements excessifs (récolte dans de mauvaises conditions). Un sol riche en MO se réchauffe généralement plus vite au printemps (effet drainage et une couleur plus sombre absorbe plus les rayons du soleil). Enfin, l'apport de certains composts, peut avoir une influence positive sur la dégradation des pathogènes telluriques du sol comme le fusarium oxysporum (Inra : S Houot 1997). La fertilité d'une terre est une caractéristique difficilement quantifiable par un ou des paramètres simples. L'agriculteur qui récolte est sûrement le plus à même de donner un avis.
Même si d'autres paramètres ont un impact important sur le potentiel des sols, (profondeur, texture, exposition...), la fertilité reste fortement liée à cette MO et tout particulièrement le compartiment vivant dont il faut préserver la biodiversité et qu'il importe de nourrir, en favorisant l'apport d'amendements riches en carbone. Mais aussi, pour maintenir la fertilité, il importe de limiter l'érosion qui décape le meilleur horizon du sol et de développer des cultures à fortes restitutions (maïs grain, Cipan). Il sera également recommander de limiter le travail du sol (sa profondeur en particulier et les tassements qu'il provoque) et enfin de favoriser les rotations avec une diversité d'espèces et notamment des prairies quand le système le permet 2.
Le sens de l'évolution du taux de MO d'un sol, hors apport de fumiers ou compost, dépend des cultures pratiquées mais aussi de l'état d'équilibre antérieur 3.

1 Stabilité structurale : résultat d'essais à Cléder (29) en sol de limon



2 Les actions possibles pour maintenir la fertilité du sol

Travail du sol	Intrants	Rotation
→ Ne travailler la terre que quand elle est bien ressuyée → Limiter la profondeur du labour. (plus il est profond, plus la MO se dilue) → Ne pas trop affiner. → Eviter les tassements (pneus basse pression, charge à l'essieu < 10 t).	→ Apporter des fumiers et (ou) composts régulièrement. → Maintenir le pH à un niveau optimal (entre 6 et 7 selon les cultures). → Enfouir des Cipan bien développés et laisser les résidus de culture au sol.	→ Eviter la monoculture. Alterner plusieurs espèces dans la rotation. → La prairie a un très fort effet structurant. → Ne pas laisser des sols nus l'hiver (règlement.)

3 Evolution du niveau de restitutions organiques dans 6 rotations sur 16 ans (céréales avec exportation de paille)

période de suivi	Kersulec 11	Kersulec S4	Kernevez - haut	St Quiry bas	Porcherie YE74	Kerguévarec N°3
1995	Maïs grain	Maïs grain	Pâture	Pâture	Maïs grain	
1996	Pois	Blé	Pâture	Pâture	Blé	
1997	Blé	Orge	Pâture	Pâture	Maïs grain	
1998	Orge	Haricot	Pâture	Pâture	Blé	Blé
1999	Triticale	Blé	Pâture	Pâture	Colza	Colza
2000	Haricot	Triticale	Pâture	Pâture	Blé	Blé
2001	Blé	Maïs grain	Maïs ensilage	Maïs grain	Triticale	Maïs grain
2002	Triticale	Blé	Blé	Maïs ens./grain	Fétuque + TB	Blé
2003	Maïs grain	Orge	Maïs ensilage	Blé	Fétuque + TB	Maïs grain
2004	Blé	Pois	Maïs ensilage	Orge	Fétuque + TB	Blé
2005	Haricot	Blé	Blé	Maïs grain	Fétuque + TB	Maïs grain
2006	Blé	Haricot	Colza	Maïs grain	Fétuque + TB	Blé
vatiation % MO/an	+ 0.016	-0.159	-0.140	-0.297	+ 0.076	-0.111

niveau de restitution croissant

Source : R. Blondel CRA Bretagne 2006)

> La conclusion de ces observations de 6 parcelles est qu'il faut une monoculture avec exportation de la biomasse aérienne (maïs ensilage, céréales) sans Cipan restitués et sans apport organique, pour observer une tendance forte à la baisse. Les rotations avec apport de fumiers à dose normale, ou avec des pairies, ont montré un maintien des stocks de MO. (cf. voir aussi les essais longue durée Crecom fertilité physique).

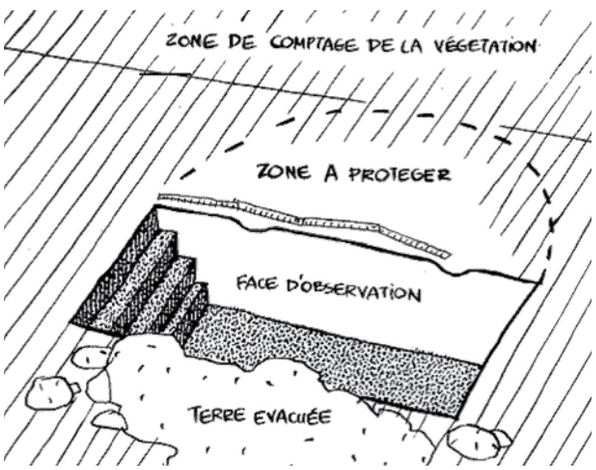
Deux outils d'évaluation de la qualité structurale du sol

Le profil cultural

C'est le moyen le plus adapté pour caractériser les états d'un sol dans leur globalité. L'interprétation d'un profil demande un savoir-faire rigoureux et un référentiel local. Cet outil qui permet d'évaluer un potentiel agronomique est aussi une aide à la décision pour la fertilisation ou le travail du sol mais aussi de dialogue avec l'agriculteur. Il permet de comprendre le fonctionnement du sol d'une parcelle donnée. Les observations sont à la fois verticales (les divers niveaux avec leur compaction spécifique) et latérales (mise en évidence des passages de roues...). Les hétérogénéités du sol, l'assemblage des mottes, la porosité, le comportement des racines et l'effet du passage des divers outils sont décrits puis interprétés.

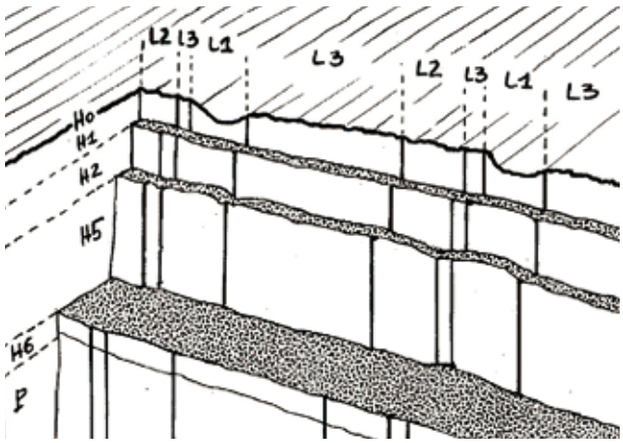
PS : La réalisation d'un profil même sommaire, devrait être systématique avant tout travail de sous solage. En effet, il ne sert à rien de passer cet outil, si la semelle de labour pénalisante pour les cultures n'a pas été mise en évidence ou si le sol est plastique (trop humide) à la profondeur de passage de l'outil.
Le profil cultural permet de diagnostiquer le fonctionnement du sol en relation avec une culture en place.
Son examen est indispensable en cas de constatation, par exemple, de difficultés de développement d'une culture. Il permet d'éviter d'avoir à décompacter le sol si le système racinaire de la culture en place se développe normalement.

Schéma d'une fosse prête à l'observation



La fosse doit avoir environ 50 à 80 cm de profondeur.

La face d'observation après les partitions verticale et latérale



Les observations sont verticales et latérales.

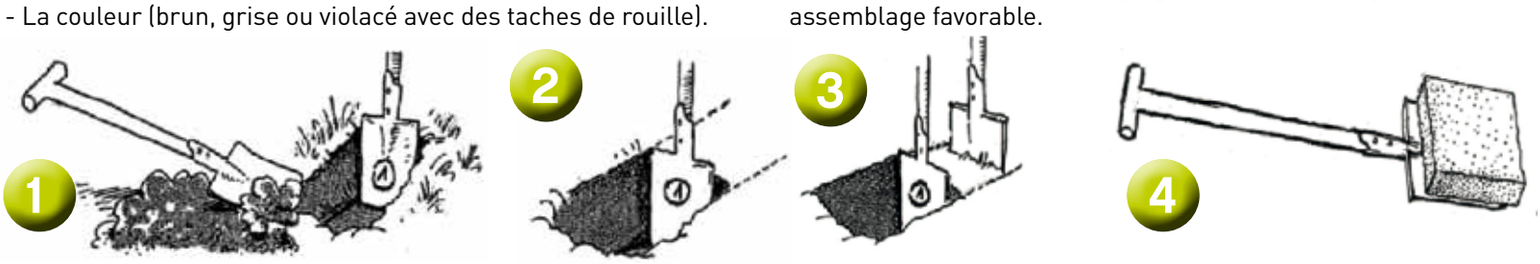
PRATIQUE

Pour plus de renseignement voir (disponible sur internet) Guide méthodologique de profil cultural Y Gautronneau et Le sol, ressource pour une agriculture durable. Inra.

Le test bêche

Rien ne peut remplacer la main et l'œil de l'homme pour évaluer la structure du sol. Le test bêche (Spatenprobe en Allemand) permet d'apprécier rapidement les évolutions de la structure sur 25 cm et de prendre des mesures correctives si besoin.
Le principe : prélever une épaisseur de terre de 25 cm. Dans ce bloc, il est facile d'observer comment les mottes se défont, dans quel état sont les racines et d'apprécier l'évolution des matières organiques.

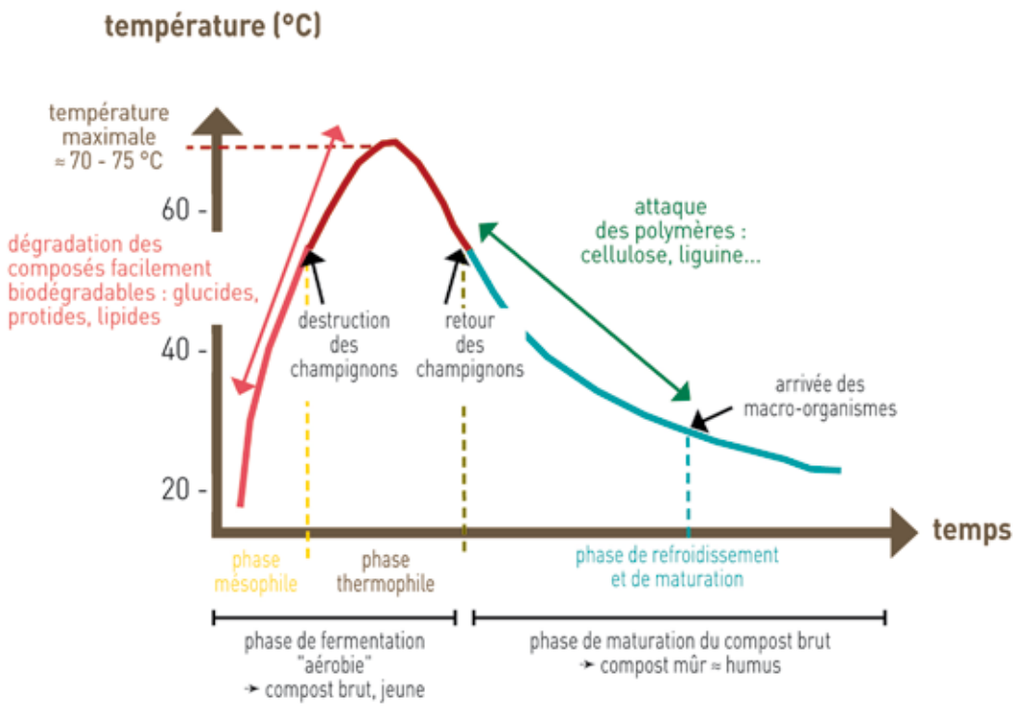
A observer :
- L'humidité (plastique) : attendre quelques jours avant de travailler, sèche et dure : le travail du sol est possible mais demandera de l'énergie.
- La couleur (brun, grise ou violacé avec des taches de rouille).
- L'odeur d'humus ou de vase.
- Le comportement des racines : coudées et en fil de fer ou velues.
- La texture : l'adhérence de l'argile, un doigté qui gratte signe de présence de sable.
- La porosité : présence de trous ou de fissures. Plus il y en a, plus les racines vont pénétrer le profil.
- L'état de surface : crouté et battant ou rugueux.
- La structure des agrégats (anguleux, ronds...) et de leur assemblage (compact ou grumeleux...) s'apprécie par le "drop test" qui consiste à laisser tomber ce bloc de terre. S'il reste compact ou se brise en quelques blocs, la structure sera compacte. Par contre, s'il s'effrite en de nombreux agrégats plus ou moins gros, il aura un assemblage favorable.



Le compostage : qu'est-ce que c'est ?

C'est un processus de dégradation de la matière organique en présence d'air (oxydation) qui dégage et réorganise le carbone et l'azote en des formes plus stables.
Le compostage comprend trois phases :
1/ Une phase mésophile courte (quelques jours) où le milieu se réorganise après le brassage de constitution et où les micro-organismes commencent à le coloniser.
2/ Une phase thermophile où le milieu est envahi de micro-organismes qui se nourrissent du carbone le plus bio-dégradable. Cette phase dure généralement quelques semaines et se caractérise par des montées en température qui peuvent être élevées.
3/ Cette phase est suivie d'une troisième phase dite de mûrissement, où la température a tendance à être plus faible que durant la 2e phase. Durant cette troisième période, le milieu est colonisé par des champignons qui vont s'attaquer aux formes de carbone les plus résistantes comme la lignine.
Ce processus dégage du gaz carbonique, de la vapeur d'eau mais aussi, parfois, de l'ammoniac si le milieu initial en contient (fumier de volaille). Les composts, surtout s'ils sont vieux, ont donc perdu ce carbone fermentescible facilement dégradable qui "provoquait une action rapide et courte sur les propriétés biologiques et physiques du sol".

Différentes phases du compostage et évolution de la température



Durant le compostage, l'azote présent sous forme d'ammoniac à la constitution du tas va petit à petit se réorganiser en azote organique. Le coefficient d'efficacité azoté du produit va donc baisser au fur et à mesure que le compost vieillit.

la certification Éco-épandage pour un bon épandage des fertilisants organiques

Le bon positionnement du carbone lors de l'épandage de fertilisants organiques suppose de bien répartir le fumier ou le compost stocké au champ depuis le premier épandeur jusqu'au dernier. Ainsi est-il nécessaire d'ajuster la dose (et donc la vitesse de tapis de l'épandeur) afin que toutes les parties de la parcelles reçoivent la même quantité par unité de surface. Par ailleurs, un déchiquetage suffisamment fin du produit permet de résoudre le problème fréquent du dépôt de "paquets" donnant des "refus" dans les prairies par exemple). Le compostage du fumier, outre la maturation du produit, qui est favorable à une meilleure mise en œuvre du carbone, permet également d'homogénéiser le produit, ce qui facilite une répartition d'excellente qualité. Enfin, les gros épandeurs "tombereau" ont une très forte charge à l'essieu pouvant parfois atteindre 20 t, source de tassement et de blocage de l'évolution de la matière organique.
A partir de la fin 2013 ou début 2014 apparaîtront des épandeurs certifiés Eco-Epandage. Qu'apporteront cet épandeur haut de gamme (à destination des Cuma et ETA) dont les performances seront validées au banc d'essai ? Pour ce qui concerne la maîtrise de la dose du début jusqu'à la fin de la parcelle, l'épandeur certifié est équipé d'un système de réglage à affichage direct de la consigne de dose en t/ha ou m³/ha. Le problème de l'éboulement du chargement à l'avant de la caisse à l'origine d'une baisse de débit en fin d'épandage est corrigé par un dispositif électronique ou un tablier accompagnateur.

La charge à l'essieu est inférieure à 13 t et les pneumatiques permettent de limiter la pression d'interface (nombre de kg supportés par le pneumatique rapporté à la surface de contact avec le sol) est inférieure à 1,5 kg/cm² (contre de l'ordre de 2 kg/cm² fréquemment). La fertilité des sols et la bonne valorisation économique des unités fertilisantes méritent un très bonne prestation que les Cuma et ETA pourront faire progresser avec de tels épandeurs.

Pierre Havard
pôle agronomie productions végétales, station des Cormiers

TERRA / 15 novembre 2013

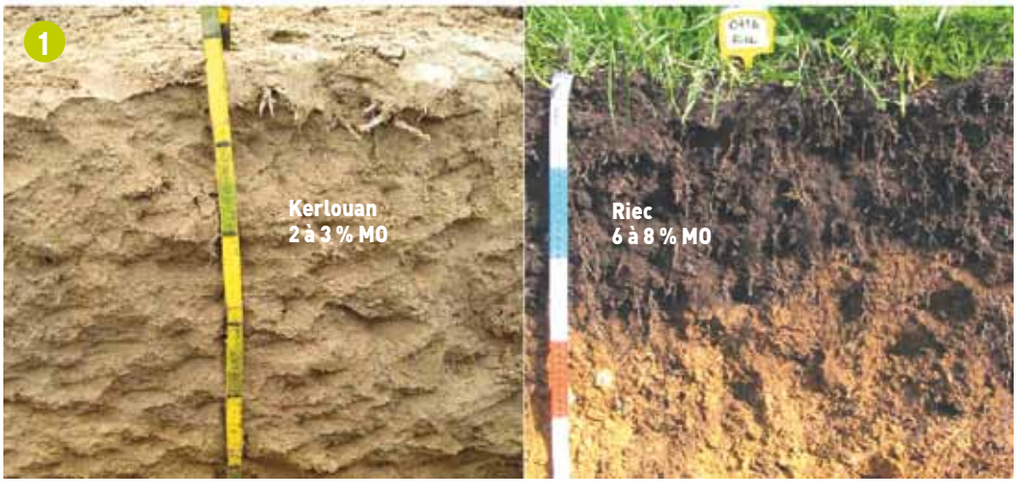
Questions-réponses sur la matière

→ Comment interpréter le taux de MO donné par les analyses de sol ? Quel est le bon taux ?

Mis à part dans certains secteurs spécifiques (nord 29 et 35) la teneur en MO des sols de Bretagne est plutôt satisfaisante. Cela est dû à la présence de la prairie dans la rotation, au flux de fumier de "la ferme Bretagne" mais aussi à une spécificité de certains sols en particulier du centre et sud Bretagne.
Mais la vigilance doit demeurer, tout particulièrement pour tous les sols de limons éoliens situés au nord Bretagne et dans le bassin de Rennes. Ceux-ci sont classés "fortement instables" et le rôle de la MO y est fondamental.
La station agronomique de Laon (J.C. Rémy 1965) avait proposé des seuils liés au pH et taux d'argile.
Pour la Bretagne, cette approche donne des seuils limites à ne pas dépasser de 1.5 % (MO) et des seuils satisfaisants à 2 voire 2.2 selon le pH. Dans tous les cas, ces seuils doivent s'interpréter en fonction de la rotation, de la culture et du contexte technico-économique. Dans les sols pauvres en MO, les risques d'asphyxie des racines (perte de récolte les hivers humides) de battance et d'érosion sont généralement plus importants.
Un taux de MO bas n'est pas une fatalité.
En jouant sur les rotations, les couverts, le pH, le flux de carbone (par les résidus de culture ou fumier), l'agriculteur peut maintenir son potentiel de production. Des apports récents et réguliers de matières organiques fraiches vont restaurer la fertilité du sol même s'ils ne relèvent pas rapidement le stock total de MO. Remonter la profondeur du labour est aussi une réponse économiquement très intéressante et qui impactera favorablement les propriétés physiques et biologiques des vingt premiers cm de sol.
Des taux de MO élevés (5 à 8%) sont observables dans le sud-ouest Bretagne. Ils sont la conséquence d'un passé de landes où une partie de la MO reste fossilisée 1.

→ Comment remonter le taux de MO du sols ?

Cette question est généralement posée par des agriculteurs céréaliers ou légumiers qui n'ont pas à leur disposition des ressources en carbone suffisantes à un coût acceptable. La réponse et à la fois technique et économique. Avant toutes réponses, il importe d'aller plus loin que cet indicateur de taux de MO et analyser "ce qui ne va pas dans mon sol". Est-ce un problème de battance, de stagnation d'eau l'hiver, de zones "où ça ne pousse pas"...? La réalisation de fosses pédologiques ou de test bêche pourra permettre d'affiner le diagnostic. La modification de l'assolement voir le choix d'autres variétés, l'introduction de Cipan ou d'une prairie dans la rotation sont souvent efficaces mais pas toujours possibles.
L'apport de fumier type bovin ou compost est aussi une des réponses possibles mais le flux doit être géré en prenant en compte l'azote qui est souvent le facteur limitant (voire le phosphore dans certains B.V.).
Remonter un taux de MO est une opération longue qui peut être coûteuse si l'exploitation ne produit pas de fumier. Il importe de faire le bon diagnostic avant de se lancer dans des investissements en amendement ou en changement de rotations.
Un taux global de matière organique reste au second plan vis à vis d'une bonne activité biologique et d'une bonne diversité de la vie du sol même si les 2 sont souvent liées.



> Le taux de MO est aussi une composante de l'histoire de la parcelle. Elle n'est pas la même dans les limons éoliens de Kerlouan (29) au cœur de la zone légumière et à Riec (29) en zone d'élevage en sol de granite.

→ Les déjections ont-elles toutes le même rôle sur les propriétés physiques et biologiques du sol ?

Pour faire simple, la fraction carbonée d'une déjection ou compost se divise en deux parties. Une partie dite biodégradable facilement (fermentescible) et une partie plus stable. En laboratoire, la respiration contrôlée (incubation) permet de quantifier et qualifier la partie fermentescible du carbone et l'ISMO (Indice de Stabilisation de la MO) permet d'approcher la partie du carbone qui est stable après apport dans le sol (le rendement humus). Un classement des déjections en fonction de leur comportement carboné est donc possible.
La fraction fermentescible des déjections provoque une action rapide sur les propriétés biologiques et de stabilité structurale des sols (Crab : B. Decoopman 2001, Inra : S. Albivin 2004) mais qui ne dure pas dans le temps. La fraction plus stable des déjections va plus impacter le taux de MO des sols et influencer plus lentement ses propriétés physiques et biologiques.
Les particules grossières de certains composts (déchets verts) ou certains déchets de cultures (cannes de maïs) ont un rôle favorable sur le drainage et elles améliorent la portance des sols.
Les déjections comme les lisiers et fumiers de volailles mais aussi les déchets de cultures et les Cipan riches en azote et en carbone facilement dégradables, auront une action rapide et courte sur les propriétés biologiques et physiques du sol.
Les composts, surtout s'ils sont vieux, et le carbone du digestat de méthanisation

organique

auront une action carbone plus lente et étalée dans le temps.
Le fumier de bovin a une action mixte.

→ Les TCSL ont-elles un rôle spécifique sur les propriétés biologiques et physiques du sol ?

Le non labour, en concentrant la matière organique sur l'horizon de surface va effectivement fortement les influencer.
Le sol sera plus drainant en surface, la portance va s'améliorer et la vie biologique se développera.
Par contre, il a été calculé que les techniques sans labour avaient à moyen terme peu d'effet sur le stockage du carbone. Ce sont les couverts végétaux associés de longue date à ces techniques qui peuvent avoir un effet sur le stock à moyen et long terme.
Les résultats d'un essai mis en place à la station de Kerguéhennec (56) depuis 2000 montrent qu'après huit ans de différenciation, les TCSL conduisent à une redistribution de la matière organique dans le profil. Cela c'est traduit par une augmentation des teneurs et des stocks de carbone en surface, jusqu'à 5 cm. Cette concentration de matière organique associée à un développement de l'activité biologique ont permis d'améliorer la stabilité de la structure du sol en surface et de diminuer sa sensibilité à la battance. Par contre, les TCSL, comparativement au labour, n'ont eu, dans cet essai, aucun impact sur le stockage de carbone évalué sur une épaisseur de sol de 60 cm.
Les 2 facteurs essentiels de l'évolution du stock de MO du sol restent le flux de carbone "entrant" d'une part (choix de culture et engrais verts selon l'importance des résidus et donc des rendements, apports d'amendements organiques...) et vitesse de dégradation (minéralisation) d'autre part. Tant que l'occupation du sol et la gestion des couverts végétaux ou des amendements restent les mêmes, rien n'indique aujourd'hui que la quantité globale annuelle de MO dégradée soit différente selon le mode de travail du sol. En effet, si un labour qui aère et réchauffe le sol au printemps est un facteur favorable à la minéralisation, il conduit aussi à mettre des résidus organiques en profondeur, donc moins accessible à l'activité biologique que les matières organiques concentrées en surface dans le cas des TCSL. Si la dynamique de minéralisation est différente, nos observations semblent prouver que ce n'est pas le cas des flux globaux de carbone et d'azote.

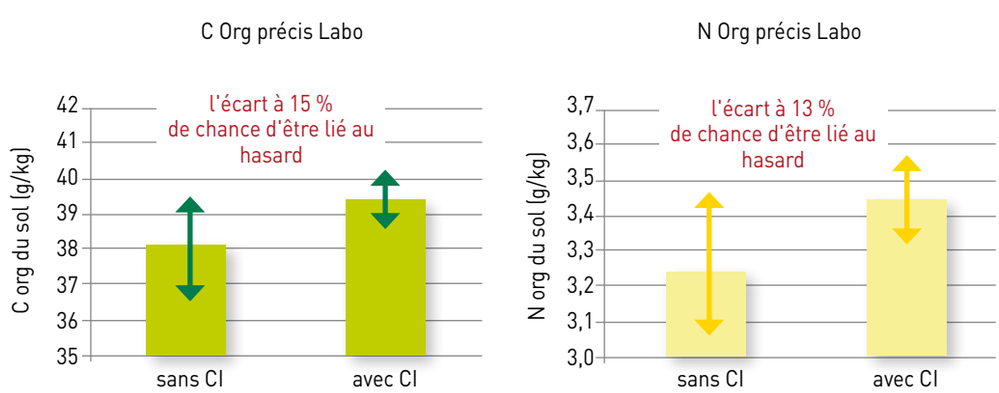
→ Le chaulage brûle-t-il la MO du sol ?

Mettre en même temps chaux et fumier ou lisier n'est jamais conseillé car la chaux accélère la minéralisation de la MO de la déjection et augmente fortement les risques de dégagement d'ammoniac (N-NH4). Décaler ces deux opérations élimine le risque. Si le sol est à un pH correct (6.3 par exemple), réaliser un chaulage d'entretien voire de redressement n'aura pas d'impact sur le taux de MO du sol (cf : Comifer : J.L. Julien).
Par contre, chauler une terre acide riche en MO va activer le compartiment biologique du sol car les organismes vivants vont se trouver dans un milieu plus favorable. Activés, ces organismes vont s'attaquer à la MO stable et donc, si elle n'est pas compensée par des apports, faire baisser le taux d'ailleurs souvent élevé en sol acide.

→ Les couverts végétaux incorporés, ont-ils un impact sur la MO du sol ?

Par l'incorporation répétée de matières organiques riches en azote, l'usage des couverts modifie la dynamique de l'azote et du carbone du sol (Arvalis : J.P. Cohan 2013).
Les essais réalisés en Picardie, dans la Marne et en Bretagne, ont permis de conclure que l'usage répété des couverts augmente le stock de carbone et d'azote du sol. Néanmoins, leurs effets mettent de nombreuses années à se manifester. Ceux sur les cultures n'apparaîssent qu'au bout de 10 ou 15 ans.
Les couverts ont en premier un rôle de piégeage à l'automne de l'azote qui ne sera ainsi pas lessivé. De plus, ils font baisser les risques d'érosion et la reprise des sols au printemps est plus facile quand le sol a été protégé pendant tout l'hiver 2.

2 → Impact des couverts intermédiaires (CI) sur le taux de carbone organique (C org) et sur la teneur en azote organique (N org) du sol



> L'incorporation régulièrement de couverts intermédiaires, surtout s'ils sont âgés va impacter favorablement le taux de C et N du sol.

Questions-réponses sur la matière organique (suite)

→ Quels impacts et quels enjeux suite au réchauffement climatique ?

Tout ce qui va contribuer au stockage ou déstockage du C du sol a donc un impact sur le réchauffement climatique. De ce fait l'Union Européenne a mis en place un observatoire des sols pour mesurer leurs évolutions et la préservation de leur qualité. Celle-ci est devenue un des axes de la politique environnementale de la CEE.
Ce réchauffement climatique devrait, selon les experts, se concrétiser dans les années à venir principalement par des épisodes climatiques de sécheresse et d'excès de pluviométrie de plus en plus nombreux et marqués.
La montée des températures devrait favoriser la minéralisation de la MO du sol, donc défavoriser le stockage du carbone (et favoriser la fourniture d'N).
Des précipitations plus fortes devraient aggraver l'érosion.

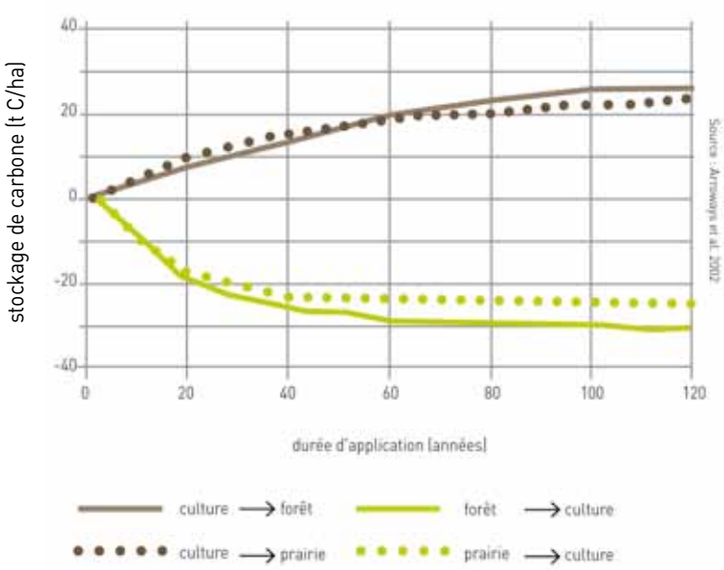
Selon ces experts, ce qui impacte le plus sur la capacité de stockage (ou déstockage) du carbone des sols est leur changement d'affectation. La transformation d'une terre de cultures annuelles en prairie permanente stockera du carbone et à l'inverse le retournement d'une prairie permanente re-larguera du carbone stocké. Toutes les autres pratiques qui visent à améliorer les taux de MO des sols (apport de fumure organique, enfouissement des couverts, implantation de haies...) ont des impacts positifs sur le stockage du C, même s'ils sont moins quantifiables précisément (1).

Pour l'agriculteur, toutes les mesures qu'il pourra mettre en œuvre pour limiter l'érosion et favoriser le stockage du carbone (haie, bandes enherbée TCSL, enfouissement des couverts et déchets de cultures, apport de fumiers et compost, rotations avec prairie...) seront de nature à protéger ses sols et à permettre à ces derniers de s'adapter aux mieux aux changements climatiques (2).

→ Peut-on sans risque pour la qualité des sols, prendre le carbone des déjections et des déchets de culture pour les utiliser en méthanisation ou en combustion ?

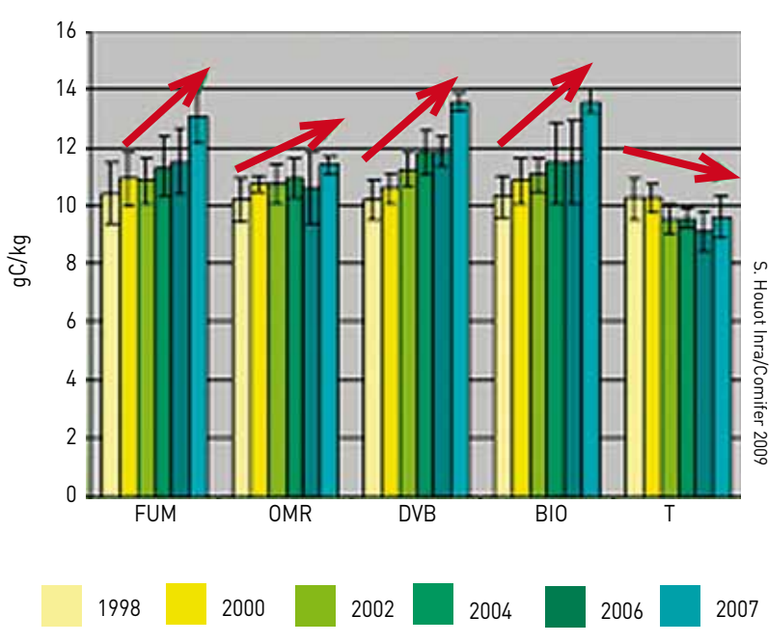
Répondre en quelques mots à cette question qui est complexe et pour laquelle on manque de lisibilité actuellement est difficile.
Au niveau global, il est important de rappeler que la méthanisation et la combustion permettent une production d'énergie à partir d'une biomasse renouvelable et donc ont un impact sur le bilan carbone de la planète et le réchauffement climatique, faible à nul contrairement aux énergies "fossiles".
On notera toutefois, que contrairement à la combustion, la méthanisation restitue de 40 à 60 % du C apporté dans les divers produits qui retournent au sol après digestion. Ce carbone non digéré est principalement constitué de lignines et de cellulose protégée par les lignines.
En effet, le digestat contient du C sous des formes stables car la méthanisation ne dégrade pas la totalité du carbone apporté (de 10 à 20 % de dégradation pour les produits riches en lignine à 80 % pour des graisses par exemple). Seule la fraction "labile rapidement dégradable" du carbone est transformée en CH_4 et CO_2 durant la méthanisation. Les fractions de carbone les plus stables des fumiers et divers co-produits apportés dans le méthaniseur, ne sont pas détruits par ce processus. Le retour au sol sous forme de digestat de cette fraction de MO non dégradée participe à ce flux de C qui enrichit le sol.
Durant les phases compostage ou un stockage des déjections, il y a des pertes de C par dégagement de CO_2. Si elles sont trop longues, cela peut aussi aboutir à la perte pour les sols de près de la moitié du C, sans aucune récupération énergétique.
Les vieux composts et digestats de méthanisation auront peu d'effet immédiat sur des propriétés du sol comme le développement de la biomasse et la stabilité structurale (cf voir p 5) mais participeront au maintien du taux de MO.
Un méthaniseur permet aussi de recycler nombre de sous-produits (graisses, déchets

1 → Évolution du stock de carbone selon l'occupation du sol



> Évolution du stock de carbone dans le sol associé à des pratiques provoquant des stockages (0.5 tC/ha/an) durant les 20 premières années ou déstockages (1 tC/ha/an) dans les cas extrêmes.

2 → Amélioration de la teneur en carbone du sol de PRO tous les deux ans



d'IAA...) dont le carbone aurait été totalement perdu pour les sols car orienté vers d'autres filières d'élimination (mise en décharge...).
De plus, la méthanisation favorise aussi l'implantation des couverts végétaux ou autres intercultures qui conduisent à une captation supplémentaire de CO_2 et un apport au sol de C par les racines.

On a toujours mis en avant le rôle important d'un flux régulier de fumier pour conserver la fertilité des sols (cf : ci-contre). Où faut-il donc mettre le carbone des déchets de cultures et déjection ? Dans le sol ou dans un méthaniseur ?
Un outil informatique, en cours de paramétrage pour la Bretagne (AMG), devrait nous permettre d'appréhender ce que l'on peut retirer de ce flux de C, composé des déchets de cultures, fumiers et amendements... qui retourne au sol, sans avoir d'incidences négatives sur la qualité des sols.
L'importance de la prairie dans la rotation (cf p 5) est nous l'avons vu un des éléments de réponse. En effet, la présence de cette dernière peut permettre d'avoir un effet au moins équivalent à un apport régulier de fumier sur le stock de C et les propriétés physiques de sol (essais Crecom fertilité physique : Crab. R. Blondel 2005 et D Desrue 2013).
Un autre niveau de réponse est d'appréhender globalement à l'exploitation ce flux de carbone. Si l'exploitation fait venir du carbone pour son méthaniseur en provenance de l'extérieur (valorisation de déchets) et réutilise l'intégralité du digestat sur son exploitation, on peut estimer très grossièrement que les pertes de carbone par la méthanisation de ses fumiers et résidus de récolte seront compensées plus ou moins par ces apports extérieurs.
Ce point est bien-sûr à affiner au niveau de chaque exploitation.
Par contre, si le flux de C du fumier qui auparavant retournait au sol, n'est pas compensé par un flux de C du digestat (exporté par exemple pour des raisons de réglementation phosphore) les risques de dégradation de la structure peuvent s'amplifier en particulier dans les limons battants pauvres en MO du nord Bretagne. Cela serait agravé s'il n'y a pas de prairie et que les Cipan et les déchets de cultures ne sont plus incorporés car transformés en Cive ou en intrants pour le méthaniseur.

suite à des apports organiques

	apports (t/ha.épandage)		rendement humus
	MS	C	t Csol/ tCapporté
FUM	14	4,5	0,6
OMR	13	3,9	0,4
DVB	17	4,5	0,7
BIO	21	3,7	0,8

FUM = fumier de bovin,
OMR = compost d'ordure ménagère résiduelle,
DVB = compost de déchets verts,
BIO = Compost de bio-déchets,
T = Témoin sans apport organique.

→ **Les réglementations "azote et phosphore" en obligeant l'agriculteur à exporter de la MO et à n'utiliser que de l'azote à forte efficacité, ne contribuent elles pas à la diminution de ce flux de carbone qui retourne au sol et donc à augmenter les risques de dégradation de la fertilité?**

Cette question a été soulevée à plusieurs reprises par les agronomes auprès de l'administration sans prise en compte actuellement. Le fait que les agriculteurs soient limités à 170 kg Norga/ha/an (voire 210 kg Ntot/ha/an dans les ZAC) les incitent forcément à utiliser de l'N minéral ou des lisiers et fumiers de volailles à fort coefficient d'efficacité. En effet, l'utilisation des produits riches en azote stable (type fumier de bovin, compost...) généralement à C/N élevé apportés à des doses nécessaires pour le flux de carbone (30/40 t/MB/ha) impactent fortement le bilan global azoté de l'exploitation pour une efficacité à la culture faible. Cette contrainte pénalise principalement les producteurs bio ou ceux qui veulent mettre en œuvre des stratégies d'amélioration des qualités agronomiques de leur sols. Dans certains secteurs elle provoquera progressivement une diminution des fournitures azotées du sol qui devront être compensées à terme par une augmentation de la fertilisation.

Le phosphore dans les déjections est très lié à la fraction organique. Dès qu'il y a séparation de phase entre une partie liquide et une partie solide, contrairement à l'azote, l'essentiel du phosphore reste dans la partie solide. Le phosphore, avec donc la MO, est exporté pour satisfaire aux exigences réglementaires. Cette réglementation phosphore renforce les exportations de MO et le manque d'azote qui en découle doit être compensé par l'achat d'engrais minéral. Cette absence de retour au sol de MO peut présenter des risques à moyen terme pour les sols des exploitations d'élevages (de volaille principalement) qui n'ont plus la possibilité d'apporter le carbone de leurs fumiers car limitées par le phosphore.

TERRA / 15 novembre 2013

> "Avant je devais passer je ne sais combien d'outils et maintenant après un ou deux passages, c'est bon pour semer", apprécie l'agriculteur qui travaille seul sur son exploitation laitière.

Avec couvert et travail Pierrick Gibet a vu sa

Sur une partie de ses terres non accessibles aux vaches laitières, où se suivent maïs et blé, Pierrick Gibet a constaté, depuis plus de 15 ans, l'intérêt agronomique d'un couvert végétal. La structure du sol s'est nettement améliorée et le maïs, surtout, s'y implante mieux.

Pierrick Gibet, agriculteur à Chevaigné au nord de Rennes, implante de la phacélie en interculture depuis plus de quinze ans. *"Le sol est limono-argileux. J'ai des terres avec un potentiel de rendement moyen (13 à 14 t en maïs), assez superficielles et desséchantes. L'eau est limitante sur ces sols. Avec un couvert, j'ai vu en à peine trois ou quatre ans que la terre s'améliorait"*, témoigne l'agriculteur qui dans le même temps avait mis en œuvre un travail du sol simplifié.
"On s'est lancé dans la simplification du travail du sol grâce à du matériel en co-propriété avec des voisins. On a commencé sur maïs et j'ai vite vu qu'il s'implantait mieux, la terre se réchauffait plus vite".
Sur son exploitation de 33 ha grignotée par l'urbanisation, une partie des terres n'est pas accessible aux vaches laitières.
Blé et maïs s'y succèdent alors que sur l'autre partie des terres, des prairies RGA-trèfle peuvent être mises en place pour 6 à 8 ans.

Après la simplification du travail du sol avant maïs, l'étape suivante fut l'achat de matériel - un semoir pneumatique Amazone combiné à un cultichaume - pour semer en direct le blé.
"Si pour le maïs un semoir et le cultivateur suffisait, en blé le matériel compte", estime l'agriculteur.

"On a de moins en moins besoin de la travailler"

La structure du sol s'est améliorée, la portance aussi, avec une teneur en matière organique du sol plus élevée aujourd'hui : *"plus le temps avance, moins on a besoin de travailler la terre, et on passe les outils de moins en moins profond"*.
Ce sont les racines qui font le travail... et les vers de terre. *"Le nombre de vers de terre est impressionnant. On le voit particulièrement quand on épand le fumier au printemps".*
Une grande satisfaction pour Pierrick Gibet. *"Avant je devais passer je ne sais combien d'outils et maintenant après un ou deux passages, c'est bon pour semer. Ce sont pourtant les mêmes champs".*
L'essentiel est d'ensiler dans de très bonnes conditions. *"Ce n'est pas facile mais c'est impératif dans ce système"*, souligne-t-il. Et c'est aussi pourquoi Pierrick Gibet choisit toujours des variétés précoces *"quitte à perdre un peu en rendement"*, en maïs comme en blé. *"Le fait de ne pas labourer oblige à récolter et à épandre dans de bonnes conditions. Au fur et à mesure on arrive à trouver de bons créneaux, même en février. Il faut beaucoup regarder la météo"*.
La phacélie est quant à elle facilement détruite mécaniquement : c'est un des atouts de cette espèce, avec sa richesse en azote.

Les travaux culturaux

Voici récapitulés les travaux mis en œuvre par Pierrick Gibet sur ces parcelles à rotation blé-phacélie-maïs :
→ **nettoyage de la parcelle** 8 jours avant le semis de blé, si besoin traitement à 1 voire 1,5 l/ha glyphosate (l'important pour Pierrick Gibet est d'avoir sol le plus propre possible avant le semis),
→ **semis du blé en direct** avec un combiné Amazone (entre le 25 octobre et le 1er novembre),
→ **déchaumage** aussitôt la moisson,
→ **semis de la phacélie** 15 jours à 3 semaines après (fin août), le temps de faire lever les céréales et quelques mauvaises herbes,
→ **épandage de fumier** (40 t) le plus tôt possible, en février, sur phacélie et passage d'un déchaumeur à dent (passage éventuel d'un rouleau si la phacélie est bien verte),
→ **la terre** n'est plus travaillée pendant deux mois,
→ **1 ou 2 passages** de cultivateur à partir de mi-avril,
→ **semis du maïs** dans la foulée,
→ **désherbage du maïs** par binage (depuis 3 ans) – Pierrick envisage d'apporter 30 uN minéral au moment du binage,
→ **ensilage du maïs** tôt dans la saison.

du sol simplifié, terre s'améliorer

> Pour la première année, Pierrick Gibet a associé du radis à la phacélie dans le but d'accroitre le développement végétatif du couvert.

Et avec une bonne implantation de ce couvert, Pierrick ne rencontre aucun problème de mauvaise herbe.
Avec des sols couverts toute l'année et un travail simplifié, les avantages sont multiples. *"On limite l'érosion c'est évident. Côté rendement, cela n'a jamais pénalisé le blé et cela a plutôt amélioré les résultats sur maïs"*.
Intérêt agronomique donc mais aussi de temps de travail : sur blé en particulier le temps de travail est divisé par deux.
Pour cet éleveur laitier qui travaille seul sur l'exploitation, le gain de temps est *"un intérêt évident même si ce n'était pas la raison première"*.

Audrey Dibet

Implanter tôt la phacélie

La phacélie, Pierrick Gibet l'implante tôt et dans de bonnes conditions : il se contente ainsi de 7 kg/ha au semis. Pour la première fois cette année, il a associé la phacélie (6 kg) à du radis (3 kg). Des essais réalisés l'an dernier sur ces parcelles, menés par la chambre d'agriculture, avaient montré l'intérêt de cette association sur la biomasse du couvert. Le radis prend rapidement de l'ampleur et son système racinaire est bien complémentaire de celui de la phacélie. Si cette année est concluante (absence de problème de destruction), Pierrick Gibet l'adoptera pour l'année suivante.

MO

Lexique des abréviations utilisées dans ce dossier

- **BV** : Bassin Versant
- **ZAC** : Zone d'Actions Complémentaires
- **CA** : Chambres d'Agriculture
- **Crab** : Chambre Régional d'Agriculture de Bretagne
- **CEE** : Communauté Economique Européenne
- **Inra** : Institut National pour la Recherche Agronomique
- **IAA** : Industrie Agro-Alimentaire
- **N** : Azote
- **N org** : Azote organique
- **C** : Carbone
- **C org** : Carbone organique
- **FB** : Fumier de Bovin
- **DV** : Déchets Verts
- **FV** : Fumier de Volailles
- **MO** : Matière Organique
- **Cipan** : Culture Intermédiaire Piège A Nitrate
- **TCSL** : Techniques Culturales Sans Labour
- **CI** : Culture Intermédiaire
- **CIVE** : Culture Intermédiaire à Vocation Energétique
- **RFU** : Réserve Facilement Utilisable
- **CO_2** : Gaz carbonique
- **CH_4** : Méthane
- **PRO** : Produits Résiduels Organiques
- **B.V. 3B1** : Bassin Versant soumis à réglementation phosphore (10 plans d'eau en Bretagne)
- **Crecom** : station expérimentale porc et agronomie basée St Nicolas du Pélème.