



Spectrophotomètre
UV/visible.
© V. van de Kerchove

Analyses agronomiques

De nombreux moyens existent pour analyser et décrire les sols et les matières organiques. Les résultats des analyses agronomiques permettent d'évaluer leurs caractéristiques dans le but de prédire l'évolution des matières organiques apportées au sol (les matières organiques « exogènes »). L'objectif final est de donner un conseil à l'agriculteur.

Ce chapitre présente certaines analyses de la matière organique du sol et des matières organiques exogènes, comme les teneurs en azote et en carbone, les différents indices de stabilité ou de minéralisation.

Les conseils sur le prélèvement des échantillons de sol et des matières organiques exogènes sont donnés dans les deux fiches *Prélever des matières organiques* et *Prélever un échantillon de sol*.

L'analyse de la matière organique du sol	54
L'analyse des matières organiques exogènes	55
Résultats du laboratoire d'analyse et interprétation	58
Analyses rapides dans l'exploitation	59
Ce qu'il faut retenir du chapitre 4	60

L'analyse de la matière organique du sol

Teneurs du sol en carbone et en matière organique

Il est assez facile de déterminer la teneur en carbone organique d'un sol ou d'une matière organique. Ces mesures, largement utilisées, ont été mises au point depuis longtemps.

Pour calculer la teneur en matière organique du sol (MO %, ou g/100 g de sol sec), la teneur en carbone du sol (C %, ou g/100 g de sol sec) est multipliée par un coefficient de valeur 1,72 : $C \% \times 1,72 = MO \%$.

Le coefficient 1,72 correspond à la proportion moyenne de carbone dans la matière organique du sol (cette proportion est de 58 %). Ce coefficient a été vérifié en 2004 pour les sols sous canne à sucre de La Réunion. Mais, pour les andosols, ce coefficient pourrait être plus proche de 2.

Teneurs du sol en azote

Les teneurs en azote (N ‰, « pour mille », ou g/kg de sol sec) fournies par les analyses de sol comprennent la totalité de l'azote (organique + minéral). L'essentiel de l'azote total est constitué par l'azote provenant des molécules organiques du sol.

L'azote minéral (nitrate et ammoniac) peut aussi être dosé séparément, mais il n'est pas stable au cours du temps et il représente en général une faible part de l'azote total dans les sols.

Rapport C/N

La connaissance des teneurs en carbone (C %) et en azote (N ‰) permet le calcul du rapport C/N. Ce rapport est largement utilisé pour caractériser et classer les types de matières organiques contenues dans un sol. Pour les sols de La Réunion, C/N varie de 8 à 25 environ.

Biomasse microbienne vivante

La mesure de la biomasse globale d'un sol permet d'évaluer son activité biologique. Elle est exprimée en milligrammes de carbone par kilogramme de sol (mg C/kg sol) ou en pourcentage du carbone organique total du sol. Comme ce n'est pas une analyse de routine, elle n'est pas incluse dans les analyses standard de sol.

Minéralisation du carbone et de l'azote

Le potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote d'un sol peut être évalué en conditions contrôlées. La minéralisation est mesurée en dosant les dégagements de CO_2 et de nitrates pendant plusieurs mois, selon une procédure normalisée. Cela permet de calculer les coefficients de minéralisation potentiels annuels. Pour le carbone, on obtient le coefficient K_2 (en % du carbone organique total), ou coefficient de destruction annuelle de la matière organique du sol. Pour l'azote, on obtient le coefficient de minéralisation annuelle (en % de l'azote total).

Les minéralisations du carbone et de l'azote n'étant pas forcément liées, ces deux mesures sont réalisées de façon indépendante. Elles permettent de mieux estimer la fourniture en azote du sol et la vitesse de disparition du stock organique du sol.



Arrivée des échantillons de terre au laboratoire et séchage en cuvettes. © V. van de Kerchove



L'analyse des matières organiques exogènes

Les analyses agronomiques pratiquées sur la matière organique du sol peuvent également être appliquées aux matières organiques exogènes. Il peut être intéressant de compléter ces analyses par des déterminations plus spécifiques, qui sont décrites ci-après.

Rapport C/N

Comme pour le sol, le rapport C/N est souvent utilisé pour prédire la stabilité d'une matière organique simple dans le sol. Une matière à faible C/N (4 à 12) va être rapidement minéralisée en fournissant beaucoup d'azote minéral. La dégradation d'une matière à fort C/N (15 à 20) va à l'inverse provoquer l'immobilisation de l'azote du sol par les microorganismes.

Ce raisonnement s'applique bien aux résidus de culture (pailles). Mais le rapport C/N ne rend pas complètement compte du comportement des matières organiques complexes comme les boues, les composts et les fumiers.

Indice de stabilité biochimique (ISB)

La détermination de l'indice de stabilité biochimique (ISB) est utilisée depuis quelques années en analyse de routine en laboratoire. Cette détermination consiste à identifier différentes fractions de la matière organique par des séparations biochimiques et à en déduire la résistance de l'ensemble à la biodégradation. L'ISB est la proportion de matière organique stable dans les matières organiques apportées. Des études récentes menées au champ ont montré une corrélation satisfaisante entre l'ISB et le taux résiduel de matière organique dans le sol.

La valeur de l'ISB varie de 0 à 1 (il est généralement exprimé en %, et varie donc de 0 à 100 %). Pour les fumiers et les composts, l'ISB est supérieur à 0,4 (40 %) et peut atteindre plus de 0,8 (80 %).



Appareil d'analyse des teneurs en N et C.
© V. van de Kerchove

La détermination de l'ISB permet d'obtenir des informations complémentaires à celles du rapport C/N. Un autre indice proche, la CBM, ou caractérisation biochimique de la matière organique, permet de regrouper les produits par catégorie de biodégradabilité.

L'ISB et la CBM ne s'appliquent qu'aux matières organiques formées à partir de matières et de résidus végétaux contenant essentiellement de la cellulose. On peut déterminer l'ISB et la CBM pour les lisiers de bovin qui contiennent des résidus végétaux, mais difficilement pour les lisiers de porc. Les indices ISB et CBM ne s'appliquent pas aux matières dont la teneur

en lipides dépasse 5 %, comme les effluents de laiterie ou d'huilerie.

La détermination de l'ISB ou de la CBM donne des valeurs potentielles, car les analyses sont faites sur une matière finement moulue. De ce fait, il n'est pas tenu compte de la structure ni de la granulométrie de la matière initiale. Or la consistance physique des matières organiques peut jouer un rôle important sur leur évolution dans le sol.

Coefficient isohumique (K_i)

La transformation des matières organiques apportées à la parcelle contribue à la formation d'humus. L'efficacité de ce processus peut être estimée par le rapport entre la quantité de carbone de la matière apportée et la quantité de carbone transformée en humus. Ce rapport s'appelle le coefficient isohumique K_i .

La valeur de K_i varie de 0 à 1 (il est généralement exprimé en %, et varie donc de 0 à 100 %). Les matériaux ayant subi un compostage prolongé ont un K_i élevé. Les matières animales (fiente, lisier, boue) ont un K_i faible.

Le coefficient K_i , les indices ISB et CBM donnent les mêmes indications.

L'évaluation de K_i nécessite la mise en place d'essais au champ pluriannuels où des fumures organiques sont régulièrement apportées. Pendant plusieurs années, la variation du taux de matière organique du sol est alors mesurée. Le coefficient K_i est spécifique de chaque type de matière organique. Les valeurs de K_i sont disponibles dans des bases de données. Elles ont une valeur indicative car K_i dépend de nombreux facteurs, comme le type de milieu et le sol.

Minéralisation du carbone et de l'azote

Le potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote d'une matière organique peut être évalué en conditions contrôlées de laboratoire. Ce test s'applique à toutes les matières organiques.

La minéralisation est mesurée en dosant les dégagements de CO_2 et de nitrates pendant plusieurs mois, selon une procédure normalisée. Cela permet de calculer les coefficients de minéralisation potentiels annuels.

Les minéralisations du carbone et de l'azote n'étant pas forcément liées, ces deux mesures sont faites de façon indépendante. Elles permettent de mieux estimer la fourniture en azote de la matière organique et sa contribution à l'activité biologique du sol. La **figure 1** donne une illustration des résultats obtenus par ces déterminations.

Des ajustements à des modèles permettent d'évaluer la proportion de carbone résiduel, qui représente 1 à 80 % du carbone initial selon les matières. Comme pour l'ISB et la CBM, ces mesures donnent des valeurs potentielles de minéralisation et ne prennent pas en compte la consistance physique de la matière organique.

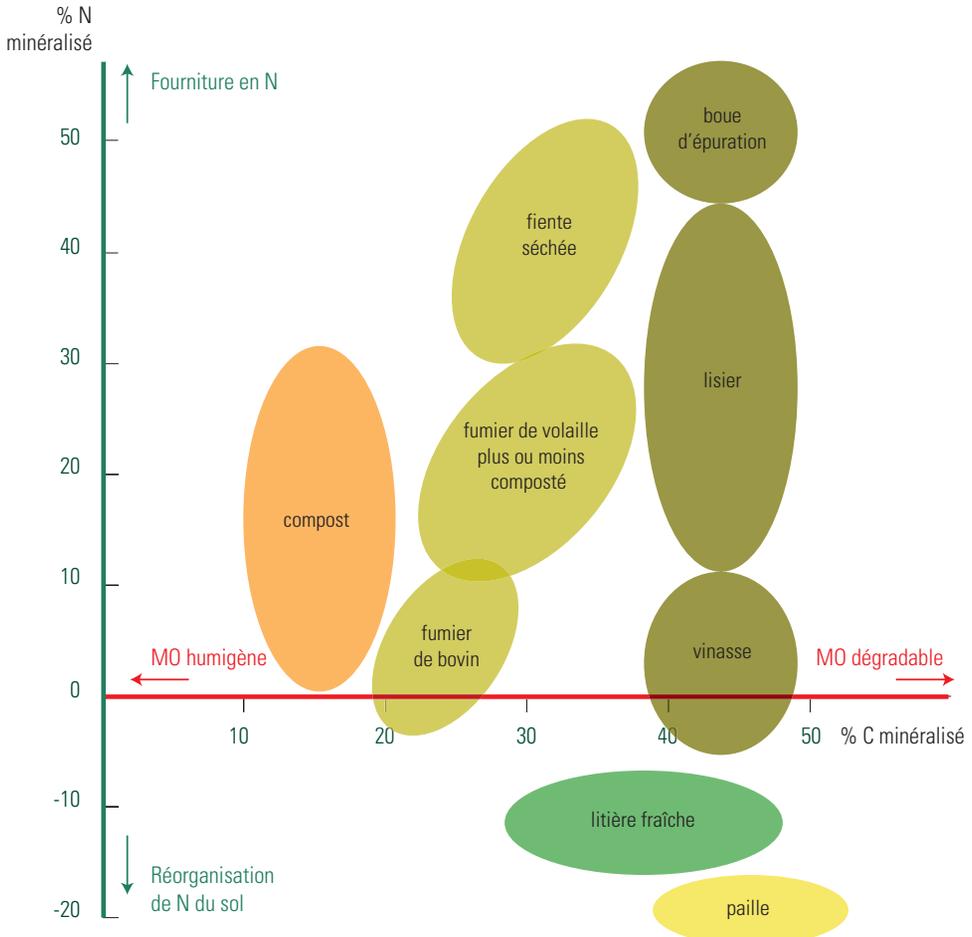


Colorimètre automatique.
© V. van de Kerchove



Figure 1.

Classement des matières organiques en fonction des caractéristiques de minéralisation de l'azote et du carbone. (MO : matière organique ; N : azote total ; C : carbone total).



L'axe horizontal figure la proportion du carbone des matières organiques minéralisé rapidement (C %), c'est-à-dire en quelques mois (3 à 6 mois selon les matières organiques et les conditions de la parcelle). La valeur de ce pourcentage s'interprète comme un indice du pouvoir amendant (ou pouvoir humigène) : plus C minéralisé est élevé, plus le pouvoir amendant est faible. Les matières organiques de type « amendement organique » ont des valeurs de C % faibles. Les matières organiques de type « engrais organiques » ont des valeurs de minéralisation du carbone supérieures à 30 %.

L'axe vertical figure la proportion de l'azote des matières organiques minéralisé rapidement (N %), c'est-à-dire en quelques mois (3 à 6 mois selon les matières organiques et les conditions de la parcelle). Les produits humigènes (composts, valeurs faibles de N minéralisé) fournissent assez peu d'azote. Inversement, les boues d'épuration sèches et les lisiers (valeurs fortes de N minéralisé) fournissent rapidement leur azote.

Pour les produits intermédiaires dont le carbone est assez vite minéralisé (C % de l'ordre de 20 à 35 %), la fourniture d'azote est variable : faible pour les fumiers de bovin, forte pour les fientes et fumiers de volailles. Les fientes séchées et les fumiers de volailles sont intéressants pour la nutrition des plantes parce qu'ils libèrent leur azote de façon régulière pendant quelques mois.

Toutefois, pour les matières comme les fumiers frais et les pailles, qui sont pauvres en N et à fort C/N, C est rapidement minéralisé par les microorganismes (40 à 50 % en quelques mois). Cette minéralisation entraîne l'immobilisation d'une partie de l'azote du sol pour la réorganisation microbienne, figurée par des valeurs de N % négatives.

Résultats du laboratoire d'analyse et interprétation

Dans le cas des analyses standard de sol (qui comprennent la détermination de la matière organique, des éléments fertilisants, etc.), le laboratoire du CIRAD de La Réunion interprète les résultats et donne un conseil pour la correction du sol et le plan de fumure.

Dans le cas de l'analyse standard de matières organiques, les laboratoires, comme celui du CIRAD à La Réunion, délivrent en général une fiche de résultats analytiques qui n'est pas interprétée. L'interprétation est à la charge du technicien qui se réfère à des tableaux comparatifs. Les teneurs données en matière sèche et en éléments minéraux permettent de calculer les quantités de N, P, et K apportées par une tonne ou un mètre cube de matière organique.

Les analyses qualitatives (ISB, potentiel de minéralisation) permettent d'apprécier la valeur fertilisante de la matière organique.



Stockage de compost. © V. van de Kerchove

! Pratique

Le laboratoire du CIRAD à La Réunion

A La Réunion, le laboratoire du CIRAD (certifié ISO 9001:2000) est équipé pour des analyses standard de sol et de matières organiques. Le laboratoire interprète les résultats de l'analyse de sol, mais pas ceux de l'analyse des matières organiques, qui doit être faite par le technicien.

Au laboratoire du CIRAD, le système expert d'interprétation des analyses de sol est amélioré en continu en fonction des nouvelles connaissances. Plusieurs milliers d'analyses de sol géoréférencées sont enregistrées dans la base de données du laboratoire, ce qui permet de garantir des conseils adaptés aux types de sol et de culture. Le conseil en fertilisation quantifie les éléments nécessaires à la culture, il définit les corrections du sol (acidité, phosphore, potassium) et il propose un plan de fumure d'entretien de la culture pour un niveau de rendement donné.

Pour les déterminations des éléments traces métalliques (ETM), des résidus d'herbicides ou d'autres caractéristiques plus complexes, le CIRAD travaille avec des laboratoires métropolitains spécialisés.

En 2005, au laboratoire du CIRAD de La Réunion, le coût de l'analyse de sol standard était de l'ordre de 63 € TTC et le coût de l'analyse standard de matière organique, 71,60 € TTC.

Choix d'un autre laboratoire d'analyse

Les analyses de sol peuvent être faites par un laboratoire métropolitain (INRA-Arras, laboratoires de coopératives agricoles, laboratoires privés...). Mais l'interprétation est alors plus difficile, voire impossible, si les méthodes d'analyse sont différentes et si la comparaison est faite par rapport aux sols métropolitains. Les méthodes d'analyse des laboratoires ne sont pas toutes adaptées aux sols tropicaux, en particulier aux andosols.

Les analyses de matières organiques peuvent en revanche être faites aussi bien par le laboratoire du CIRAD à La Réunion que par tout autre laboratoire de la métropole : les résultats sont équivalents.



Analyses rapides dans l'exploitation

Des techniques d'analyse rapide du sol ou des matières organiques sont employées en vue d'un pilotage en temps réel de la fertilisation ou des épandages. Elles gardent une certaine imprécision et ne remplacent donc pas les analyses complètes.

Pour les sols

Pour le pilotage de la fertilisation en temps réel de certaines cultures (fraisiers, maraîchage), il existe des mallettes de kit d'analyses (appareils commerciaux utilisés à La Réunion : Nitratest®, Nutrichek®, RPflex®). Ces kits permettent de réaliser les analyses sur le terrain. Les extractions de sol se font avec de l'eau (500 g de sol pour 500 ml d'eau) et les analyses des filtrats se font avec des bandelettes réactives ou par ajout de réactifs pour une mesure photométrique.

L'estimation des quantités d'éléments présents dans le sol est donnée à partir d'une formule ; il est important de bien paramétrer les coefficients de la formule en fonction du sol analysé. L'interprétation se fait à partir de ces estimations et du suivi de ces quantités en fonction du cycle de la culture.

Pour les matières organiques exogènes

Il est possible, pour certaines matières organiques, d'envisager des déterminations rapides de la teneur en azote (**tableau 1**).

Les lisiers de porc en particulier peuvent être analysés rapidement pour estimer leur teneur en matière sèche ou en ammoniac. Trois techniques sont possibles : le densimètre, les appareils commerciaux (utilisés à La Réunion) Quantofix® et Agro-lisier®.

Le densimètre (lisier de porc)

Un densimètre étalonné de 1 000 à 1 060 g/l permet d'estimer la matière sèche d'un lisier et d'évaluer les teneurs en N, P, et K d'après une table de référence.

Le densimètre est plongé simplement dans le seau de prélèvement, la lecture est directe (attention à l'étalonnage, qui est donné pour 15 °C).

Le Quantofix® (lisier pur non dilué)

Le Quantofix® est un appareil simple formé de 2 flacons en plastique. Il mesure la quantité d'azote ammoniacal contenue dans le lisier.

Il transforme l'azote ammoniacal en azote gazeux par l'addition d'un réactif. La lecture de la teneur se fait directement sur une échelle graduée (NH₄, en kg/m³).

L'Agro-lisier® (lisier pur non dilué)

Le principe de l'Agro-lisier® est le même que celui du Quantofix®. L'appareil est formé d'un récipient dans lequel on introduit le lisier puis le réactif. La lecture est faite sur un manomètre, 5 minutes après le début de la réaction.

Tableau 1. Moyens d'évaluation de la teneur en azote d'une matière organique.

Type de matière organique	Analyse au laboratoire	Analyse rapide dans l'exploitation	Utilisation des valeurs moyennes des fiches <i>Matières organiques</i>
Fumier	recommandée	impossible	acceptable
Lisiers bovin, volailles	recommandée	approximative	approximative
Lisier porc	recommandée	recommandée	approximative



Ce qu'il faut retenir du chapitre 4



- ✓ **Les analyses agronomiques** renseignent sur certaines caractéristiques agronomiques des sols et des matières organiques. L'analyse de sol permet d'ajuster la fertilisation organique et minérale aux besoins des cultures.
- ✓ **La matière organique du sol** est essentiellement décrite par ses teneurs en carbone et en azote et par le rapport C/N.
- ✓ **Pour des matières riches en résidus végétaux**, le rapport C/N rend compte de leur capacité à être minéralisées plus ou moins rapidement.
- ✓ **L'indice de stabilité biochimique (ISB)**, comme l'indice de caractérisation biochimique de la matière organique (CBM), s'appliquent à des matières contenant des résidus végétaux et dont la teneur en graisses est inférieure à 5 %. Ils fournissent une information sur la stabilité des matières organiques apportées. L'ISB et la CBM donnent des indications de même nature que le coefficient isohumique K_1 .
- ✓ **Le coefficient isohumique K_1** s'applique à quasiment tous les apports organiques : il évalue la capacité de la matière apportée à fournir de la matière organique stable au sol (humus).
- ✓ **Les tests de minéralisation en laboratoire** durent plusieurs mois et ne sont pas des tests de routine. Ils s'appliquent aux sols et aux matières organiques. Ils permettent de prédire le potentiel de minéralisation de C et N.
- ✓ **Des kits d'analyse rapide** de certaines caractéristiques de sol et de produits organiques sont utilisables directement à l'exploitation agricole.
- ✓ **A La Réunion, le laboratoire du CIRAD** effectue les analyses standard de sol et de matières organiques.