

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION
D'ANALYSES DE ROUTINE

**QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION
D'ANALYSES DE ROUTINE**

SALDUCCI Xavier

CELESTA, ZA Mas des Cavaliers, 154 rue Georges Guynemer, 34130 MAUGUIO

contact@celesta.fr

Résumé

Les matières organiques des sols constituent un compartiment hétérogène, impliqué fortement dans les différentes composantes de la fertilité des sols, tant physique, chimique que biologique. Nous présentons ici des outils analytiques permettant de différencier au sein du compartiment organique du sol, des fractions caractérisées par des dynamiques d'évolution différentes et impliquées dans des fonctionnalités différentes. Notre méthode d'analyse repose sur 3 techniques innovantes, développées dans des laboratoires de recherche français ou étrangers, et encore peu diffusées en France. Il s'agit des techniques du fractionnement granulométrique de la matière organique (Balesdent, 1991 ; Feller, 1994) qui permet de séparer la matière organique en 2 compartiments de qualités et de fonctions différentes (MO libre ou MO particulaire et MO liée) ; du dosage de la biomasse microbienne par fumigation / extraction (FD ISO 14240-2 ; Chaussod, 1999) ; de mesure du pool de carbone et d'azote potentiellement minéralisable par incubation en conditions contrôlées de température et d'humidité. Ces outils nous permettent de distinguer, par rapport à un dosage traditionnel, normalisée du carbone organique : un compartiment de MO très facilement dégradable, à l'échelle de l'année, et qui sert de support énergétique et de croissance à la microflore et à la faune du sol ; un compartiment très facilement minéralisable, à l'échelle de l'année, d'azote organique ; un compartiment de « MO vivante », la biomasse microbienne, permettant d'apprécier directement le potentiel biotique du milieu ; un compartiment de réserve de MO, la MO libre, facilement dégradable à l'échelle de la décennie et impliqué fortement dans la fertilité biologique et la nutrition des plantes ; enfin, un compartiment prédominant quantitativement, représentant jusqu'à 95% de la MO totale, la MO liée, impliqué dans les processus lents de réaction du sol (supérieurs à 50 ans), et les propriétés physiques des sols (stabilité) et électrique (échange). Nous présentons un exemple d'application dans la gestion de l'entretien d'un sol viticole.

Introduction

Le statut organique d'un sol, paramètre essentiel de sa fertilité, est à ce jour apprécié le plus souvent de manière globale et statique par la teneur totale en carbone organique, complétée éventuellement par le rapport carbone / azote. Or, les matières organiques des sols constituent un compartiment hétérogène, un mélange de composés carbonés aux origines diverses (végétales, animales, microbiennes) et aux fonctions tout aussi diversifiées (stimulation de l'activité biologique, nutrition minérale de la plante après minéralisation, stabilité structurale à court et long terme etc...). Depuis plusieurs décennies, la Recherche Agronomique française et étrangère s'est intéressée à la problématique et a développé de nombreuses méthodes, plus ou moins transposables en routine, permettant d'apprécier les différentes qualités et fonctionnalités des matières organiques des sols. Nous avons choisi, depuis plus de 10 ans, de développer et proposer en routine 3 de ces techniques d'analyse. L'originalité de l'approche est d'associer ces 3 méthodes dans une même analyse afin d'établir un diagnostic plus fin de l'état organique et du fonctionnement biologique du sol.

Nous présenterons dans un premier temps les méthodes que nous mettons en œuvre au laboratoire. Nous les avons sélectionnées pour leur relative facilité d'usage, leur fiabilité et robustesse, mais surtout, pour les renseignements précieux qu'elles peuvent nous apporter sur la qualité biologique d'un sol.

Nous donnerons ensuite quelques éléments d'interprétations et d'applications agronomiques de ces méthodes d'analyses.

Enfin, avant de conclure, nous présenterons et commenterons les principaux résultats obtenus dans un essai viticole mis en place par la Chambre d'Agriculture du Vaucluse, de comparaison de différentes pratiques d'entretien des sols.

Méthodes d'analyses utilisées et paramètres mesurés

1) Le fractionnement granulométrique de la matière organique :

Si l'importance de la MO dans la fertilité des sols est certainement reconnue depuis des millénaires, une meilleure connaissance de celle-ci, en l'occurrence, la distinction de compartiments fonctionnels plus ou moins explicatifs à l'égard de ses différentes fonctions, a buté durant longtemps sur la complexité tant chimique que structurale de ses constituants. Les premières approches fines de la MO des sols ont consisté, il y a plus de deux siècles, à des fractionnements chimiques à base de solutions alcalines et acides. L'ère des **fractionnements humiques** avait démarré. Elle a connu son apogée au milieu du siècle et jusqu'à l'horizon des années 80. Comme le souligne Feller (1994) «...si les fractionnements humiques ont été des outils importants, aussi bien en milieu tempéré (Duchaufour, 1970) que tropical, (Thomann, 1964 ; Perraud, 1971 ; Turenne, 1977 ; Dabin, 1980 et 1981) en termes de typologie et d'écologie des sols, on peut s'interroger par contre, sur leur pouvoir explicatif quant à la compréhension du rôle de la MO dans les propriétés et le fonctionnement actuel des sols... ».

En effet, petit à petit, les limites du fractionnement chimique sont apparues :

* d'une part il est fortement dénaturant, d'où une multitude de complexes moléculaires et un questionnement persistant à l'égard de la représentativité des molécules extraites par rapport à la fraction d'origine, *in situ*,

* d'autre part, il ne répondait pas aux interrogations sur le taux de renouvellement rapide de la MO (quelques mois à une dizaine d'années). Or, ce sont ces processus, tels que la minéralisation, les variations saisonnières de la structure etc... pour lesquels le rôle de la MO est considéré comme essentiel, en particulier dans les agrosystèmes.

L'ère des fractionnements physiques-granulométriques n'a démarré véritablement qu'aux débuts des années 1960, avec les travaux d'Edwards et Bremner (1964, 1967). L'objectif de la méthode est de séparer des **matières organiques jeunes, figurées**, peu transformées et impliquées dans les dynamiques rapides de la MO (minéralisation, réserves de nutriments...), de **matières organiques plus évoluées, associées aux éléments minéraux** et impliquées dans les fonctions structurantes et les dynamiques lentes de la MO (plusieurs dizaines d'années à plusieurs millénaires). Pratiquement, les terres subissent une dispersion poussée avant d'être tamisée à l'eau. Les séparations de MO se font en fonction de la taille de la particule, d'où le terme de fractionnement granulométrique. Différents niveaux de coupures granulométriques peuvent être faites en fonction de la sensibilité recherchée. D'un point de vue agronomique, un consensus semble se dégager sur l'intérêt d'étudier 2 types de fractions, la fraction de taille supérieure à 50 µm, dite fraction libre ou **MO libre**, ou encore MO particulaire, la fraction dite liée ou « **MO liée** » aux limons et argiles, de taille inférieure à 50 µm.

Depuis les travaux d'Edwards et Bremner (1964 – 1967) puis de Bruckert (1978), la méthode de fractionnement granulométrique s'est développée dans le monde au détriment des approches humiques. En France, la diffusion de cette technique c'est faite principalement par les travaux de Feller (1979 à nos jours) et de Balesdent (1991 à nos jours). L'INRA de Versailles a mesuré les temps moyens de résidence du carbone dans les différentes fractions, pour des sols limoneux cultivés.

> 2 mm : moins de 1 an ; 200-2000 µm : 3 ans ; 50-200 µm : 12 ans ; 0-50 µm > 50 ans ; hydrosoluble : 5 ans.

Mode opératoire : Il n'existe pas actuellement de méthode normalisée. Notre méthode a été mise au point à partir des recommandations de Christian Feller (Feller, 1994 ; Gavinelli et al, 1995 ; communication personnelle) et de Jérôme Balesdent (Balesdent et al, 1991 ; communication personnelle).

La première étape consiste à disperser le plus possible les particules, en désagrégeant au maximum les agrégats organo-minéraux de taille supérieure à 50 µm, tout en respectant l'intégrité des débris végétaux.

Une quantité de 40 g de terre séchée à 40°C, tamisée à 2 mm, est mise en suspension dans une solution à 0,25% d'hexamétaphosphate de sodium. Des billes d'agate sont ajoutées et la suspension est agitée entre 2 à 6 h selon la granulométrie du sol, sur agitateur horizontal.

La suspension est ensuite tamisée sous eau, sur tamis à maille carrée de 200 µm et 50 µm.

Les fractions 200-2000 µm et 50-200 µm peuvent être séchées séparément ou ensembles en fonction des objectifs de l'analyse.

La fraction 0-50 µm peut être récupérée et floculée par addition de CaCl₂ à environ 1 pour mille à la suspension. Après décantation, la fraction est récupérée et séchée à 40°C avec les autres.

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION D'ANALYSES DE ROUTINE

Après séchage, les fractions sont pesées, puis broyées pour dosage du carbone organique par oxydation sulfo-chromique (NF ISO 14235) et dosage de l'azote Kjeldahl (NF ISO 11261)

Paramètres déterminés : le fractionnement granulométrique de la matière organique nous permet de déterminer :

- la teneur en MO totale et le rapport C/N de la terre non fractionnée,
- la quantité de MO libre, le rapport C/N de la MO libre et le rapport MO libre / MO totale,
- la quantité de MO liée, le rapport C/N de la MO liée et le rapport MO liée / MO totale.

Éléments d'Interprétation : Chaque fraction a des fonctions biologiques et physico-chimiques qui lui sont plus spécifiques :

- la matière organique libre (MO libre) constitue le support de l'activité biologique du sol qui tend à fractionner et transformer ce compartiment en matière organique plus fine. Ce compartiment revêt un rôle important de réserve dans les sols sablonneux. Il est pourvoyeur d'énergie dans le sol avec un C/N élevé. Si le C/N est supérieur à 25, l'azote aura tendance à être immobilisé dans les premiers mois de culture, entre 20-25, la disponibilité de l'azote dépendra d'autres facteurs comme la taille du compartiment biomasse microbienne, inférieur à 20, l'azote sera disponible pour la plante.

La MO libre participe donc largement à la fertilité du sol en « nourrissant » la biomasse microbienne (et par extension la faune du sol) qui y puise les éléments énergétiques et nutritifs indispensables à son développement. En retour, la microflore et la faune du sol vont contribuer à l'entretien des structures du sol et à son fonctionnement.

- la matière organique liée (MO liée) présente un temps de renouvellement lent (> 50 ans) et constitue en ce sens l'humus stable du sol. Ses fonctions sont essentiellement structurantes. Elle joue également un rôle important dans les propriétés d'échange du sol. Sa dégradation très lente contribue largement à la minéralisation brute d'azote car son rapport C/N est faible. Cependant, cet azote reste peu disponible pour les cultures.

Applications Agronomiques : A l'origine, la teneur et la répartition des MO sont principalement dépendantes de la texture du sol. Plus un sol est argileux, plus la quantité et la proportion de matière organique liée est importante.

Cependant, pour un même type de sol, des différences du ratio MO libre/MO liée sont reliées à des gestions différenciées des sols, en terme de cultures, travail du sol et/ou de gestion des restitutions organiques. Ces modifications conduiront à une différenciation des propriétés tant du point de vue physique, chimique ou biologique.

Les rapports C/N des différentes fractions sont liés à l'origine des MO ainsi qu'à leur degré d'évolution biochimique (« humification »). Ainsi, le rapport C/N de la MO libre peut varier de 10 à plus de 100, en fonction de l'origine des restitutions organiques et de leur ancienneté dans le sol. Ce rapport C/N doit normalement diminuer tout au long de leur cycle de vie dans le sol. De même, le rapport C/N de la MO libre est nécessairement plus élevé que celui de la MO liée. Le contraire doit provoquer une interrogation sur la nature des matières premières apportées au sol et le fonctionnement du cycle de la MO ou sur l'origine pédologique des humus. Il faut ajouter que si le C/N de la MO libre varie rapidement en fonction de la nature et de la fréquence des apports de matières organiques, le C/N de la MO liée est plus stable et moins dépendant des modifications récentes du sol.

Le fractionnement granulométrique de la MO du sol permet une meilleure visualisation des composantes et donc de la qualité de la MO du sol. Le conseil portera sur la gestion de la MO et du travail du sol : quantité et qualité des produits organiques à apporter, enherbement et engrais verts etc...

2) Mesure de la biomasse microbienne

La notion de biomasse microbienne recouvre l'ensemble des microorganismes du sol, bactéries, champignons et dans une moindre mesure la microfaune (Jenkinson et Powlson, 1976). A l'origine, la technique consistait à fumiger un échantillon de terre avec du chloroforme et de mesurer la quantité de C minéralisé (C-CO₂) provenant des corps microbiens en décomposition ou la quantité d'azote minéralisé (sous forme ammoniacale). Par la suite, une méthode plus rapide dite de fumigation-extraction, a été proposée (Wu et al, 1990). Elle consiste à fumiger un échantillon avec du chloroforme, puis immédiatement extraire avec du K₂SO₄ et doser le carbone des corps microbiens, ou éventuellement l'azote, le phosphore ou encore le soufre.

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION D'ANALYSES DE ROUTINE

Cette méthode fait l'objet d'une norme ISO (FD ISO 14240-2, Décembre 1997). Elle a été développée et vulgarisée en France par Rémi Chaussod de l'INRA de Dijon. D'un point de vue agronomique, la biomasse microbienne est présentée comme l'un des indicateurs biologiques les plus fiables et les plus sensibles par de nombreux chercheurs nationaux et internationaux. Présentant un taux de renouvellement élevé (6 à 18 mois), elle répondrait rapidement, de manière très sensible, à de nombreux facteurs agro-pédologiques.

Mode opératoire : Le mode opératoire ci-après est respectueux du protocole proposé par la norme ISO 14240-2, à l'exception de la concentration de l'extractant qui a été diminuée à 0,025 M selon le protocole de Rémi Chaussod (Chaussod et al, 1999).

Deux lots équivalents à 25 g de terre sèche sont réalisés à partir d'un échantillon de terre fraîche, jamais congelé, tamisé à 5 mm et conservé à 4°C. Le premier est immédiatement mis à agiter dans du K₂SO₄ 0,025 M pendant 45 min à température ambiante avant d'être centrifugé 10 min à 5000 g. Le second est traité 22 h avec des vapeurs de chloroforme dans un dessiccateur sous vide, avant de subir la même extraction que le premier lot non fumigé. Le C organique soluble contenu dans les surnageants est dosé par spectrophotométrie infrarouge, après transformation en CO₂ par oxydation au persulfate sous rayonnement U.V. (COT-mètre Tekmar-Dorhmann Phénix 8000).

La quantité de carbone extractible d'origine microbienne est tout d'abord calculée :

$$\text{Carbone Extractible (CE) (mgC/l)} = \text{C extrait Fumigé} - \text{C extrait Non Fumigé}$$

Cette quantité peut être convertie en biomasse microbienne (exprimée en mgC/kg sol) en utilisant un coefficient de proportionnalité (K_{EC}) :

$$\text{Biomasse Microbienne (BM) (mgC/kg terre)} = \text{C.E.} / K_{EC} \quad \text{avec } K_{EC} = 0,45$$

La quantité de biomasse microbienne peut être également exprimée en valeur relative, en pourcentage de la quantité de carbone organique du sol : $(\text{BM} / \text{C organique}) * 100$.

La biomasse microbienne représente donc une quantité de carbone « vivant », constituant une fraction du carbone organique total du sol.

D'un autre point de vue, ce ratio exprime la capacité de la matière organique du sol à produire des microbes. En ce sens, nous le considérons comme un « rendement microbien » de la matière organique, un paramètre qualitatif caractérisant un environnement physico-chimique et une qualité de MO donnée.

Eléments d'interprétation : En général, la biomasse microbienne d'un sol agricole varie entre 0 et 800 mg C/kg. Ses valeurs sont plus importantes pour les systèmes extensifs, prairies permanentes, sols forestiers, pouvant atteindre les 3500 mg / kg pour un horizon organique d'un sol forestier (données personnelles). Si la biomasse microbienne représente directement une quantité de microflore, dans certains sols agricoles, une relation positive a pu être mise en évidence entre la teneur en biomasse microbienne du sol et la quantité de vers de terre (Cluzeau et al, 1999).

Au delà de la température et de l'humidité, les facteurs édaphiques de variation de la biomasse microbienne sont : l'état énergétique du sol (les réserves en MO, particulièrement les MO facilement dégradables), l'environnement physique (structure et porosité, teneur en argile) et chimique (CEC, pH, calcium).

Les études menées à travers le monde et nos propres résultats permettent de tirer quelques grandes règles de la richesse en biomasse microbienne des sols. On peut dire que celle-ci dépend :

- en premier lieu du type de sol : BM sol lourd > BM sol léger > BM sol acide,
- puis du type de système de culture, cet effet étant généralement inférieur au type de sol. Ainsi, pour un même type de sol : BM prairie permanente > BM grande culture > BM arboriculture > BM maraîchage > BM vigne.
- enfin, des variations de pratiques culturales : BM enherbement > BM travail du sol

Le rapport BM/C organique en % ou rendement microbien, varie habituellement entre 0 et 5%. Les valeurs les plus faibles signalent, pour un type de sol donné :

- un environnement physique défavorable à la vie (compaction, tassement), de l'hydromorphie,
- un environnement chimique défavorable à la vie (pH acide, déficit en calcium, toxicité cuprique etc...),
- plus généralement, un manque ou une mauvaise qualité des restitutions organiques.

Les sols de prairie présentent généralement les plus forts rendements microbiens, les sols viticoles désherbés présentent les plus faibles.

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION D'ANALYSES DE ROUTINE

Applications agronomiques : Pour un type de sol donné, des **valeurs élevées de biomasse microbienne** signifient que la fertilité biologique du sol est élevée et donc que les propriétés agronomiques du sol fortement sous la dépendance de la biologie (structuration, porosité, nutrition des plantes, recyclage des matières organiques du sol, état sanitaire) auront les meilleures chances d'être assurées.

A l'inverse, un **faible niveau de biomasse microbienne** signifie de faibles capacités biologiques pour le sol. La culture nécessitera alors plus de soin, c'est à dire plus d'intrants (mécanique et chimique) pour entretenir les propriétés agronomiques du sol.

Pour **augmenter la quantité de biomasse microbienne** et donc l'état biologique du sol, il faudra, en fonction des limitations du sol, améliorer :

- ses réserves énergétiques et de substrats de croissance par l'apport de MO assimilable par la microflore (engrais verts, produits non compostés, fumier, paille, matières animales, engrais organique etc...),
- son état physique, par un décompactage, une limitation des labours, une simplification des labours, le drainage, le chaulage, l'apport d'amendement organique (structurant du sol) etc...
- son état chimique par le rééquilibrage de l'état calcique et l'augmentation du pH (chaulage), la limitation du cuivre et des pesticides.

3) Mesure des activités minéralisatrices du carbone et de l'azote.

Le carbone et l'azote sont les constituants fondamentaux de la MO. Apprécier la disponibilité au champ de ces composés est une connaissance fondamentale dans la gestion des sols et des cultures. Si de nombreux tests chimiques existent pour estimer la biodisponibilité de ces éléments, les tests biologiques en laboratoire, par incubation de terre en conditions contrôlées de température et d'humidité, sont sans doute les techniques les plus fiables (Catroux et al, 1987). Ce sont des méthodes anciennes qui ont été proposées dès 1949 pour l'étude de la minéralisation de l'azote par Drouineau et Lefèvre, et dès 1960 pour caractériser différents types de sols par l'utilisation d'un indice de minéralisation du carbone (Dommergues, 1960). Ces techniques peuvent être utilisées pour estimer le carbone ou l'azote facilement minéralisable d'un sol. L'azote ou le carbone minéralisé dans ces conditions peut être relié à des résultats obtenus en serre ou en champ. Malgré les conditions expérimentales artificielles (température et humidité constante, non prise en compte de la plante), les estimations de la minéralisation nette du sol obtenues à l'aide de ces incubations simulent bien la minéralisation nette mesurée au champ (Nicolardot et al, 1997).

Mode opératoire : L'analyse est effectuée à partir d'un échantillon de terre fraîche, tamisée à 5 mm et conservée à 4°C. Cet échantillon est divisé en 2 lots équivalents chacun à 40 g de matière sèche. Un des lots est extrait immédiatement par du KCl 0,5 M. Après centrifugation 10 min à 5000 g, les reliquats d'azote nitrique et ammoniacal sont dosés par colorimétrie en flux continue. L'humidité du second échantillon est ajustée proche de son humidité équivalente, avant incubation dans un pot étanche de 1 litre et en présence de 20 ml de soude. L'ensemble est mis à incuber à 28°C, durant 28 jours. En fin d'expérimentation, le carbone minéralisé (C-CO₂) fixé par la soude est dosé par volumétrie, et la quantité d'azote minéral (N-NO₃ + N-NH₄) extrait de l'échantillon de terre incubé est déterminée par colorimétrie.

Paramètres calculés et expression des résultats : L'analyse permet de déterminer :

- la quantité de carbone minéralisé durant 28 jours : C minéralisé (mgC-CO₂ / kg terre sèche / 28 j)
- un Indice de minéralisation du carbone sur 28 jours : C minéralisé / C organique total * 100
- la quantité nette d'azote minéralisé sur 28 jours : N minéralisé (mgN-NO₃+NH₄ / kg terre sèche / 28 j)
- un indice de minéralisation de l'azote sur 28 jours : (N minéralisé / N total kjeldhal) * 100
- la Respiration Spécifique (RS) de la biomasse microbienne : mgC minéralisé / g Biomasse Microbienne / jour (mgC-CO₂ / g C-BM / j)
- une estimation de la fourniture potentielle d'azote du sol pour la culture : N minéralisé x 5,25 (U) (1 ha = 3500 t)

Eléments d'Interprétation :

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION D'ANALYSES DE ROUTINE

Minéralisation du carbone :

- La quantité de **carbone minéralisé** (C minéralisé) après 28 jours est un indicateur de la réserve du sol en matière organique facilement accessible par la microflore et la faune du sol. Les valeurs mesurées sont de l'ordre de 0 à 800 mgC-CO₂ / kg terre / 28 j pour des sols agricoles. Si les valeurs sont faibles (< 200 mgC-CO₂ / kg terre / 28 j), les réserves énergétiques du sol sont faibles, la biologie du sol (faune et biomasse microbienne du sol) a du mal à survivre et à proliférer, et les propriétés biologiques des sols s'effondrent petit à petit. Il faut rapporter des MO facilement dégradables (enherbement, produits organiques etc...) pour entretenir la biologie du sol. Momentanément, la fertilité chimique peut encore être bonne, mais les propriétés physiques des sols peuvent devenir limitantes.
- **L'Indice de Minéralisation du carbone** (C minéralisé / C Total *100) est la proportion de carbone «actif» pour 100 g de carbone total. En ce sens, ce rapport représente « l'activité » de la MO du sol. Cet indice varie habituellement entre 0 et 5% pour les sols agricoles. Un indice de minéralisation « normal » semble se situer entre 2 et 3%. Un indice inférieur traduit une stabilisation forte de la MO du sol (un « endormissement »). Il faut plutôt chercher à activer la MO du sol. Un indice élevé correspond soit à de fortes restitutions organiques facilement dégradables (cas des prairies ou des enherbements), ou à une déprotection ou non protection de la MO (travail du sol, hydromorphie).
- Le rapport **Carbone minéralisé / Biomasse Microbienne** (Cm/BM) (ou « **Respiration Spécifique** ») caractérise la capacité respiratoire de la biomasse microbienne et précise son fonctionnement. On peut parler de «taux de renouvellement» journalier de la biomasse microbienne (Chaussod et al, 1999). Il varie entre 0 et 150 mg C-CO₂ / g C-microbien / jour. Une respiration spécifique élevée (supérieure à 60-80 mg C-CO₂ / g C-microbien / jour) signifie une consommation excessive de la MO sans production de biomasse microbienne. Cela peut être lié à un « stress » de la biomasse microbienne ou à un apport très récent, non assimilé de produits organiques labiles. Un environnement physico-chimique défavorable ou une MO peu énergétique, stabilisée peuvent conduire à un « stress » microbien. Une respiration spécifique « normale » (entre 40 et 60 mg C-CO₂ / g C-microbien/ jour), est en fait le signe d'un bon équilibre physiologique de la biomasse microbienne (pas de stress nutritionnels ou environnementaux).

Minéralisation de l'azote :

La quantité d'**azote minéralisé** après 28 jours d'étuve dans des conditions standardisées et optimisées reflète le potentiel minéralisateur d'azote du sol. A partir de cette valeur, on peut estimer une quantité d'azote minéral pouvant être fournie par le sol à la culture. Cette quantité, calculée pour 3500 t de terre par / ha est à prendre avec prudence, mais permet de matérialiser plus facilement le pouvoir nourricier du sol, et de comparer des pratiques culturales entre elle, pour un même type de sol.

L'Indice de minéralisation de l'azote (rapport N minéralisé / N total * 100) permet d'estimer la proportion d'azote du sol réellement disponible pour la plante. Il varie entre 0 et 4%. Parfois, des indices de minéralisation négatifs peuvent être obtenus. Cela signifie que l'azote minéral est réorganisé dans le sol (immobilisation par la biomasse microbienne). L'azote ne sera plus disponible pour la plante durant les 2 à 3 mois (au minimum) qui suivent le prélèvement et qu'il faudra donc intégrer cette information dans son itinéraire cultural.

La méthode d'analyse utiliser permet de distinguer la fraction nitrique de la fraction ammoniacale de l'azote minéralisé. Habituellement le **rapport NH₄/NO₃** est inférieur à 10%. Des valeurs supérieures interrogent sur l'état physique du sol (porosité insuffisante, compaction) ou chimique (état calcique, pH, cuivre, métaux lourds) ou même organique (présence d'une grande quantité de matière organique labile de type animal).

Exemple d'application : modification de la gestion de l'entretien du sol en viticulture et impact sur l'état organique et le fonctionnement biologique du sol.

Un essai de comparaison de techniques d'entretien du sol a été mis en place il y a 7 ans par la Chambre d'Agriculture du Vaucluse sur la commune de Ste Cécile Les Vignes (84).

Le sol viticole est homogène, de type calcaire peu caillouteux, de texture argilo-limoneuse. L'entretien du sol se fait selon 2 modalités. La première consiste en la destruction de l'enherbement de la vigne au moment du débourrement par traitement au glyphosate, la seconde maintient un enherbement naturel permanent (ENP). Les sarments sont restitués dans tous les cas et aucun apport de produits

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION D'ANALYSES DE ROUTINE

organiques n'a été fait. Des échantillons de terre ont été prélevés en mai 2007, après 7 ans de gestions différenciées. Les principaux résultats sont présentés et résumés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Influence du mode de gestion de l'enherbement sur la dynamique biologique et organique de la parcelle viticole de Ste Cécile (84).
(Essai Chambre d'Agriculture du Vaucluse - 2007)
Modalité 1 : Enherbement détruit au débourrement
Modalité 2 : Enherbement naturel permanent

Référence	Matière Organique (%)				C/N			Biomasse Micro.		C minéralisé		N minéralisé		
	MOtotale	MOlibre	MOliée	MOlibre/MOtot	2 mm	MOlibre	MOliée	mgC/kg	%Corg.	mgC/kg/28j	%Corg.	mgN/kg/28j	%Norg.	U / an
Détruit débourrement	2,14	0,36	1,78	17%	9,8	12,6	9,4	190	1,5	264	2,1	6,4	0,6	38
EN Permanent	2,24	0,48	1,76	21%	9,6	12,9	9,0	294	2,3	677	5,2	13,1	0,8	73
<i>Ecart ENP/ENDétruit</i>	<i>5%</i>	<i>35%</i>	<i>-1%</i>	<i>29%</i>	<i>-2%</i>	<i>3%</i>	<i>-4%</i>	<i>55%</i>	<i>48%</i>	<i>156%</i>	<i>144%</i>	<i>106%</i>	<i>39%</i>	<i>90%</i>

On constate dans un premier temps que les variations de teneurs en MO totale ou en MO liée ne sont pas significatives entre les 2 modalités. C'est principalement la teneur en MO libre qui est modifiée avec une augmentation de 35% de la MO libre de la modalité ENP par rapport à la modalité Enherbement détruit. Ceci est en relation avec la présence prolongée de l'enherbement pour cette modalité et, semble t'il, plus de restitutions annuelles. On n'observe pas de conséquences significatives sur les rapports C/N des fractions.

L'ENP augmente fortement la quantité de biomasse microbienne, en valeur absolue (+55%), ainsi qu'en valeur relative (+48%). Ceci signifie que le rendement microbien du sol sous ENP est plus élevé et que le sol est donc plus favorable à la production de biomasse microbienne.

La modalité ENP augmente également fortement le pool de carbone potentiellement minéralisable, qui est multipliée par 2,5. Ce compartiment est la principale source d'énergie et de croissance de la biomasse microbienne et explique en grande partie les augmentations de biomasse microbienne précédemment observées. Le coefficient de minéralisation du carbone est également multiplié par 2,4 et caractérise un enrichissement de la MO totale par une fraction très facilement minéralisable, comme peuvent l'être les restitutions herbacées plus abondantes de l'ENP. Ceci est à rapprocher des augmentations de MO libre observées par le fractionnement granulométrique.

Les quantités d'azote potentiellement minéralisable, ainsi que le coefficient de minéralisation de l'azote du sol et les estimations de fourniture d'azote à la culture sont également nettement augmentées par la modalité ENP.

En conclusion, dans le cadre d'un essai d'entretien du sol où les différentes modalités conduisent à de très faibles variations des teneurs en MO totale et de leur rapport C/N, les outils analytiques plus fins que sont le fractionnement granulométrique de la matière organique, le dosage de la biomasse microbienne, et les incubations contrôlées, permettent de mettre en évidence de fortes variations sur le comportement dynamique de la matière organique. Ceci reste à analyser au regard du comportement de la culture.

Conclusions

Nous possédons d'ores et déjà, des techniques fiables, robustes, assez faciles à mettre en place dans un laboratoire en routine, permettant de caractériser de manière fine les qualités organiques et biologiques du sol. Elles permettent d'aborder, au travers d'une approche compartimentale de la MO, les relations dynamiques qui existent entre la gestion des sols et les compartiments de MO, la quantité de microbes et les variations de leur activité.

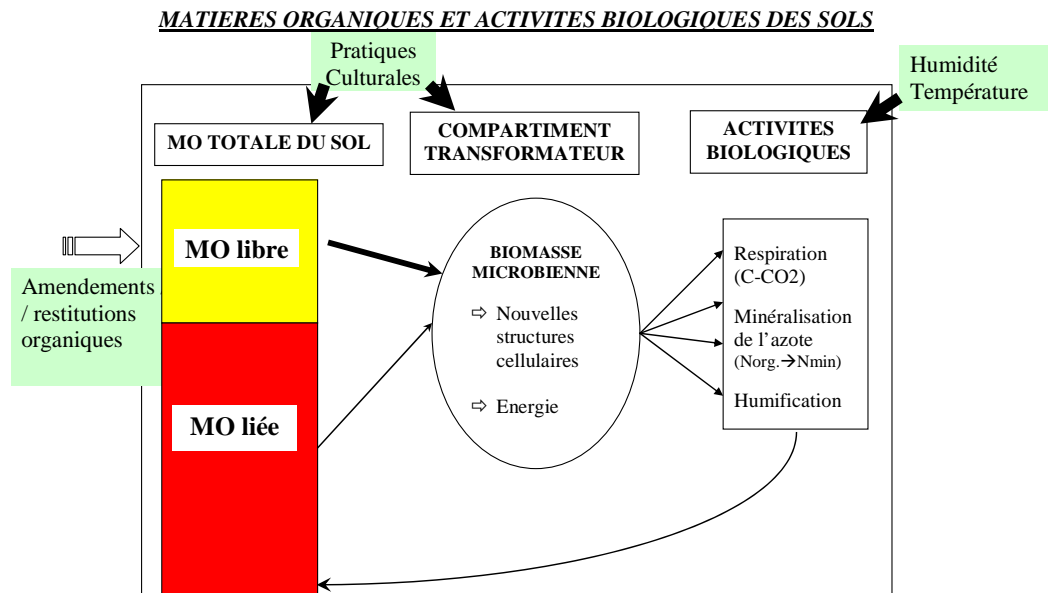
Ces techniques intéressent particulièrement le monde agricole pour évaluer l'impact de telle ou telle pratique agricole sur l'état organique du sol et ses conséquences sur les composantes physiques, chimiques et biologique de la fertilité des sols.

Pris isolément, chaque paramètre organique ou biologique a une faible valeur explicative. Son interprétation et donc son intérêt agronomique sont limités, à moins de posséder un référentiel solide, mais difficile à élaborer tant le nombre de paramètres à prendre en compte est important.

Cependant, la lecture globale et le recoupement des informations fournies par l'ensemble des paramètres vus précédemment nous permettent de visualiser le fonctionnement du sol dans son ensemble. En effet, d'une part chaque paramètre réagit aux variations édaphiques ou culturales de son environnement et exprime une fonction biologique, d'autre part, chaque paramètre correspond à un compartiment de durée de vie différente mais en lien avec les autres.

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION D'ANALYSES DE ROUTINE

Le schéma ci-après permet de synthétiser l'ensemble des liens qui existent entre l'approche compartimentale de la MO, le fonctionnement biologique d'un sol, ainsi que l'impact de différents facteurs climatiques ou culturaux.



Si ces analyses sont déjà utilisées dans le cadre d'études menées par des centres d'expérimentation régionaux ou nationaux, pour divers systèmes de culture (grande culture, arboriculture, viticulture, maraîchage), où dans le cadre du suivi de l'évolution dans le temps de parcelles dans des exploitations agricoles, leur vulgarisation et leur développement à grande échelle semble difficile. Malgré l'intérêt de ces outils, une généralisation de leur usage doit passer par un développement systématique de référentiels régionaux, voire locaux, où au-delà du type de sol, les pratiques culturales, la profondeur de prélèvement et la période de prélèvement doivent être soigneusement notés et prises en compte.

Principales Références Bibliographiques :

- Bruckert S., Andreux F., Correa A., et Ambouta J.M.K.** – 1978 – Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols. *In* : C.R. 11^{ème} Cong. Int. Sci. Sol, A.I.S.S., Edmonton, Canada.
- Balesdent, J., Pétraud, J., et Feller, C** – 1991 – Effets des ultra-sons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols – *Science du Sol*, 29(2) : 95-106
- Catroux, G., Chaussod R. et Nicolardot B.** – 1987 – Appréciation de la fourniture d'azote par le sol – *C.R. Acad. Agric. Fr.* – 73(3) : 71-79
- Chaussod R., B. Nicolardot, G. Catroux et J. Chrétien** - 1986 - Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du Sol* - 2: 213-226
- Chaussod R., Breuil M.C., Nouaïm R., Levêque J., Andreux F.** – 1999 – La fertilité des sols viticoles : les indicateurs microbiologiques – *In* 12^{ème} colloque Viticole et Œnologique, Cahier Technique 1999, ITV France, Paris, p 15-22
- Cluzeau D., Cannavacciuolo M. et Peres G.,** 1999. Indicateurs microbiologiques des sols : les lombriciens. *In* « Euroviti : 12^{ème} colloque viticole et Œnologique » - ITV France, pp 25-38)
- Edwards A.P. et Bremner J.M.** - 1964 – Use of sonic vibration for separation of soil particles -*Can. J. Soil Sci.*, 44 : 36
- Feller, C.,** 1979, Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux, à texture grossières, très pauvre en humus. *Cahier ORSTOM*, série Pédologie, XVII(N°4), 339-346)

QUALITE DES MATIERES ORGANIQUES DES SOLS : UNE NOUVELLE GENERATION
D'ANALYSES DE ROUTINE

Feller, C., 1994, La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse d'Etat, ORSTOM Editions, N°144, 393 p

Gavinelli E., C. Feller, M.C. Larré-Larrouy, B. Baye, N. Djegui and J. de D. Nzila - 1995 - A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation : examples for tropical soils - Commun. Soil Sci. Plant Anal. - 26: 1749-1760

Jenkinson, DS and D.S. Powelson - 1976 – The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V) A method for measuring biomass. Soil Biology and Biochemistry – 8: 209-213

Nicolardot B., Mary B., Houot S., et Recous S – 1987 - La dynamique de l'azote dans les sols cultivés – In Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, Reims, 19-20 novembre 1996, Ed. INRA, Paris, Les colloques N°83 : 87-103

Wu, J., Joergensen R.G., Pommerening, B., Chaussod, R., and P.C. Brookes - 1990 – Measurement of microbial biomass C by fumigation-extraction – An automated procedure. - Soil Biol. Bioch. - 22: 1167-1169