



Guide d'interprétation des analyses organo-biologiques du sol

Réalisé dans le cadre du programme
ACSE 2023-2025



Rédaction : Frédéric Berhaut, expert cultures biologiques et sols, CDA 52
Laurine Lacroix, conseillère agro-pédologue, CDA 55

Relecture : Christophe Barbot, conseiller agronome gestion déchets et matières organiques,
CA Alsace, Sophie Maillant, pédologue, CRA GE
avec l'aimable contribution du laboratoire Celesta -lab



Avec le soutien de :

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :



Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR





Les analyses de sol physico-chimiques donnent accès à des informations essentielles sur la fertilité des sols et permettent de gérer efficacement chaulage et fumure de fond. Cependant, dès que l'on souhaite s'intéresser de plus près au fonctionnement et à l'activité biologique des sols, ces indicateurs ne suffisent plus.

Certes, ces analyses classiques mesurent le taux de matière organique, mais cet indicateur n'évolue que très lentement. Il ne peut pas à lui seul répondre à des questions clé : les matières organiques du sol sont-elles suffisamment présentes, de manière équilibrée et de qualité ? Les pratiques culturales favorisent-elles l'activité biologique du sol ? Le sol est-il favorable à la minéralisation et à l'humification des matières organiques ? ...

C'est là qu'interviennent les analyses organo-biologiques du sol. Elles permettent de mieux évaluer la qualité des matières organiques d'un sol, son niveau d'activité biologique et les processus de transformation des matières organiques. Encore faut-il savoir interpréter correctement les résultats.

Ce guide a pour objectif de vous aider à comprendre et exploiter ces analyses, afin d'améliorer durablement la fertilité et le bon fonctionnement des sols.

A noter : ce guide est construit pour interpréter les analyses du laboratoire Celesta-Lab basé à Maugio (Hérault). Il peut également être utilisé pour interpréter les analyses organo-biologiques effectuées par d'autres laboratoires même si leurs méthodes analytiques et leurs référentiels peuvent légèrement varier.



Période optimale : automne - hiver et début de printemps. Les prélèvements en dehors de ces périodes sont possibles en privilégiant des sols ressuyés, non engorgés d'eau, non asséchés et non gelés.

Le prélèvement doit être fait **2 mois minimum après un apport** de produit organique, une restitution de biomasse (résidus de cultures par exemple) et/ou un épandage d'engrais minéral.

La **profondeur de prélèvement conseillée est de 20 cm** et ce quelles que soient les pratiques culturales de l'agriculteur (labour, Techniques Culturales Simplifiées, Semis Direct, ...).

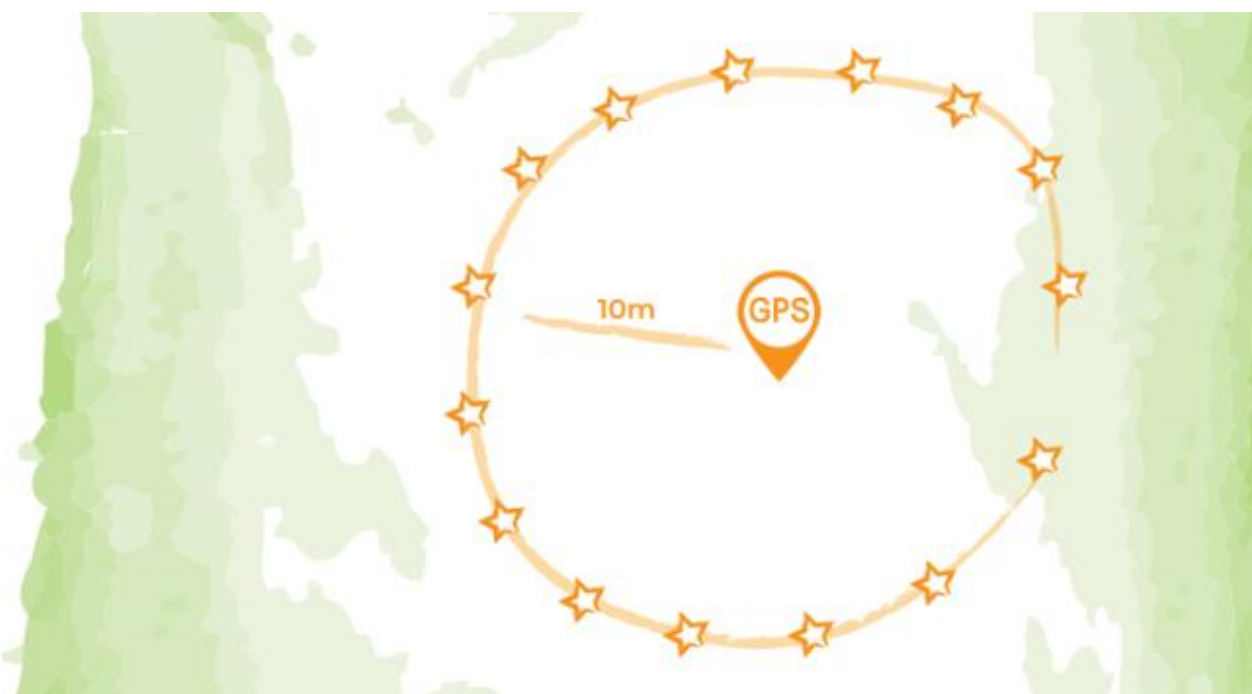
Prélever une quinzaine d'échantillons élémentaires dans un rayon de 10 mètres autour d'un point central géolocalisé (ex : Géoportail ou Google Maps). Bien noter les **coordonnées GPS** de ce point de prélèvement.

Constituer un **échantillon final de 800 g** (ou 400 g selon les menus analysés).

Stocker les échantillons au réfrigérateur avant envoi (pendant 15 jours maximum) et les **envoyer en début de semaine** pour réception rapide par le laboratoire. *Exemples de mauvaises conditions de stockage : 1 semaine à plus de 15°C, quelques jours à plus de 30°C, conservation au congélateur, ...*

Dans tous les cas, se référer au guide de prélèvement du laboratoire.

A noter : les dosages sont réalisés sur la « terre fine » (particules de taille inférieure à 2 mm). La fraction grossière n'étant pas comptabilisée dans les résultats, **il est important de bien renseigner la teneur** de ces éléments (**cailloux, graviers, pierres**) présents dans l'horizon 0-20 cm de la parcelle analysée.

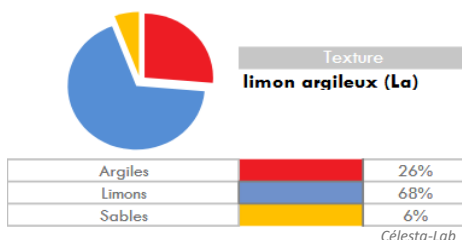


Prélèvement de terre

CARACTÉRISATION PHYSICO CHIMIQUE

Texture

Caractéristique non modifiable



La texture d'un sol désigne la proportion relative des trois fractions minérales qui le composent en fonction de leur **granulométrie** (taille) : les argiles (< 0,002 mm), les limons (0,002 à 0,05 mm) et les sables (0,05 à 2 mm).

Chaque fraction est exprimée en g pour 100 g de terre fine.

Bon à savoir :

- Célesta-Lab mesure la texture sans décarbonatation (sans destruction préalable des carbonates). En complément, il peut réaliser une décarbonatation sur demande.
- Conversions granulométriques : 0,002 mm = 2 μ m ; 0,05 mm = 50 μ m

La texture est un paramètre clé pour interpréter correctement une analyse organo biologique de sol, car elle **influence directement les processus biologiques** par l'organisation et la stabilité des agrégats.

Un sol argileux ou limoneux retient mieux l'eau et les éléments minéraux qu'un sol sableux, ce qui maintient plus longtemps l'activité biologique. Dans ces sols, la matière organique est également mieux protégée grâce à la formation de complexes organo-minéraux (*ou complexes argilo-humiques*) et à la protection physique offerte par les feuillets d'argile. Ces protections rendent les matières organiques plus stables dans le temps, ... mais parfois de manière excessive (sols calcaires).

À l'inverse, dans un sol léger et sableux, la matière organique est plus rapidement accessible aux micro-organismes, favorisant une décomposition rapide.

Ainsi, connaître la texture d'un sol est essentiel pour interpréter correctement une analyse biologique. Elle **sert notamment à positionner les seuils supérieurs et inférieurs sur les rapports d'analyses**.

A noter : si une analyse granulométrique a déjà été réalisée et géoréférencée dans la zone de prélèvement de l'analyse organo-biologique, il n'est pas nécessaire de refaire cette mesure, la texture évoluant très lentement. Transmettre cette analyse au laboratoire.

Acidité et état calcique

Variation annuelle du pH eau : environ 0,7 point

Plusieurs indicateurs sont utilisés pour identifier l'acidité d'un sol et son état calcique :

-le pH (*potentiel hydrogène*) qui traduit la quantité d'ions H⁺ présents dans le sol. On distingue le pH_{eau} qui correspond au pH immédiat d'une suspension de terre dans l'eau. Celui-ci varie annuellement d'environ 0,7 point, le sol étant plus acide au printemps et en été. Et le pH_{KCl} qui indique l'acidité potentielle ou de réserve du sol;

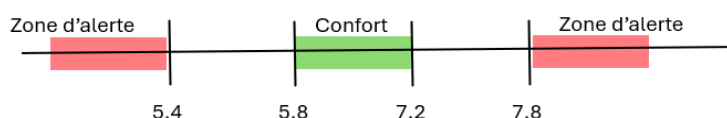
-la teneur en calcaire (*carbonates de calcium* = % CaCO₃) et les taux de saturation de la CEC (S/CEC, Ca/CEC).

Le pH conditionne la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes. Il **impacte également l'activité biologique du sol**. C'est, par exemple, un des facteurs qui influence le ratio bactéries/champignons du sol.

Les **champignons** produisent des hyphes qui agissent comme une « colle organique », favorisant la formation des agrégats et donc la stabilité structurale. Or la proportion de champignons est plus élevée dans un sol proche de la neutralité (pH 6-7,5) que dans un sol acide ou basique.

A contrario, les **bactéries** minéralisent la matière organique environ 20 fois plus vite que les champignons.

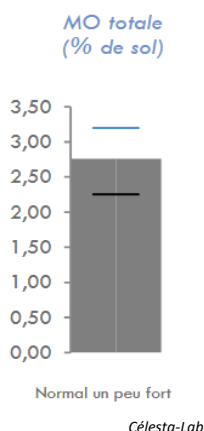
Les apports d'engrais minéraux qui acidifient le sol (nitrates notamment) peuvent donc modifier son activité biologique.



CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

Teneur en Matière Organique totale et rapport C/N

Vitesse d'évolution : plus de 15 ans



La matière organique du sol (MO totale) correspond à l'ensemble des matières carbonées issues du vivant (*végétaux, animaux, micro-organismes, ...*) qui sont restituées ou apportées au sol et dont la taille ne dépasse pas 2 mm. La teneur en MO est exprimée en % de sol (g pour 100 g de terre fine).

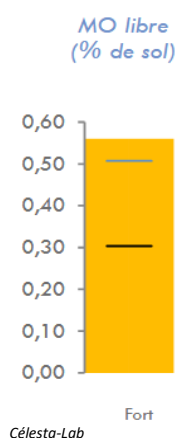
Elle joue un rôle primordial pour maintenir une bonne structure de sol, stimuler l'activité biologique du sol et assurer la mise à disposition d'éléments minéraux à la plante. Or, son évolution étant généralement très lente, la seule mesure de la teneur en MO totale ne permet pas d'analyser finement le fonctionnement biologique du sol ni d'évaluer l'impact des pratiques culturales à court terme.

Les analyses peuvent préciser le **rapport C/N** (carbone sur azote) **de la matière organique** si l'azote total a été dosé. Une matière organique "âgée" a un C/N plus faible qu'une matière organique "jeune". En effet, son carbone a déjà été minéralisé par les micro-organismes. *Le C/N de la MO totale d'un sol est le plus souvent compris entre 8 et 12 (extrêmes : 6 à 18).*

Pour aller au-delà de la seule mesure de la MO totale, les laboratoires peuvent séparer les MO selon leur taille. Ce **fractionnement de la matière organique**, mesuré dans les analyses organo-biologiques, permet de distinguer les **MO liées** et les **MO libres** ce qui donne des informations plus précises sur l'état organique du sol et sur sa fertilité.

Teneur en Matière Organique libre et rapport C/N

Age médian : 15 ans



La matière organique libre est la MO du sol la plus "**jeune**". Elle est encore "**particulaire**" (0,05 à 2 mm) et facilement minéralisable, donc "active".

Elle joue un rôle important dans la **fertilité des sols** en stimulant l'**activité biologique** (apport d'énergie) et la **nutrition des plantes** (apport de minéraux).

Elle intervient également sur la **stabilité structurale à court terme** et la **résistance au tassement** (via les "colles" organiques). Elle est alimentée par les apports organiques récents qui ont déjà subi une transformation dans le sol (résidus de cultures et d'intercultures, racines, organismes morts, produits organiques, ...).

La teneur en MO libre est exprimée en % de sol (g pour 100 g de terre fine) et en % de la teneur en MO totale (*cf § Equilibre des MO*).

A noter : les analyses effectuées en trois fractions organiques distinguent la "MO fraîche" (0,2 à 2 mm) minéralisable rapidement (2-5 ans) et la "MO labile" (0,05 à 0,2 mm) minéralisable plus lentement (10-20 ans). Source : laboratoire AUREA.

CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

La matière organique libre étant jeune, elle contient encore une forte proportion de carbone. Son **rapport C/N** peut varier de 10 à 25, mais en général, il est **proche de 15** (entre 12 et 18).

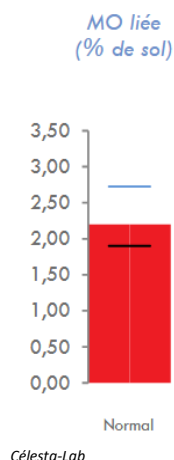
S'il est plus **beaucoup plus faible**, cela indique que le carbone de la matière organique libre a déjà été consommé par les micro-organismes du sol donc que le renouvellement en matières organiques fraîches est trop peu fréquent ou trop peu abondant (donc pas assez d'apports et/ou de restitutions au sol de matières organiques riches en carbone).

S'il est **très élevé**, cela peut indiquer qu'il y a eu un épandage très récent de matières organiques.

Attention : étant donné les incertitudes de mesures, l'interprétation des C/N seuls doit porter uniquement sur les valeurs extrêmes.

Teneur en Matière Organique liée et rapport C/N

Age médian : > 50 ans



C'est la fraction la plus fine de la matière organique. Elle est appelée « **matière organique stable** » ou « **matière organique liée** » car elle est liée à l'argile dans le complexe organo-minéral. Elle était aussi appelée « humus » mais ce nom n'est plus utilisé par la communauté scientifique.

La MO liée est de petite taille (< 0,05 mm) car elle a déjà subi de longs processus de transformation (elle se renouvelle en 20 à 100 ans). Cette fraction est la plus abondante dans le sol. Elle fournit moins d'énergie aux micro-organismes du sol que la MO libre mais reste essentielle pour leur **développement** et leur **protection**.

Elle assure une **minéralisation** équilibrée sur le **long terme** (nutrition des plantes) et intervient dans les **propriétés structurantes** du sol, les propriétés **d'échanges** (CEC), les propriétés **d'adsorption** (produits phytosanitaires), ...

La teneur en MO liée est exprimée à la fois en % de sol (g pour 100 g de terre fine) et en % de la teneur en MO totale (cf § Equilibre des MO).

La MO liée est un bon indicateur du fonctionnement du sol : si elle est limitante, elle impacte le développement des micro-organismes. *Bon à savoir : la MO liée contient la part la plus importante de bactéries.*

Cette MO étant âgée, elle contient moins de carbone que la MO libre (car déjà consommé par les micro-organismes du sol) : son **rapport C/N** peut varier de 5 à 20, mais en général, il est **proche de 10** (entre 8 et 12).

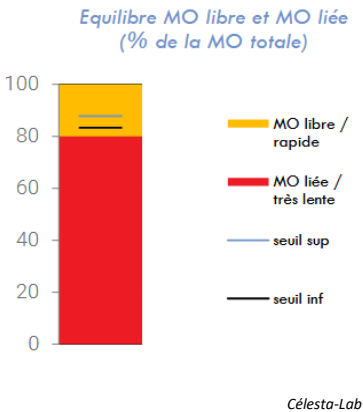
S'il est **plus beaucoup plus faible**, cela indique que la MO liée est évoluée (une partie importante du carbone est déjà minéralisée) et peu ou pas renouvelée.

S'il est **très élevé**, cela signifie que les processus de minéralisation ne se font pas correctement, la MO est "bloquée". C'est le cas par exemple dans les sols acides ou asphyxiés (humides ou compacts) ou dans les tourbières dans lesquelles l'environnement acide et anoxique contraint la minéralisation des MO.

Attention : étant donné les incertitudes de mesures portant sur la MO, interpréter les C/N dans les valeurs extrêmes.

Equilibre MO libre - MO liée

Vitesse d'évolution : environ 2 ans



C'est la part des MO libre et liée dans la MO totale du sol. Cet indicateur doit être interprété au regard des autres indicateurs.

Quelques exemples :

Si la teneur en MO liée est élevée et que sa part est importante dans la MO totale, le sol stocke des MO stables. Vérifier alors l'activité biologique du sol (voir plus loin : Cmin) : si la teneur est faible, la MO n'est plus assez fonctionnelle.

S'il y a une forte proportion de MO libre, vérifier la teneur en MO liée :

- *Si elle est bonne, il peut s'agir d'une parcelle qui a reçu des apports organiques récents et importants. Dans ce cas, la teneur en MO libre est certainement jugée "élevée" sur le rapport d'analyse.*
- *Si la teneur en MO liée est faible, le sol a peu de réserves « long terme » par rapport aux réserves "court terme".*

Usage du sol	Type de sol	Proportion courante MO liée/MO libre
Grandes cultures	Cas général	80/20
	Sol sableux	83/17
	Sol calcaire (%CaCO3 > 5%)	75/25
Maraichage	Cas général	60/40
Viticulture	Cas général	75/25

Les proportions de fractions organiques sont généralement de 80% de MO liée et de 20 % de MO libre. Mais ces valeurs dépendent des pratiques récentes de fertilisation (voir exemple ci-dessus) ainsi que de la texture du sol et de son usage (voir tableau ci-contre. Source : référentiel Célesta-Lab) .

Comment agir sur les paramètres organiques du sol ?

Un sol cultivé doit être entretenu par des restitutions (résidus de cultures et de couverts) et apports organiques réguliers et diversifiés. Ces produits organiques sont caractérisés par plusieurs indicateurs :

- **La teneur en Matières Organiques totales** (*mesurée à partir de la teneur en carbone*).
 - **L'ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique)** : il indique la proportion de matières organiques **stables** présentes dans le produit et qui sont susceptibles d'entretenir le stock de MO liées du sol. La part restante (100-ISMO) correspond aux matières organiques **labiles**, facilement minéralisables (*voir plus loin, indicateur Cm ou Cmin*).
- **Le rapport C/N (carbone organique sur azote total)** : il permet de juger le risque de faim d'azote lié à la décomposition du produit : plus le C/N est élevé, plus le processus de minéralisation du carbone est susceptible de consommer l'azote provenant du sol (à mettre aussi en relation avec la cinétique de minéralisation de l'azote organique du produit). Les produits à fort C/N doivent être apportés au plus loin des besoins en azote de la culture.
- **Les teneurs en éléments fertilisants** : azote organique et minéral (azote nitrique N-NO_3 , azote ammoniacal N-NH_4 et azote uréique), phosphore (P_2O_5), potassium (K_2O), magnésium (MgO), soufre (SO_3), calcium (CaO), ...
- **La cinétique de minéralisation de l'azote organique** du produit apporté au sol : elle donne des indications sur le risque de faims d'azote, la vitesse de minéralisation de l'azote (transformation de l'azote organique en azote minéral) et la quantité d'azote qui sera potentiellement disponible pour la culture.
- **La forme du phosphore** : dans les produits organiques, le phosphore est toujours disponible pour les plantes (dans un délai variable de plusieurs mois). Cependant, sa solubilité et donc sa disponibilité pour les plantes sont très variables selon l'origine des produits minéraux. Donc, attention lors de l'utilisation d'engrais organo-minéraux comportant un mélange de matières d'origine organiques et minérales.



Différents types d'apports de Matières organiques

Comment agir sur les paramètres organiques du sol ?

La plupart des produits organiques peuvent entretenir les deux fractions de matières organiques du sol (libre et liée), mais en cas de déficit marqué, il est préférable de suivre les conseils suivants :

Dans tous les cas, privilégier les produits riches en matières organiques : avec une teneur élevée sur le brut (kg/t de brut), ils seront plus efficaces et certainement plus économiques.

En cas de déficit en matières organiques libres dans le sol, apporter des produits riches en **MO labiles** (ISMO 20-40) : pailles, restitutions d'herbe, couverts d'interculture, lisiers, fientes, vinasses, ... **MAIS** aussi des matières ayant des **ISMO intermédiaires** (fumier par exemple).

En cas de déficit en matières organiques liées dans le sol, apporter des produits riches en **MO stables** (ISMO 60-70), par exemple des fumiers compostés, ...

Si les 2 compartiments sont déficitaires, apporter des produits d'origines diverses (composts, fumiers, couverts, ...) et restituer les pailles.

Important : ne pas confondre ISMO et C/N.

La paille a un C/N élevé (70 à 100) mais un faible ISMO (20%) : elle risque de provoquer des faims d'azote après restitution au sol MAIS apporte peu de matières organiques stables (elle est riche en matières organiques labiles rapidement minéralisables).

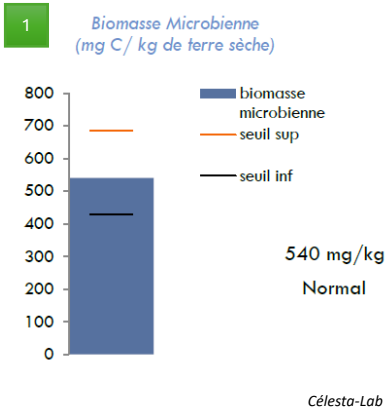
Les BRF (Bois Raméal Fragmenté) ont des C/N variables mais toujours élevés (30 à 170) et des ISMO élevés (90%) : ils apportent beaucoup de matières organiques stables MAIS risquent de provoquer des faims d'azote très importantes après épandage.

Importance de la structure et de la chimie du sol : la transformation des matières organiques dans le sol dépend de sa porosité (en lien avec la circulation de l'air et de l'eau, les capacités d'enracinement des végétaux, l'activité biologique, ...), de son statut calcique et de son acidité. Plusieurs de ces facteurs peuvent être corrigés si besoin.



Des problèmes de structure pénalisant le fonctionnement biologique

Biomasse Microbienne



La Biomasse Microbienne (BM) indique la **quantité de micro-organismes vivant dans le sol** (bactéries, champignons, protozoaires, ...).

Cet indicateur mesure la quantité totale de carbone contenue dans les micro-organismes du sol (carbone vivant). Elle est exprimée en mg de carbone/kg de terre fine. 1

Une valeur élevée de Biomasse Microbienne traduit une forte quantité de micro-organismes vivants, ce qui peut favoriser la minéralisation de la matière organique ainsi qu’une meilleure stabilité structurale. Et inversement lorsqu’elle est faible.

A noter : la Biomasse Microbienne mesure la quantité de micro-organismes présents dans le sol (quantité de carbone vivant). Par contre, elle ne permet pas d’identifier les organismes présents (champignons, bactéries, ...). Pour cela, il faut analyser la Biomasse Microbienne Moléculaire (analyse de l’ADN microbien).

La Biomasse Microbienne est également exprimée en pourcentage du carbone : **BM en % C**. 2

Cet indicateur estime la part de carbone vivant contenue dans le carbone total du sol, donc la capacité du sol à générer de la biomasse microbienne. Plus la valeur est élevée, plus le sol est favorable au développement des bactéries, champignons, protozoaires, ...

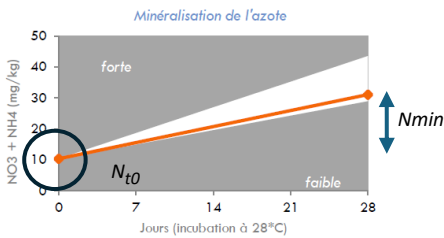
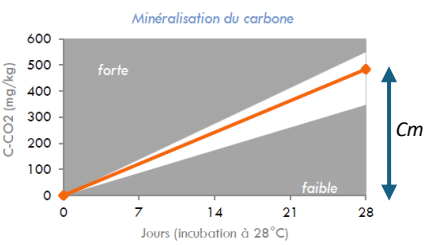
Carbone	Biomasse Microbienne (BM)	
g/kg terre	mgC/kg terre	en % C
27,6	1 540	2 2,0
Fort	Normal	Très faible
Carbone total du sol	Carbone vivant du sol	

Célesta-Lab

Dans les sols très riches en MO, il est possible d’avoir une BM satisfaisante ... mais qui ne représente qu’une faible part du carbone total du sol. Un point à surveiller et à améliorer si besoin !

Enfin, la Biomasse Microbienne est composée de **nombreux éléments minéraux** et se renouvelle rapidement dans le sol, contribuant ainsi à la nutrition des plantes. Le laboratoire estime les valeurs d’azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium stockées dans celle-ci.

Activités microbiennes : minéralisation du carbone et de l'azote



Source : Célesta-Lab

Pour révéler le **potentiel d'activité biologique** au champ et donc la **qualité des matières organiques du sol**, un échantillon de terre est incubé pendant 28 jours à 28°C sous humidité contrôlée.

Les courbes obtenues indiquent la dynamique de minéralisation des matières organiques du sol en **conditions favorables**. Elles permettent d'estimer un potentiel de minéralisation sur 6 à 8 mois au champ (un cycle végétatif). Elles sont comparées aux référentiels du laboratoire.

La mesure du **carbone minéralisé** évalue les quantités de dioxyde de carbone qui sont produites par la BM à court terme , exprimées par le Cm ou Cmin en mg/kg de terre fine.

La mesure de l'**azote minéralisé** évalue les quantités d'azote organique qui vont minéraliser à court terme : Nmin en mg/kg de terre fine. *A noter : l'azote mesuré au départ (N_{t0}) correspond à l'azote minéral déjà présent dans le sol avant incubation.*

Le **bilan des éléments minéralisés** présenté sur le rapport d'analyse organo-biologique indique un **potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote** à court terme (6-8 mois au champ) si les conditions pédoclimatiques sont favorables. Il reprend et détaille les graphiques précédents.

Le bilan carbone :

CARBONE			
C organique (g/kg TS)	C minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Cm/BM
27,6	484	1,8	32
Fort	Normal un peu fort	Faible	

1 2 3 4

On y retrouve :

- 1- La **quantité totale de Carbone** contenue dans le sol ($C_{org} = C_{libre} + C_{lié}$) exprimée en g/kg de terre fine.
- 2- Le **Carbone minéralisé en 28 jours** (Cm ou Cmin) exprimé en mg/kg/28j : il mesure la quantité potentielle de carbone du sol rapidement disponible pour l'activité microbienne. C'est un **indicateur de la quantité de MO labiles présentes dans le sol** (provenant des effluents, résidus, couverts, ...).

Ces deux indicateurs sont complétés par :

- 3- L'**indice de minéralisation du carbone** (Cm/Corg) exprimé en % : il correspond au pourcentage de carbone du sol qui est **minéralisable à court terme et rapidement disponible pour la Biomasse Microbienne** (en conditions favorables). Un pourcentage élevé indique une part importante de MO labiles dans la MO totale : les apports organiques sont de qualité.

COMPARTIMENT VIVANT

4- Le **rapport Carbone minéralisé en 28 jours sur Biomasse Microbienne** (Cm/BM) exprimé en % : il mesure l'efficacité de minéralisation de la BM par rapport à sa taille. Il renseigne donc sur l'**activité microbienne** du sol : un rapport élevé indique généralement une BM très active ou en croissance. *Attention, ce rapport peut varier selon les contextes : en sol argileux riche en MO, il est souvent assez faible (<30-40). En cas de stress ou de toxicité, il peut être très élevé (>70-80).*

Le bilan azote :

AZOTE				
N total (g/kg)	N minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%Ntotal)	Fourniture annuelle N (U)	Reliquat (U)
2,0	21,9	1,1	78	34
	Normal un peu faible	Normal un peu faible		
1	2	3	4	5

On y retrouve :

1- La **quantité totale d'Azote** contenue dans le sol ($N_{total} = N_{min \text{ avant incubation}} + N_{org \text{ avant incubation}}$) exprimée en g/kg de terre fine.

2- L'**Azote minéralisé en 28 jours** ($N_{min \text{ après incubation}}$) exprimé en mg/kg/28j : il mesure la quantité d'azote organique du sol ($N_{org \text{ avant incubation}}$) qui va potentiellement minéraliser et être disponible rapidement pour les plantes.

*A noter : l'**azote organique** présent dans le sol provient des effluents, résidus, couverts, MO libre, ... Il minéralise le plus souvent en **azote nitrique** et parfois en azote ammoniacal (voir ci-dessous).*

Ces deux indicateurs sont complétés par :

3- L'**indice de minéralisation de l'azote** (N_{min}/N_{total}) exprimé en % : il correspond au pourcentage d'azote organique qui est **minéralisable à court terme et facilement disponible pour les plantes** (en conditions favorables). Un pourcentage élevé indique que les apports organiques sont de qualité et riches en azote minéralisable.

4- Une estimation de la **fourniture annuelle d'azote** (en kg/ha) sur 6 à 8 mois au champ, cette minéralisation a lieu principalement au printemps et à l'automne selon le climat.

5- La valeur du **reliquat d'azote** (en kg/ha) obtenu après les 28 jours passés en milieu contrôlé.

A noter : généralement ce reliquat ne comporte que de l'azote nitrique (NO_3). La présence d'azote ammoniacal (NH_4) révélerait des conditions de sol défavorables (nitrification inhibée dans un sol acide – $pH < 5,5$ – ou sol très sec ou gorgé d'eau) ou un apport organique trop récent (azote ammoniacal en cours de minéralisation : $N_{org} \rightarrow NH_4 \rightarrow NO_3$).

Comment agir sur les paramètres biologiques du sol ?

Les mesures de biomasses et d'activités microbiennes renseignent sur la capacité du sol à favoriser l'activité biologique, à fournir aux micro-organismes une ressource suffisante de carbone de qualité et à minéraliser l'azote organique sous des formes assimilables par les plantes.

Comment interpréter et agir sur d'éventuels dysfonctionnements révélés par les analyses organo-biologiques ?

La Biomasse Microbienne et la minéralisation du carbone

Plusieurs facteurs interviennent sur ces indicateurs :

- La quantité de carbone disponible (les teneurs en MO libre et liée), source d'énergie pour la BM.
- La qualité des matières organiques (l'équilibre entre les MO, éventuellement leur C/N).
- Les conditions pédo-climatiques (l'état structural du sol et les conditions climatiques récentes).

En cas de déficit de Biomasse Microbienne :

D'abord vérifier les **teneurs en matières organiques libres** (source importante d'énergie) et **liées** (apport d'énergie sur le long terme et protection des micro-organismes) : *si besoin, corriger la ou les fractions organiques déficitaires.*

Vérifier également la quantité de **carbone minéralisable** (Cmin) : si elle est insuffisante, les MO du sol ne contiennent pas assez de carbone facilement minéralisable, les MO ne sont pas qualitatives : *si besoin, corriger en apportant en priorité des MO labiles (à faible ISMO), par exemple des couverts végétaux (efficaces sur cet effet !) puis entretenir par des apports organiques réguliers et diversifiés (ISMO faible ET intermédiaires).* Pour plus d'efficacité et d'éventuelles économies, privilégier les matières riches en carbone (kg/t de brut).

Enfin, faire le point sur les conditions climatiques récentes et vérifier régulièrement l'état structural du sol (sa porosité notamment) : il est possible que la Biomasse Microbienne soit contrainte dans son développement par un ou plusieurs **facteurs pédoclimatiques** : absence d'oxygène (tassement, engorgement), sécheresse, gel, toxicité au cuivre ou autre, ...

En cas de faible minéralisation du carbone :

Un Cmin déficitaire indique un manque de respiration du sol, un **problème de qualité des matières organiques du sol**. Il est important d'apporter régulièrement des sources diversifiées de matières organiques (labiles et stables), en privilégiant d'abord les formes labiles lorsque la Biomasse Microbienne est déficitaire et que le Cmin est faible (apport d'énergie rapide et de qualité, voir ci-dessus).

A noter : dans les sols argileux ou ayant une CEC élevée (>20), il est possible que la Biomasse Microbienne soit forte, donc présente et protégée par les particules fines des argiles, mais qu'elle n'ait pas accès à un carbone de bonne qualité. Elle est en "dormance". Dans ces situations, le Cmin sera faible et devra être entretenu par un carbone de qualité (voir les teneurs en MO et leur équilibre, la structure du sol, ...).

La minéralisation de l'azote organique

Comme nous l'avons vu précédemment (cf § Minéralisation de l'azote – Bilan Azote), l'azote potentiellement minéralisable correspond à l'azote organique présent dans l'échantillon et qui n'a pas encore minéralisé. Sa minéralisation est mesurée en conditions contrôlées au laboratoire.

En cas de déficit en azote potentiellement minéralisable :

Plusieurs causes de déficit sont possibles :

- Une faible réserve en azote organique total dans le sol (N_{total} faible) : situations d'apports organiques insuffisants ou irréguliers.
- Des apports nuls ou insuffisants de matières organiques riches en azote rapidement minéralisable (comme les légumineuses ou les engrais organiques azotés par exemple).
- Un apport organique important effectué en sols pauvres en BM : prolifération microbienne avec immobilisation de l'azote du sol (la BM ne contient pas assez d'azote).
- Un apport organique trop récent : bien respecter les consignes de prélèvement.

Pour corriger un manque d'azote organique rapidement minéralisable dans le sol, apporter :

- Des engrais azotés efficaces à court terme (N minéral) ou à moyen terme (N organiques riches en lipides ou protéines : à base de plumes, sang, fientes, ...).
- Des matières organiques facilement minéralisables (C/N et ISMO faibles) et/ou contenant déjà une fraction d'azote minérale : couvert riche en légumineuses, digestat brut, vinasses, certains fumiers frais, ...

Puis entretenir le sol par des apports / restitutions organiques régulières (couverts, effluents, ...). Et attention aux formes très stables de produits organiques (ISMO élevé) à C/N élevés qui mobilisent beaucoup d'azote dans les jours voire les mois qui suivent leur incorporation au sol (cas de certains BRF ou composts végétaux par exemple)

En cas d'excès d'azote potentiellement minéralisable :

Une minéralisation élevée de l'azote organique peut avoir plusieurs origines :

- Les MO du sol contiennent des formes organiques d'azote très labiles qui viennent augmenter le stock d'azote organique plus stable du sol (présent dans la MO liée principalement et dans la MO libre).
- Un sol acide : un pH acide bloque la nitrification $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ et entraîne une accumulation d'azote ammoniacal

Remarque : un mauvais stockage de l'échantillon de terre (température supérieure à 15°C pendant une semaine, ...) provoque un démarrage de la minéralisation avant réception au laboratoire : le reliquat sera plus élevé et la minéralisation plus faible qu'attendus (N_{min} plus faible).



Décembre 2025



Avec le soutien de :

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGRO-ALIMENTAIRE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE
Liberté
Égalité
Fraternité

