

Les matières organiques du sol

Composées de 58 % de carbone organique en moyenne, les matières organiques du sol libèrent du dioxyde de carbone (CO_2) et des composés organiques en se décomposant sous l'influence du climat et des conditions ambiantes du sol. L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports de matières organiques végétales au sol et leur minéralisation.

Le sol représente le plus grand réservoir de carbone de la biosphère continentale contenant environ deux fois le stock de carbone atmosphérique et trois fois le stock de carbone contenu dans la végétation (40 tonnes par hectare (t/ha) en sols cultivés et 65 t/ha sous prairies). Une augmentation des stocks de carbone organique des sols cultivés peut jouer un rôle significatif dans la limitation des émissions nettes de gaz à effet de serre vers l'atmosphère en stockant du CO_2 atmosphérique dans la MO des sols.



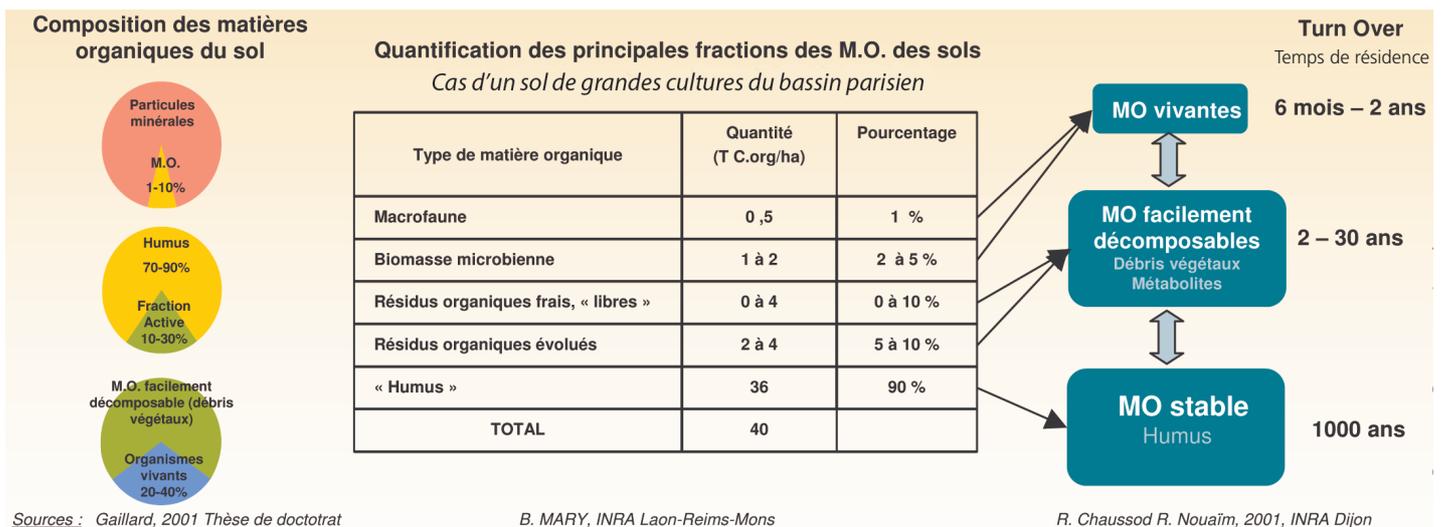
La nature des constituants organiques

Le terme «matières organiques du sol» regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol. Elles représentent en général 1 à 10 % de la masse des sols.

Elles se répartissent en **trois groupes**⁽¹⁾ :

- les **Matières Organiques Vivantes (MOV)**, animale, végétale, fongique et microbienne, englobent la totalité de la biomasse en activité (racines, vers de terres, microflore du sol...),
- les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres), fongique et microbienne (cadavres, exsudats) appelés «**Matières Organiques fraîches**». Associés aux composés organiques intermédiaires issus de l'activité de la biomasse microbienne, appelés produits transitoires (évolution de la matière organique fraîche), elles composent les **MO facilement décomposables**.
- des composés organiques stabilisés (« **MO stable** »), les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes. La partie humus représente 70 à 90 % du total.

Figure 1 : Composition des MO et turn over (DUPARQUE et RIGALLE, 2006)



A. Les matières organiques vivantes ou la biomasse en activité

Le Tableau 2 présente les différentes familles qui constituent la matière organique vivante et leur part relative dans le sol⁽²⁾.

Tableau 2 : Faune et flore du sol : ordres de grandeur par famille (GIRARD, 2005)

Catégorie	Exemples	nombre d'espèces	taille	abondance	biomasse g / m ²	"fonction"	régime alimentaire
Microfaune	protozoaires	68	0,2 mm	10 ³ à 10 ¹¹ / m ²	6 à > 30	microphages consommateurs de colonies bactériennes action de prédation stimulant le renouvellement de la microflore.	champignons, bactéries, débris organiques, algues.
	nématodes	65	0,1 à 5 mm	10 ⁶ à 10 ⁸ / m ²	1 à 30		
Mésofaune	arthropodes inférieurs (collemboles, acariens,...)	140	0,2 à 4 mm	2x10 ⁴ à 4x10 ⁵ / m ²	0,2 à 400	broyeurs de feuilles.	résidus de végétaux, algues, champignons et bactéries.
	enchytraéidés (annélides)	36					
Macrofaune	taupe, hérisson, lombrics, araignées, myriapodes, fourmis,...	11	3 à 30 cm	10 à 10 ³ / m ²	20 à 400	fragmentation de la matière organique + brassage avec matière minérale.	résidus de végétaux, cadavres d'invertébrés, champignons et bactéries.
		6	> 1cm	20 à 700 / m ²	0,5 à 12,5		
Microflore	bactéries, champignons	10 ⁴	0,01 à 0,05 mm	10 ⁸ à 10 ⁹ / g de sol	2 à 200	indispensables aux cycles du Carbone et de l'Azote.	Matière organique et N atmosphérique.
			< 1micron	10 ⁴ à 10 ⁶ / g de sol	100 à 150	dégradation de la MO.	résidus végétaux, parasite, symbiote mycorrhizien.
	algues		0,2 mm	10 ² à 10 ⁴ / g de sol	5 à 20	synthèse de MO à partir de <i>MM</i> * et CO ₂ .	

*MM : Matières Minérales

Zoom sur les vers de terre :

Plus de la moitié de la biomasse animale est constituée par les vers de terre, ce qui correspond à une masse de 500 kg à 5 t/ha.

On distingue les vers anéciques, de grande taille, vivant dans des galeries verticales et se nourrissant de matières organiques présentes à la surface du sol, des vers endogés (enchytraéides) beaucoup plus petits qui digèrent la matière organique incorporée dans l'horizon de surface du sol et des vers épigés qui vivent à la surface du sol, surtout quand il y a des débris végétaux.

Figure 2 : Reconnaître les vers de terre selon leurs turricules (CHAUSSOD⁽³⁾, 2009)

Incorporation de Matière Organique dans les turricules des vers de terre



Déjections d'enchytraéides

Déjections de vers de terre anéciques



(crédit photo : I Felix)

B. Les matières organiques facilement décomposables

1. Les débris d'origine végétale ou animale (matières organiques fraîches)

Ils correspondent aux débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats) et d'origine animale (déjections, cadavres) liés aux activités de surface et au couvert végétal (forêt, prairies, culture).

Ils sont composés de :

- substances hydrocarbonées : sucres solubles, amidon, cellulose, lignine, matières grasses, résines,
- matières azotées surtout sous forme de protéines,
- sels minéraux libres : calcium (*Ca*), magnésium (*Mg*), potassium, sodium... Ces substances peuvent être faciles à décomposer et servent alors d'aliment énergétique aux bactéries : sucres, amidons, cellulose, protéines... ou elles peuvent être attaquées plus lentement et plus partiellement laissant d'importants résidus : lignine, matières grasses, tanins....

2. Les produits transitoires (métabolites)

Ce sont les maillons de cette chaîne de transformation partant de matières organiques fraîches à très grosses molécules et aboutissant pour la plupart, à des substances minérales simples à petites molécules : du gaz carbonique et de l'eau, des matières minérales telles les nitrates, phosphates, carbonates, sulfates..... ainsi que du potassium, du calcium, du magnésium...

L'essentiel des minéraux fournis par la minéralisation des matières organiques provient des produits transitoires.

C. Les composés organiques stabilisés (« MO stable ») : humus

Ils comprennent les substances humiques (acides fulviques, acides humiques, et humines) d'une part, et les composés inertes d'autre part (charbon...).

Les substances humiques représentent 70 à 90 % des matières organiques du sol.

Les rôles des matières organiques du sol

Le Complexe Argilo-Humique (*CAH*) est le relais entre les MO du sol et la plante.

A. Le Complexe Argilo-Humique et capacité d'échange en cations

L'humus et l'argile sont associés en un complexe : le Complexe Argilo-Humique. L'humus protège l'argile : en retenant l'eau, il évite sa dispersion. L'argile protège l'humus de l'action des micro-organismes en ralentissant sa minéralisation. Le tout forme un colloïde qui permet de stabiliser un sol.

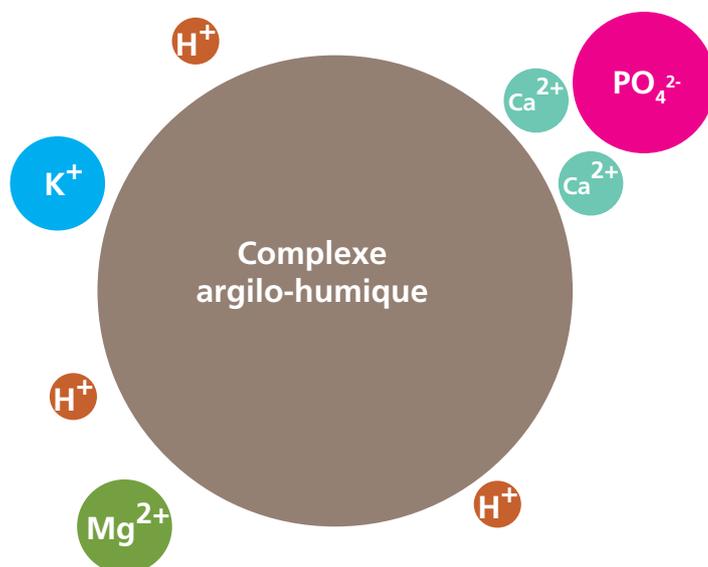
Argile et humus sont reliés entre eux par des cations comme le Ca^{2+} et le Fe^{2+} ou Fe^{3+} . Tous les cations n'ont pas le même pouvoir flocculant : $Ca^{2+} > H^+ > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$.

Ainsi, parce qu'il fixe les cations, le CAH est le garde-manger de la plante.

1. Le pouvoir adsorbant des colloïdes

L'absorption est la rétention de composants à la surface d'autres composés sans liaison. Le CAH, chargé négativement sur sa surface peut fixer les cations du sol (Figure 3).

Figure 3 : Le complexe Argilo-humique : schéma simplifié



2. La Capacité d'Échange en Cations

La Capacité d'Échange en Cations (**CEC**) est la quantité maximale de cations qu'un poids déterminé de sol peut retenir. Elle joue un rôle fondamental pour l'alimentation en éléments minéraux de la plante.

La CEC dépend essentiellement du CAH du sol. La CEC sera élevée pour des sols argileux et/ou humifères et très basse pour des sols sableux.

L'apport de MO dans un sol sableux a pour but d'augmenter cette CEC. L'apport de matière organique dans un sol argileux vise à stabiliser les argiles, limiter le lessivage et augmenter la CEC.

B. Les fonctions des MO du sol

Dans le sol, les MO assument de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales ⁽¹⁾ synthétisées dans la Figure 4 :

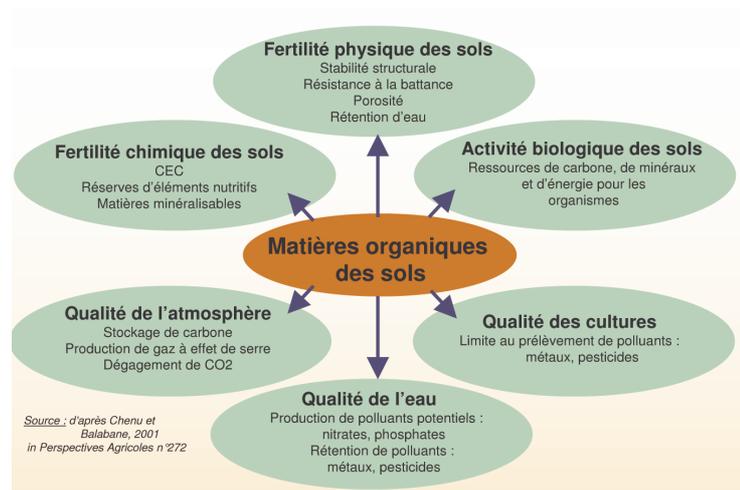
- Elles assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments nutritifs dont elle a besoin.
- Elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.
- Elles ont un rôle central dans la structuration du sol et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique.
- Elles favorisent le réchauffement du sol (coloration plus sombre des matières organiques).
- Elles contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la 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 par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments traces métalliques).

- Mais elles peuvent être aussi source de polluants potentiels, comme les nitrates et les phosphates.

- Elles influencent également la qualité de l'air, par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre. Elles ont un rôle de puits ou d'émetteur de carbone (principalement sous forme de CO₂). Certains changements d'usage des pratiques agricoles favorisent le stockage du carbone dans les sols (conversion de cultures en prairies). Au contraire, la mise en culture de ces prairies entraîne une diminution du stock de carbone.

Figure 4 : Rôles et fonctions des MO (DUPARQUE et P. RIGALLE, 2006)

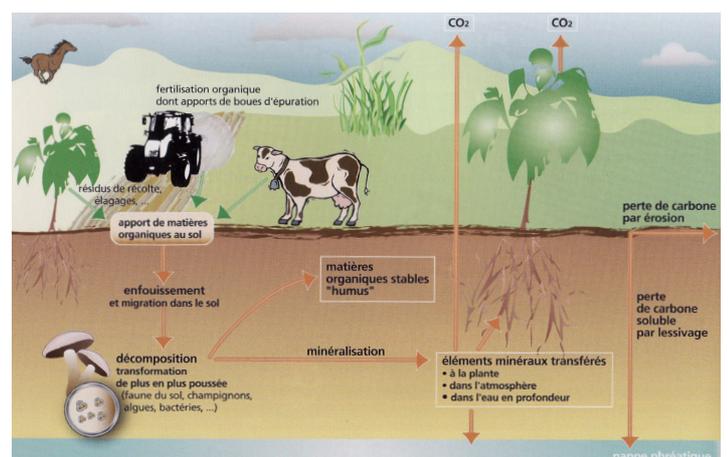


L'évolution des MO dans le sol

Les MO du sol évoluent sous l'incidence de divers processus physiques, chimiques ou biologiques. Le processus physique correspond à la séquestration du carbone (Figure 5), qui est alors inaccessible par les microorganismes.

Les transformations des matières organiques ⁽⁴⁾ se réalisent essentiellement par les processus de recombinaison (**humification**) et de dégradation (**minéralisation**).

Figure 5 : Cycle du carbone (Le Sol, janvier 2009)



A. L'Humification

La formation des produits stables « formation de l'humus, ou humification »⁽⁵⁾, consiste en des recombinaisons et polymérisations de molécules organiques plus ou moins complexes. La nature biochimique des MO apportées au sol détermine le processus d'humification.

Une des caractéristiques importantes de ce processus est l'incorporation d'azote (*N*) dans les macromolécules humiques, conduisant à un stockage de l'azote sous forme organique dans le sol.

Tout en partant des mêmes éléments précurseurs, la qualité des humus produits dépendra des conditions physico-chimiques qui règnent dans le sol. Le *pH*, la teneur en oxygène, la teneur en *bases échangeables*, en cations seront déterminants.

Par exemple, en sol très peu aéré (tassement, hydromorphie), les MO s'humifient très peu, conduisant à des phénomènes de glyfication dans un premier temps. Sans mesures rectificatives, cela peut aboutir, dans un deuxième temps, à la formation de tourbe.

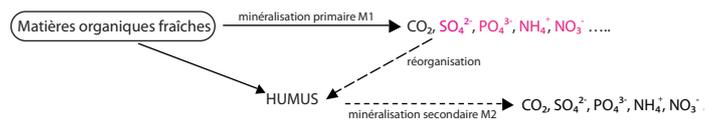
B. La Minéralisation

C'est le passage du monde organique au monde minéral. Ce processus se déroule en plusieurs étapes : la minéralisation primaire qui concerne les matières organiques jeunes et la minéralisation secondaire ou minéralisation des produits stables (communément appelé « minéralisation de l'humus »).

1- La minéralisation primaire *M1*⁽⁶⁾ est un processus assez rapide. Il aboutit à la libération de substances nutritives par désagrégation et dépolymérisations successives des matières organiques. Parmi ces substances, on trouve : l'eau, le CO₂, l'azote nitrique, les phosphates et sulfates, etc... Cette phase se déroule essentiellement sous l'action de la faune du sol et des microbes (champignons et bactéries). Ces matières minérales peuvent être assimilées par les plantes, adsorbées sur le complexe argilo-humique, perdues par lessivage ou reprise par certains microbes pour la synthèse de l'humine microbienne.

2- La minéralisation secondaire *M2* est au contraire un processus très lent, à raison de 2 – 3 % par an. Elle affecte l'humus formé depuis de nombreuses années et libère des quantités annuelles d'éléments nutritifs considérables qui sont mis à disposition des plantes.

Figure 6 : Décomposition des MO fraîches (DUCHAUFOR, 1984)



Cette notion de minéralisation⁽⁵⁾ de l'humus (perte) est reprise dans les modèles de calcul du bilan humique. Elle est exprimée sous le symbole de *K2* (cf. chapitre 8 Tome I).

C. Les principaux facteurs influençant le temps de résidence du carbone organique dans les sols

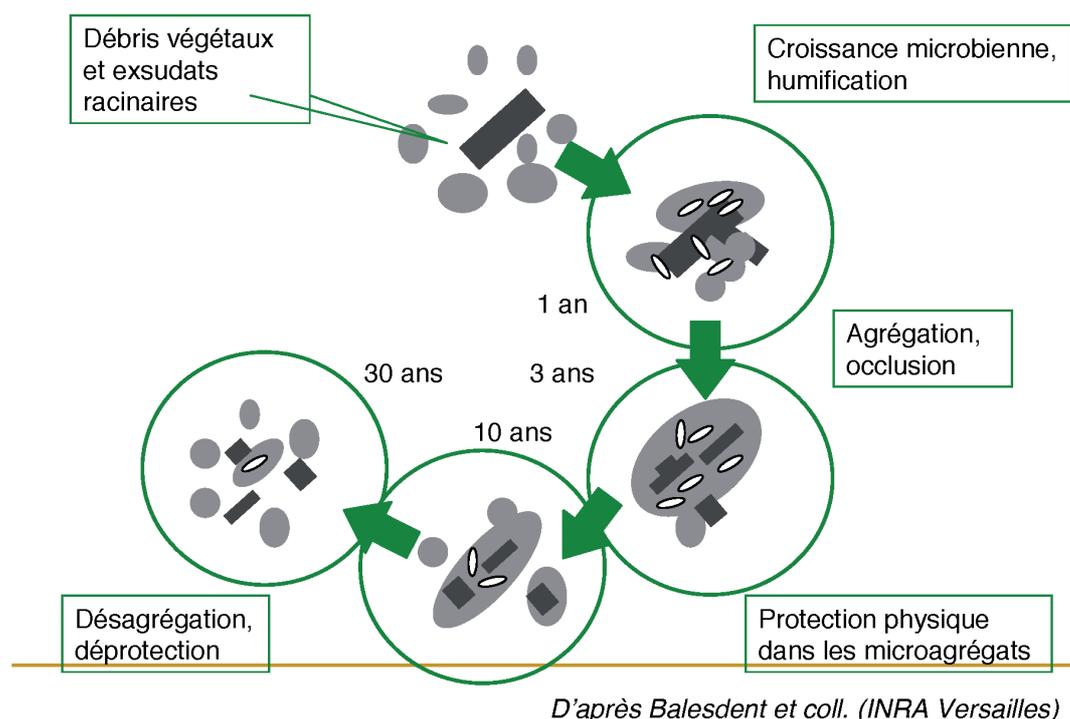
L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports organiques au sol et la vitesse de minéralisation.

Les principales variables pédologiques, climatiques et anthropiques affectant le temps de résidence (turn-over) du carbone dans le sol⁽²⁾ sont :

- (-) La température limite le temps de résidence, la minéralisation augmente avec la température.
- (-) Le labour limite le temps de résidence par la suppression des protections des MO du sol.
- (+) L'engorgement des sols et l'acidité permanente augmentent le temps de résidence, il y a formation de tourbe en conditions froides à long terme.
- (+) La présence d'Aluminium libre augmente le temps de résidence par une protection physique et physico-chimique des MO du sol.
- (+) La teneur et la nature des argiles augmentent le temps de résidence.

D'autres facteurs auraient tendance à augmenter ce temps de résidence⁽²⁾ :

- (+) La fréquence des anaérobioses qui induit un rendement microbien moindre.
- (+) La fréquence de dessiccation du sol, la teneur en carbonates de Ca et Mg contribuent à l'insolubilisation et l'adsorption des MO du sol.
- (+) La proportion de Ca et Mg échangeables et la teneur en calcaire actif assurent une protection physique des MO du sol.
- (+) Les carences en azote et phosphore disponibles limitent l'activité des micro-organismes.

Figure 7 : Devenir du carbone organique ⁽⁷⁾ incorporé par les végétaux dans un sol cultivé (Le Bissonais et al, 2001)

Le temps moyen de résidence du carbone (C) des premiers centimètres dans les sols cultivés français est d'environ 10 ans ⁽⁷⁾ (Figure 7). En général, les 20 à 30 premiers centimètres contiennent plus de la moitié du carbone organique du sol et environ 80 % des flux ⁽⁶⁾ de renouvellement y prennent place (Elzein et Balesdent, 1995).

La caractérisation des MO grâce à l'analyse de sol

Les laboratoires d'analyses de sols réalisent en routine la détermination du taux de MO, de sa teneur en azote total et le rapport carbone organique / azote total dénommé rapport C/N.

Le taux de MO est un élément de base du suivi de la fertilité de la parcelle et un outil d'aide à la décision pour le raisonnement des apports.

Cependant cette teneur ne présage en rien de la qualité des matières organiques. Des analyses complémentaires (fractionnement de la matière organique, biomasse microbienne, minéralisation du carbone et de l'azote) permettent de mieux caractériser ces matières organiques.

A. Les analyses de base

1. Le taux de matières organiques du sol

- L'analyse de terre permet de calculer le taux de matières organiques et aide au pilotage des apports de produits organiques pour l'entretien ou le redressement de ce taux.
- Le taux de MO d'un sol est calculé à partir de la mesure du carbone organique total d'un échantillon de terre fine.

Par convention : **Matières Organiques = Carbone organique total x 1,72**

2. La teneur en azote du sol

Les sols contiennent 2 à 10 t/ha d'azote, essentiellement sous **forme organique** située dans la couche labourée comprise entre 0 et 25/30 cm de profondeur.

L'azote minéral est essentiellement présent sous deux formes : l'ion ammonium (NH_4^+), l'ion nitrate (NO_3^-). L'azote minéral présent dans le sol ne représente généralement que quelques dizaines de kg par hectare.

L'azote total regroupe toutes les formes d'azote minéral et organique présentes dans un échantillon de sol, excepté l'azote gazeux. Il ne fournit aucun renseignement sur l'azote minéral disponible pour le végétal. Il s'interprète essentiellement au travers du rapport C/N. Sur les bulletins d'analyses, le dosage de l'azote total s'effectue par une méthode normalisée : la méthode Kjeldahl (**NTK**) qui cependant ne dose pas les formes oxydées (N-Nox).

Donc $\text{NTK} = \text{azote organique} + \text{NH}_4^+$.

3. Le rapport C/N

C'est un indicateur de l'activité biologique des sols (Tableau 3). Il renseigne sur :

- le degré d'évolution de la matière organique,
- l'activité biologique,
- le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation).

Tableau 3 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N ⁽⁸⁾ (LCA, 2008)

6	8	9	10	11	12	14	
Très faible	Faible		Normal		Légèrement élevé	Élevé	Très élevé
Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique	

Application agronomique : Plus le rapport C/N est élevé (>12), plus l'activité biologique est réduite et la minéralisation rencontre des difficultés. Cela traduit des conditions d'anaérobie, d'acidité excessive...

B. Les analyses spécifiques de fertilité biologique des sols

Le rapport C/N n'est pas suffisant pour apprécier la diversité des MO et le fonctionnement biologique du sol. Il existe d'autres mesures complémentaires de fertilité biologique du sol : le fractionnement des MO du sol ⁽⁹⁾, la Biomasse Microbienne ⁽⁹⁾ et la minéralisation du carbone et celle de l'azote ⁽⁹⁾.

1. Le fractionnement des MO du sol

Le fractionnement granulométrique de la MO consiste à séparer selon leur taille, par tamisage à l'eau, les trois fractions de la MO qui se localisent dans les agrégats du sol :

- la fraction MO libre/rapide (200 à 2 000 μm) : MO non protégée, elle est constituée de résidus végétaux associés à des composés microbiens. C'est la MO la plus sensible aux pratiques agricoles. Elle a un turn-over rapide, de 2 à 3 ans ;
- la fraction MO libre/lente (50 à 200 μm). Elle est située dans les micro-agrégats du sol (sites inaccessibles aux micro-organismes et/ou conditions défavorables à l'activité biologique) et est donc protégée physiquement de la dégradation. C'est la MO en cours de digestion avec un turn-over lent, d'une trentaine d'années ;
- la fraction MO liée/lente (< 50 μm). Il s'agit de la MO protégée chimiquement car en association intime avec les limons et les argiles et protégée biochimiquement car liée à sa composition intrinsèque qui la rend résistante à la dégradation. En général, cette fraction est en proportion majoritaire dans les sols cultivés. Elle a un temps de résidence de plus de 100 ans.

L'analyse de ces trois fractions permettra d'apprécier la dynamique d'évolution des MO et l'effet des composts apportés sur la réserve organique du sol.

2. La Biomasse Microbienne

La mesure de la Biomasse Microbienne (*BM*) représente la quantité de microbes du sol : bactéries, champignons, protozoaires) (cf. tableau 3 page 24). Elle constitue un indicateur précoce de la dynamique des matières organiques qui réagit vite aux réactions favorables ou défavorables du milieu.

Le Tableau 4 présente un exemple de grille d'interprétation d'analyse de biomasse microbienne du sol ⁽⁹⁾.

Tableau 4 : Exemple de grille d'interprétation de la teneur en biomasse microbienne (X. Salducci, 2011)

Teneur en biomasse microbienne Unité : mgC/kg terre	Interprétation	
Entre 0 et 100	Très faible	
Entre 100 et 200	Faible	
Entre 200 et 300	Correct	
Entre 300 et 600	Fort	
Au delà de 600	Très fort	
Type de sol ou de culture Unité : mgC/kg terre	Ordre de grandeur (BM)	Moyenne et variabilité
Sols cultivés	0 à 1000	
Prairies longues durées ou litières forestières	> 1000	
Grandes cultures	200 à 800	
Arboriculture du Sud Est		490 avec variation de 108 à 1 275

X. Salducci ⁽⁹⁾ précise un certain nombre de points supplémentaires sur la biomasse microbienne, concernant son intérêt agronomique :

- mesure directe de la quantité de vie du sol ;
- estimation de la quantité d'éléments minéraux stockée dans la biomasse microbienne, non lessivable, potentiellement bio-disponible ;
- appréciation des potentialités de minéralisation du sol ;
- mesure de l'impact des pratiques culturales sur la fertilité biologique du sol :
 - Quantité et qualité des restitutions organiques,
 - fertilisation et chaulage,
 - pratique d'entretien du sol (travail simplifié, gestion de l'enherbement, etc.),
 - état structural du sol (compaction/décompaction)
 - impact des produits phytosanitaires (Cuivre, ...).

Les classes de la grille d'interprétation doivent être affinées selon les espèces.

3. La mesure des activités microbiennes par incubations contrôlées : la mesure de la quantité de carbone et d'azote potentiellement minéralisable

L'objectif est d'estimer les réserves de MO du sol potentiellement dégradables, c'est à dire les réserves énergétiques facilement accessibles à la faune et à la flore, la stabilité des MO, ainsi que l'azote potentiellement disponible pour les plantes.

3.1 La minéralisation du carbone

De faibles valeurs mesurées indiquent de faibles réserves énergétiques du sol et la biologie du sol a du mal à survivre et proliférer. Il faut apporter des MO facilement dégradables pour stimuler l'activité biologique.

3.2 La minéralisation de l'azote

La minéralisation de l'azote du sol permet d'avoir une estimation du potentiel de fourniture d'azote du sol (à utiliser avec prudence).

C. La stabilité structurale : une analyse spécifique sur les propriétés physiques du sol

La stabilité structurale est mesurée par des tests appliqués au laboratoire.

La méthode « Le Bissonnais » ⁽¹⁰⁾ est appliquée à des agrégats de 3,15 mm à 5 mm séparés du sol par tamisage, séchés à l'air et conservés à sec.

Trois tests sont appliqués à ces agrégats, qui ont pour objectif de rendre compte du comportement du sol dans les différentes conditions climatiques, hydriques et structurales que l'on peut rencontrer à la surface du sol :

- humectation rapide (immersion d'agrégats secs dans l'eau),
- ré-humectation lente (immersion dans l'eau d'agrégats préalablement humectés par capillarité),
- désagrégation mécanique (agitation dans l'eau d'agrégats préalablement humectés dans l'éthanol). La granulométrie de la désagrégation est ensuite déterminée par tamisage ou par granulométrie laser.

Les résultats (Tableau 5) sont exprimés sous la forme de diamètre moyen pondéré (*MWD* exprimés en mm).

Tableau 5 : Classe de stabilité structurale (Le Bissonais, 1996)

MWD moyen (mm)	< 0,4 mm	0,4 à 0,8 mm	0,8 à 1,3 mm	1,3 à 2 mm	> 2 mm
Stabilité des agrégats du sol	Très instable	Instable	Moyennement stable	Stable	Très stable

Cette analyse permet d'appréhender le rôle des MO dans la stabilité de la structure des sols. La stabilité structurale du sol est un bon indicateur de la sensibilité à la battance et à l'érosion hydrique des sols.

A retenir :

» Bien que ne représentant qu'une petite fraction du sol (1 à 10 % de la masse des sols), les matières organiques sont l'un de ses constituants les plus importants. Elles ont un impact direct sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ainsi qu'un rôle nutritionnel vis-à-vis de la plante.

Elles jouent également un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la qualité de l'eau par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides...) et minéraux (éléments traces métalliques).

Mais elles peuvent être aussi source de polluants potentiels, comme les nitrates et les phosphates.

Elles influencent également la qualité de l'air, par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre.

» Le temps de résidence du carbone organique dans les sols est très variable en fonction de l'origine des sols, du climat et de l'usage des terres.

La production de carbone organique est corrélée avec la pluviométrie, les stocks de carbone étant plus faibles dans les régions chaudes et sèches comme le LR.

» Le travail du sol influence le temps de résidence du carbone en modifiant le degré de protection des matières organiques.

En détruisant périodiquement mottes et agrégats et en laissant le sol exposé à l'action désagrégante de la pluie, le travail du sol tend à diminuer la protection des matières organiques et donc à accélérer les phénomènes de dégradation, soit l'effet inverse des argiles.

A approfondir :

» Les connaissances sur le K₂ du sol ;

» Les évolutions des différentes formes d'humus avec des dénominations non standardisées ;

» Les critères d'analyse de sol peu développés en routine comme la stabilité structurale ou la biomasse microbienne. Ces critères doivent être affinés aux conditions LR avec création de référentiel d'interprétation par grands types de cultures.

Pour en savoir plus

- (1) DUPRARQUE A, RIGALLE P, 2011 : *Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO*, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert.
- (2) GIRARD MC et al., 2005 : *Sols et Environnement*, 2ème édition, Editions DUNOD, 2005.
- (3) CHAUSSOD R., 2009 : *Présentation journée « matières organiques »*, Estagel, 09 janvier 2009, Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales.
- (4) Dossier Inra, 2009 : *Le Sol*, Editions Quae, janvier 2009.
- (5) DUCHAUFOR Ph., 1984 : *Abrégé de pédologie*.
- (6) ELZEIN et BALESSENT, 1995 : *Gestion du patrimoine organique des sols viticoles*, 2008, ENTAV-ITV.
- (7) LE BISSONNAIS Y. et al., 2001 : *Présentation au GEMAS-COMIFER*, Blois, 2001.
- (8) LCA, 2008 : *Guide pratique : comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales*.
- (9) SALDUCCI X., 2011: *Diagnostic de la fertilité biologique des sols et gestion de la MO : Concepts –méthodes-applications ...une nouvelle génération d'analyse*, présentation Celesta-Lab au groupe technique MO des chambres d'agriculture du LR, 22 juillet 2010, Celesta-Lab.
- (10) LE BISSONNAIS Y. et al., 1996 : *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), UR Science du Sol INRA-SESCPF, Orléans, 1996.