

Les Matières Organiques : ...l'Energie solaire des Sols !

Xavier SALDUCCI
Laboratoire CELESTA-LAB
34130 MAUGUIO
Tél : 04 67 20 10 90
contact@celesta-lab.fr
www.celesta-lab.fr

Notre Métier :

- **Laboratoire d'Etudes, d'Analyses et de Conseils en Biologie des sols et Valorisation des Produits Organiques** (depuis 1996) :
 - **SOL** : diagnostic de la fertilité organique et biologique d'un sol,
 - **MATIERES FERTILISANTES** : caractérisation des produits organiques et conseil de leur usage,

basés sur des tests biologiques et biochimiques

=> relation entre les pratiques culturales / le sol / la fertilité Biologique

Plan

- I. Qu'est ce que la MO ?... Quelles sont ses propriétés ?...**
(Une vie après l'humus ?)
- II. Cycle de la Matière organique et cycles Biologiques ?**
(A table !)
- III. Est-ce que mon sol fonctionne ? Les analyses biologiques**
(Apprenons à saucissonner...)
- IV. Des analyses biologiques et dynamiques des Matières Fertilisantes organiques**
(Il fume mon fumier ?)
- V. Application Agronomique : Etude de cas**
- VI. Conclusions**
(Le Grand Bilan)



I. Qu'est ce que la matière organique ? Propriétés .

Définitions (Mustin, 1987) :

- **La matière organique est définie comme la matière spécifique des êtres vivants végétaux et animaux :**
 - Riche en carbone (**+/-50%**) = **matière carbonée**,
 - C, H, O, N = 95% de la matière vivante
 - 5 autres macroéléments : S, P, K, Ca, Mg,
 - Une vingtaine d'oligoéléments (Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Mo etc...), présents à de faibles concentrations < 0,1% matière sèche

Grande diversité biochimique des macromolécules qui constituent la MO...

(Foth, 1990)

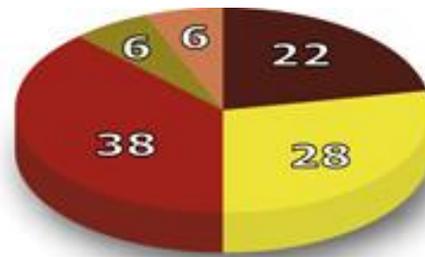
Proportions moyennes des grandes catégories de matières organiques dans la plante et dans le sol

Catégorie de matière organique	Proportion dans la plante (% des catégories)	Proportion dans le sol (% des catégories)
Hémicelluloses et Pectines	10 - 30	0 - 2
Cellulose	20 - 50	2 - 10
Lignine et composés dérivés	10 - 30	35 - 50
Protéines	1 - 15	28 - 35
Lipides, cires, autres	1 - 8	1 - 8

Grande diversité fonctionnelle pour différents états de transformation des MO du sol :

Source : B. Mary, INRA

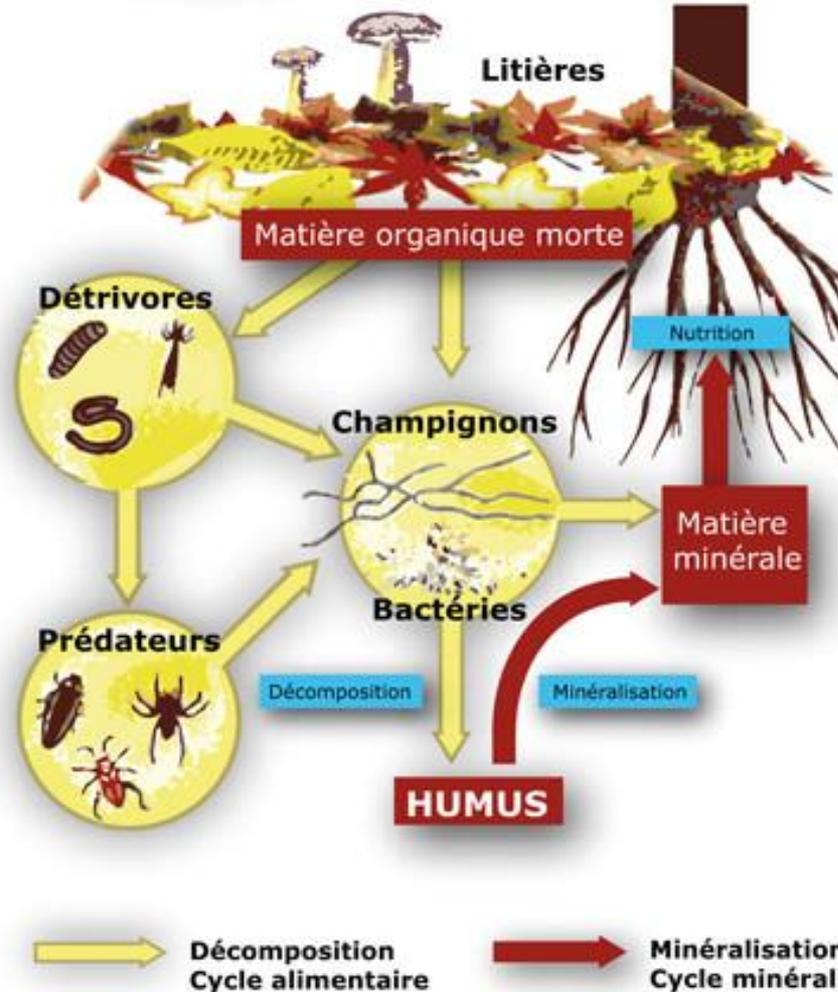
Type de MO	Fonctions
Matière Organique Vivante (1.5 à 2.5 tC/ha)	Brassage / Transformation des MO
Matière Organique Fraîche (0 à 4 tC/ha)	Substrat énergétique et de croissance / fertilité chimique
Matière Organique Transitoire (2 à 4 tC/ha)	Substrat énergétique / fertilité chimique / fertilité physique
Matière Humique (35 tC/ha)	Fertilité physique / fertilité chimique (réservoir)



- Bactéries et actinocètes
- Champignons et algues
- Vers de terre
- Protozoaires et nématodes
- Autres animaux

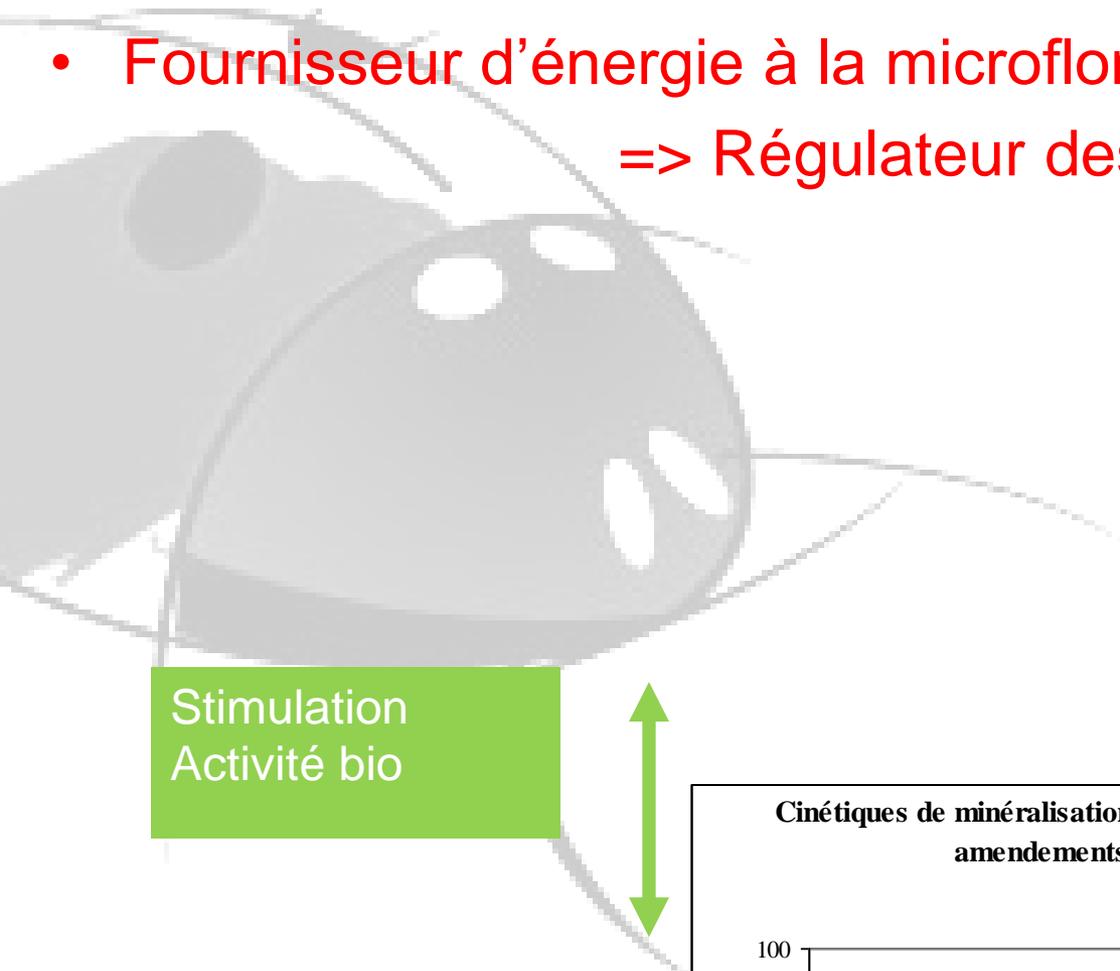
(D'après Le sol vivant, Gobat et al., 2003)

Cycle de la Matière Organique

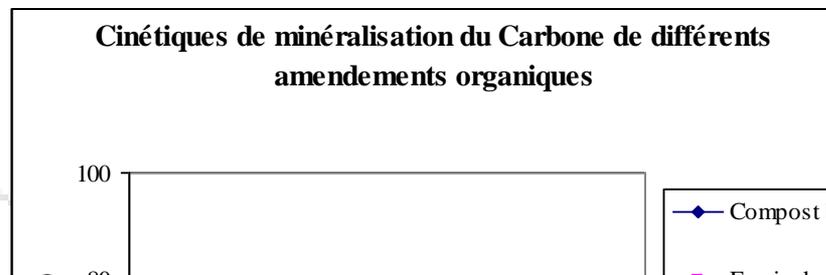


Fertilité Biologique / Fonction ENERGISANTE

- Fournisseur d'énergie à la microflore et faune du sol
=> Régulateur des activités Biologiques

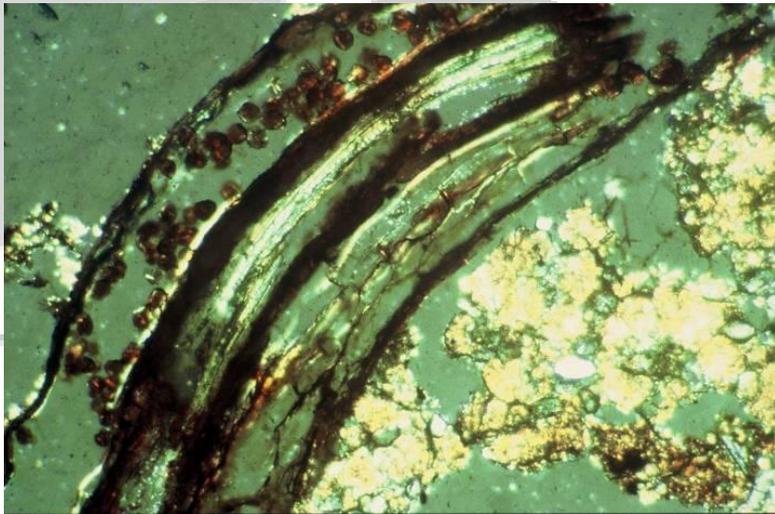


Stimulation
Activité bio

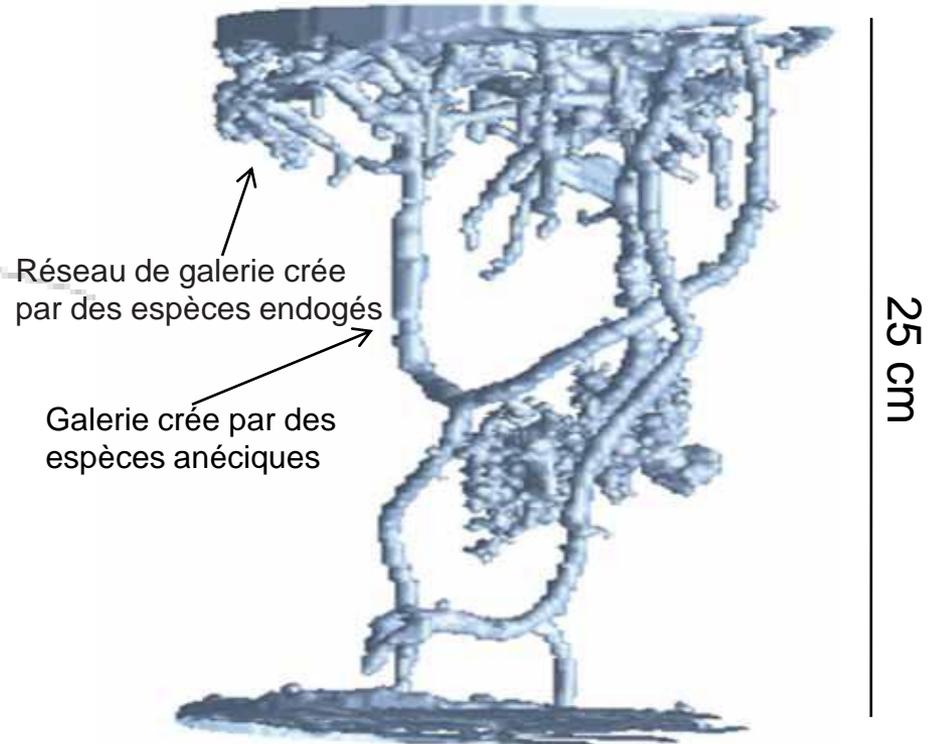


Fertilité Biologique / TRANSFORMATION

Recyclage des matières organiques et nutrition



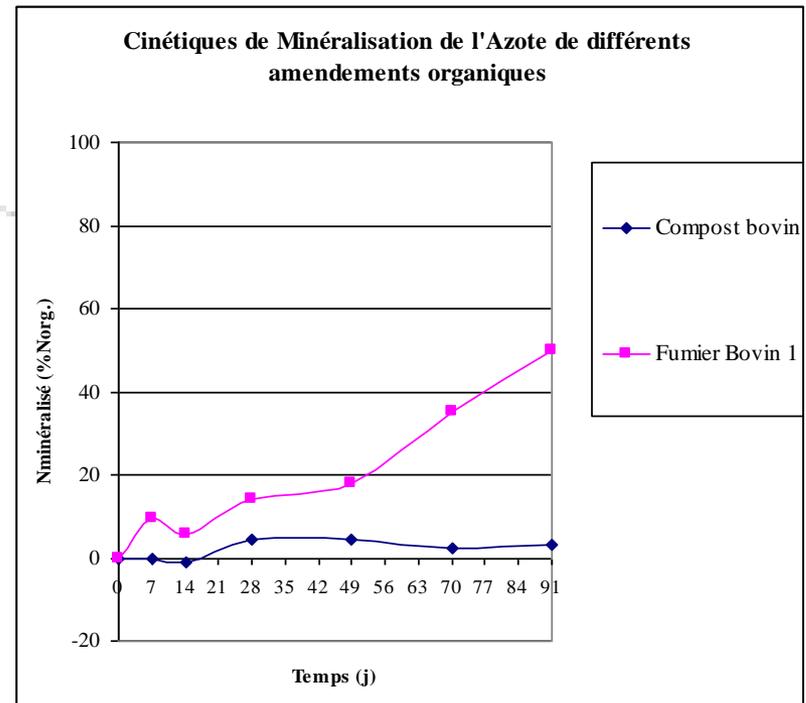
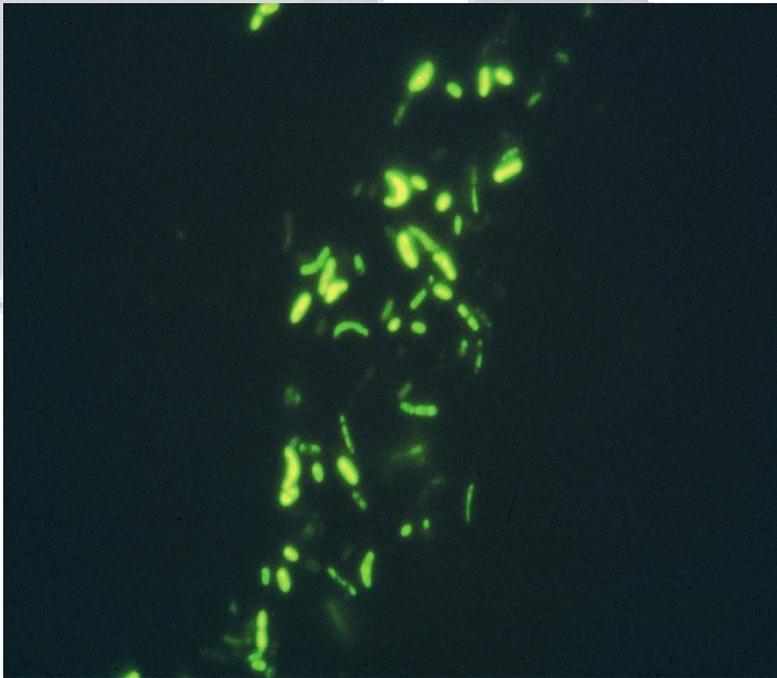
Galerie de vers de terre et porosité / drainage



Fertilité Chimique / Fonction NUTRITIVE

- Réserve d'éléments nutritifs pour la microflore et la faune du sol (C, N, P, S etc..)

- Réserve d'éléments nutritifs pour la plante après minéralisation (N, P, S).



Fertilité Chimique / Fonction NUTRITIVE

- . Réserve de base non échangeables (Ca, Mg, K)
- . Forte capacité d'échange cationique (CEC Humique)

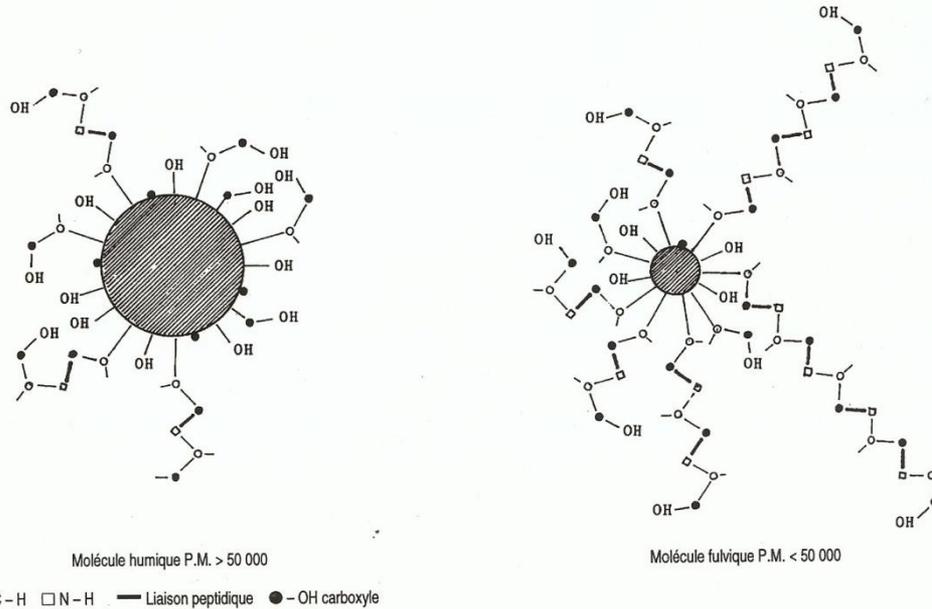


Figure 4.9

Structures humiques hypothétiques

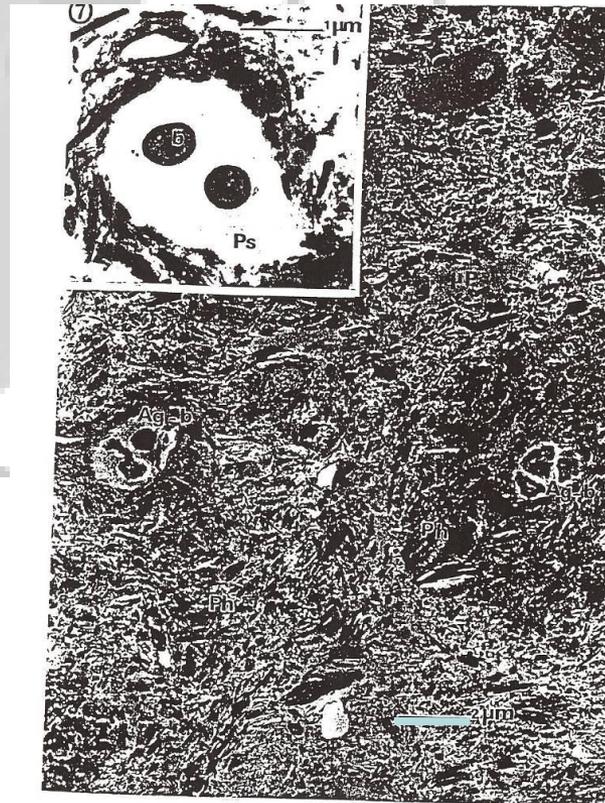
Fertilité Biologique / STRUCTURE

Structure : mode d'assemblage des constituants d'un sol
(intensité d'agrégation, taille, forme)



Fertilité Biologique / STRUCTURE

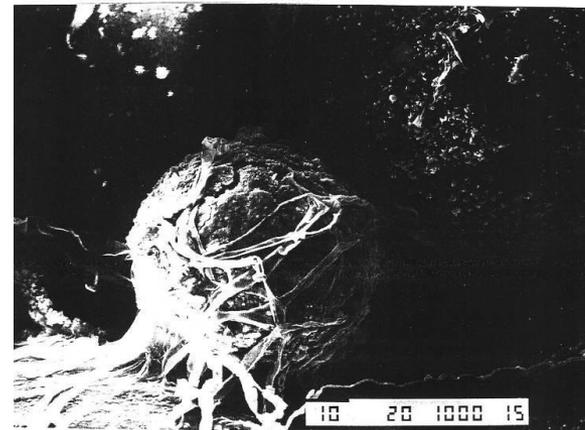
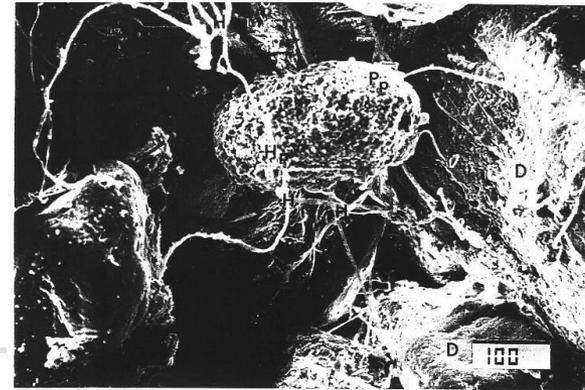
Agrégation bactérienne



Ps : polyeccarides
b : bactérie

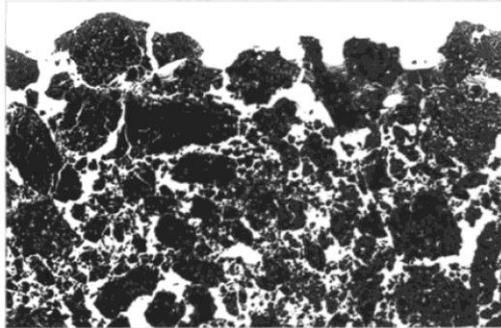
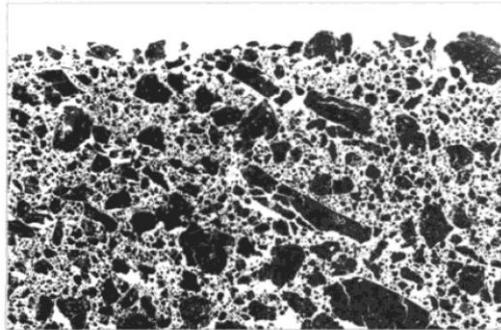
PP : micro-pore
Ag-b : agrégat bactérien
Ph : éléments phylliteux

Agrégation fongique



Porosité

Circulation de l'air



Circulation de l'eau



Enracinement



Fertilité Physique / Fonction COHESIVE



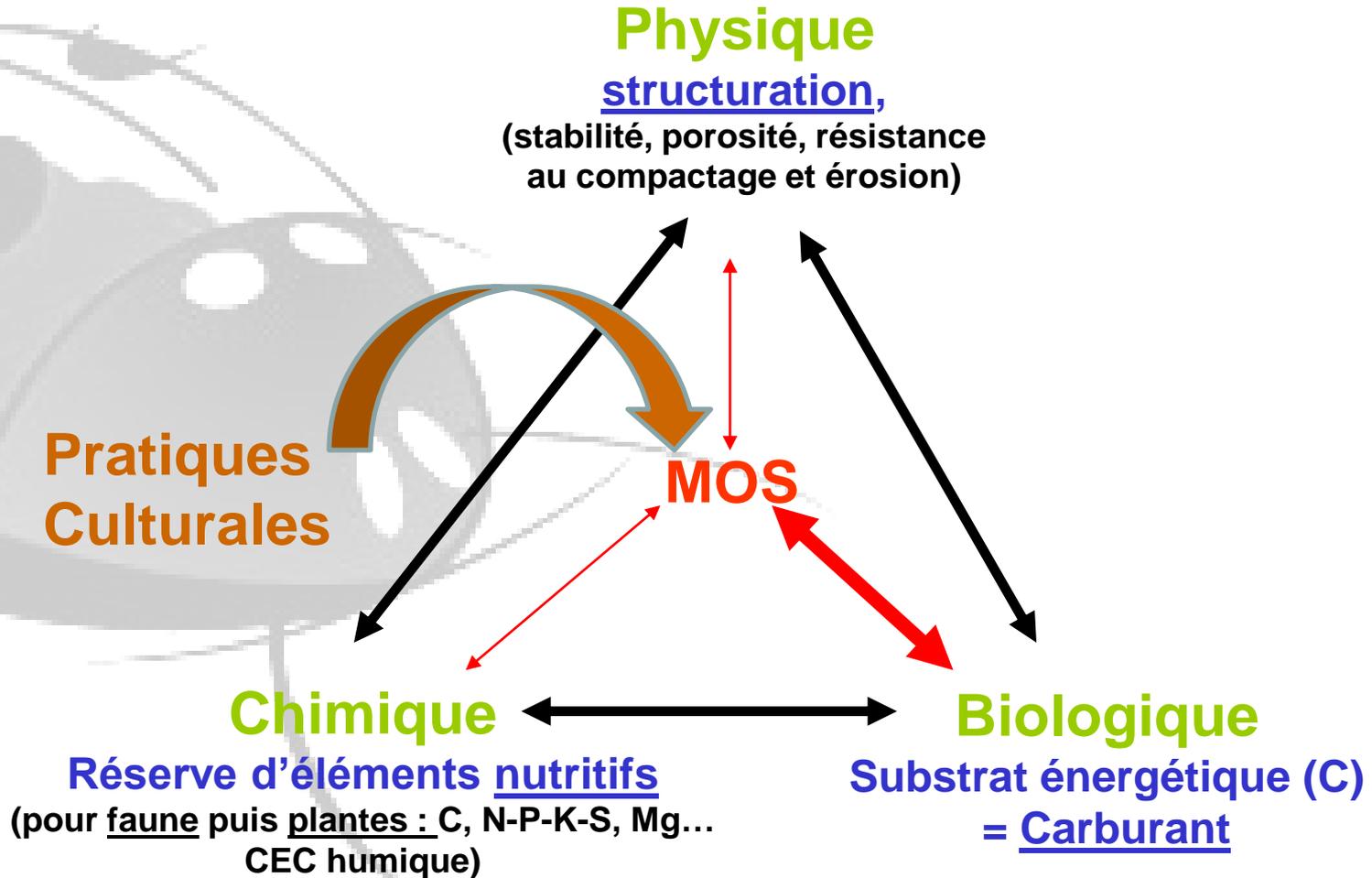
Fertilité Biologique / NUTRITION et PROTECTION

- Lutte biologique et symbiose



Trichoderma harzianum
parasitant des hyphes de
Rhizoctonia solanii avec
ses pinces et crochets

Les MO du sol (MOS) interagissent avec les différentes composantes de la fertilité des sols....



L'activité biologique structure et entretient le sol, nourrit la plante...

- Stabilisation et structuration des sols
- Porosité et aération des sols
- Recyclage des matières organiques et nutrition des plantes
- Contrôle des populations pathogènes

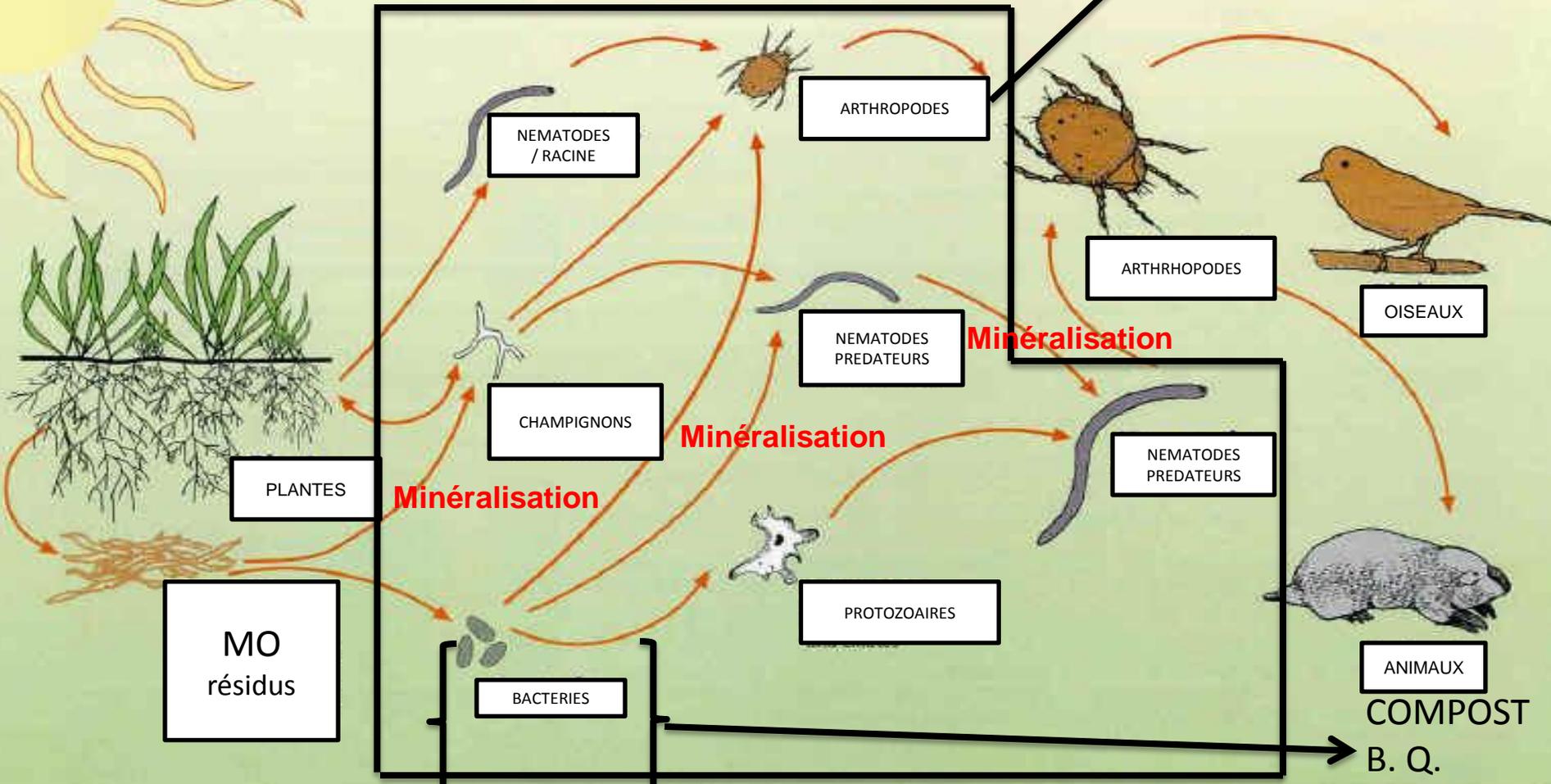
= FERTILITE BIOLOGIQUE DU SOL

(= propriétés agronomiques des sols dépendantes de l'activité biologique)

Source : USDA NRCS / Rapetti

Chaine alimentaire du sol et du compost

COMPOST HAUTE QUALITE



1 ER NIVEAU TROPHIQUE : Photosynthétiseurs

2EME NIVEAU TROPHIQUE : Décomposeurs, Parasites, Pathogènes...

3EME NIVEAU TROPHIQUE : Micro-Prédateurs

4EME NIVEAU TROPHIQUE : Prédateurs supérieurs

5EME NIVEAU TROPHIQUE : Prédateurs supérieurs



**...un seul paramètre pour apprécier la diversité
des MO et le fonctionnement du sol :**

le rapport C/N....

Comment mesurer la fertilité biologique des sols ?

Fonctionnement biologique du sol ↔ tracteur

- le carburant : $MO(s) \text{ sol} = MO \text{ libres} + MO \text{ liées}$
- le moteur : la biomasse microbienne
- la transmission : les activités microbiennes

II-1. La caractérisation du « carburant » des sols : Fractionnement granulométrique des MO du sol (NF X 31-516, sept.2007)

- **Objectif** : séparer les matières organiques particulières $>50 \mu\text{m}$ (MO facilement minéralisables) des matières organiques plus fines et des associations organo-minérales (MO stabilisées), par dispersion en milieu aqueux, tamisage (+/- flottation dans l'eau).
 - ⇒ compartiments de MO de taille différente = fonctions différentes
 - ⇒ **L'âge moyen du carbone** a été mesuré dans les différentes fractions pour des sols tempérés cultivés (Balesdent J., 1996)
 - 2 mm : moins de 1 an
 - 200-2000 μm : 2 à 5 ans
 - 50-200 μm : 10 à 20 ans
 - 0-50 μm : > 50 ans
 - hydrosoluble : 5 à 10 ans

Le Fractionnement physique-granulométrique des MO

(d'après Balesdent, 1991; Feller, 1994; (NF X 31-516, sept. 2007)) :

- **Méthode** : à partir d'un échantillon de terre fine, séchée, tamisée à 2 mm, séparation par tamisage à l'eau
 - **MO libres** du sol (taille > 0.05 mm)
 - **MO liées** (taille < 0.05 mm)

FMO : dispersion



Fractionnement de la MO par tamisage sous eau



Séchage des fractions de MO

MO libre > 50 μ m



MO liée < 50 μ m



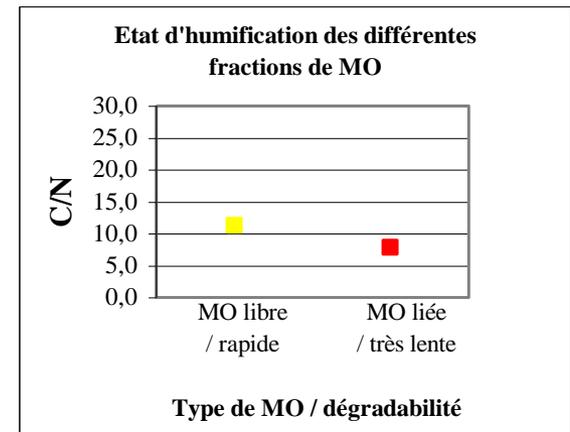
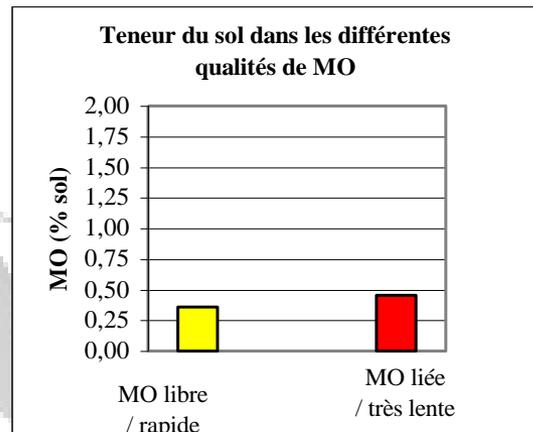
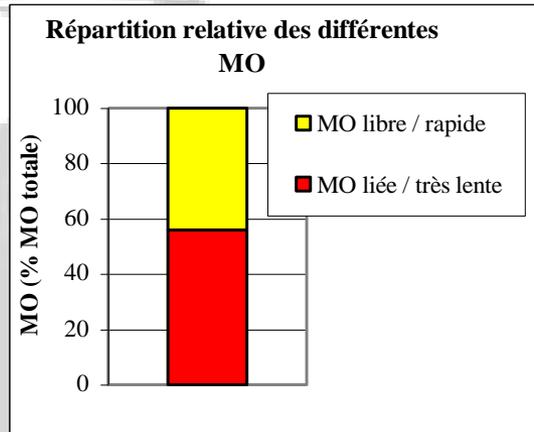
Broyage pour dosage C et N



FMO : expression des résultats

- **Résultats :**
 - bilan pondéral des fractions,
 - bilan élémentaire du C et N
 - C/N MO libres ($>50 \mu\text{m}$ et $>200 \mu\text{m}$)
et C/N MO liées ($< 50 \mu\text{m}$)

Représentation graphique du FMO :



- **Répartition relative des différentes MO** : proportion des MO libre et liée en % de la MO totale : **varie en fonction de la texture, du système de culture et du mode de gestion du sol**
- **Teneur du sol dans les différentes qualités de MO** : teneur en MO libre et liées en % du poids de terre fine : **varie en fonction de la texture, du système de culture et du mode de gestion du sol**
- **Etat d'humification des différentes fractions de MO** : rapport C/N des fractions de MO libre et liée : **informe sur la qualité de la MO et son état de digestion**

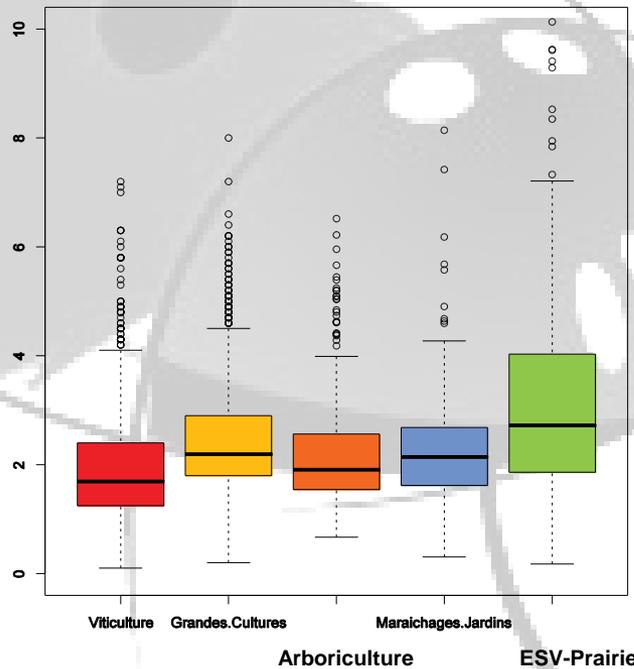
Un bref aperçu de nos sols cultivés...

MO totale

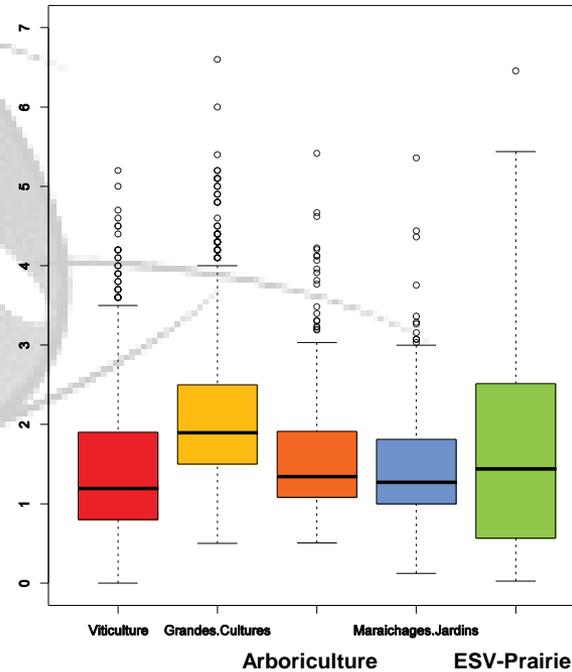
MO liée

MO libre

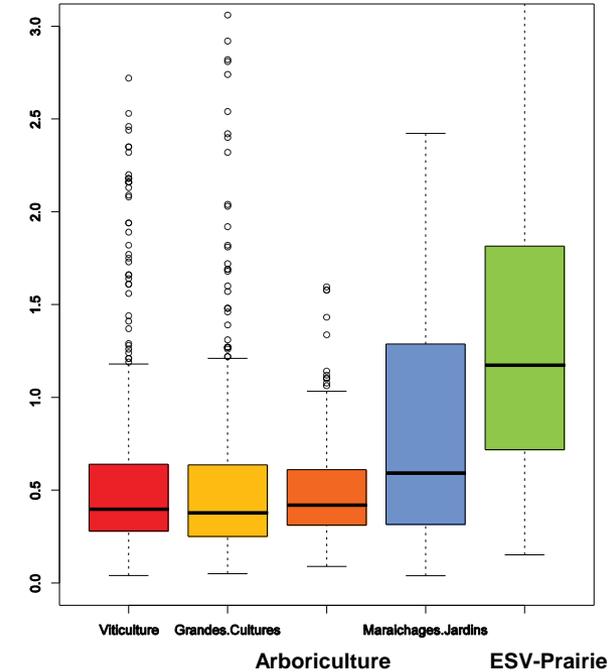
MO totale (%sol sec)-Comparaison-NATIONALE CULTURE



MO liée (%sol sec)-Comparaison-NATIONALE CULTURE



MO libre (%sol sec)-Comparaison-NATIONALE CULTURE



Intérêts agronomique du fractionnement de la Matière Organique :

- **MO libre (MO « active » / 10-15 ans)** intervient dans :
 - la fertilité biologique du sol : nutrition de la faune et microflore du sol (richesse en hémicellulose, cellulose, protéines...),
 - la nutrition des plantes (N-P-S mais aussi réserve en base non échangeables : Ca-Mg-K)
 - la stabilité à court terme : (1 à 2 ans) : par les racines et mycélium de champignon (macro-agrégats > 250 µm)
 - La résistance au tassement
- **MO liée (MO « stable » / humifiée > 50 ans)** intervient dans :
 - les propriétés structurantes et de stabilisation des sols à long terme (polysaccharides microbiens ou ciments humiques)
 - les propriétés d'échanges (CEC humiques : CEC MO liée > CEC MO libre)
 - Stock de N minéralisable à long terme
 - Diminution du Pfix du sol,
 - Adsorption de pesticide (ex : atrazine, molécule neutre, hydrophobe max dans fraction 2-20 µm)

II-2. Le moteur des sols : mesure de la biomasse microbienne (BM) par fumigation/extraction (selon FD ISO 14240-2)

- **Objectif** : mesurer la quantité de microbes du sol (bactéries + champignons + protozoaires)
- **Méthode** : par fumigation / extraction (d'après FD ISO 14240-2 et Chaussod - INRA Dijon) :
 - dosage différentiel du C extractible (C.E.) avant (Ct) et après fumigation (Cf) au chloroforme,
 - C-biomasse = C.E. / Kc
avec Kc = 0,45 et C.E. = Cf - Ct

II-2. Mesure de la Biomasse Microbienne par fumigation/extraction (FD ISO 14240-2-12/1997)

Fumigation au chloroforme



Extraction de la Biomasse Microbienne



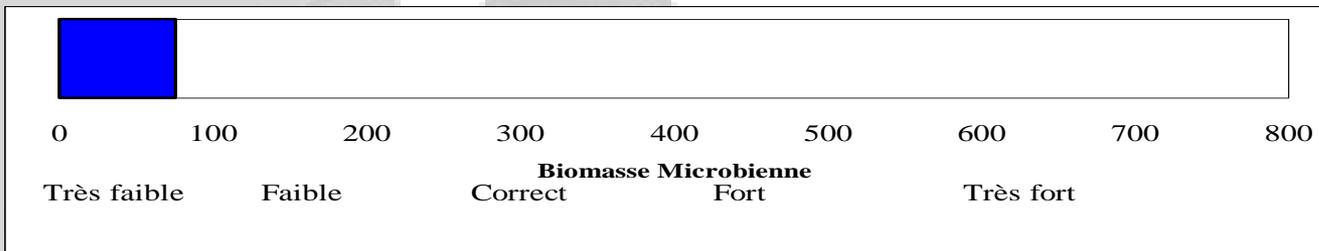
Dosage de la Biomasse Microbienne par le COT mètre (dosage Csoluble)



Représentation graphique de la Biomasse Microbienne :

3) TAILLE DU COMPARTIMENT BIOMASSE MICROBIENNE ET QUANTITE D'ELEMENTS MINERAUX STOCKES DANS LA BIOMASSE MICROBIENNE

Carbone g/kg terre	Biomasse Microbienne		Eléments minéraux stockés dans la BM (calculés)				
	mgC/kg terre	en % C	N	P	K (kg / ha)	Ca	Mg
4,7 très faible	75 très faible	1,6 correct	34	26	22	3	3



- **Carbone** : teneur en carbone du sol (g/kg),
- **Biomasse Microbienne** :
 - en mg C / kg terre : **quantité de microbes** ou de « **C vivant** »
 - en % du carbone organique du sol (BM/C) : rendement de production de la MO ou **capacité du sol à produire « la vie »** varie entre 0% et 5%
- **Eléments minéraux stockés dans la biomasse microbienne** : stocks calculés d'éléments simples (N, P, K, Ca, Mg) dans la biomasse microbienne pour 3000 t de terre : **100 mg BM = 45 kg N immobilisé / ha.**

Mesure de la biomasse microbienne (BM) :

Ordre de grandeur :

- sols cultivés : 0 à 1000 mg C /kg de terre,
- prairies de longues durées ou litières forestières : > 1000 mg/kg
- Grandes cultures : 200 à 800 mgC/kg terre
- viticulture Sud : 50 à 300 mgC/kg terre

Intérêts agronomiques de la mesure :

- mesure directe de la quantité de vie du sol : est ce que mon sol est vivant ?,
- estimer la quantité d'éléments minéraux stockés dans la biomasse microbienne, non lessivables, potentiellement bio-disponibles,
- apprécier les 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 (L / NL),
 - état structural du sol (compaction / décompaction),
 - Impact des produits phytosanitaires (cuivre...)

II-3. La Transmission : mesure des activités microbiennes par incubation contrôlée

- **Objectif** : mesurer la quantité de carbone et d'azote potentiellement minéralisable,
- **Méthode** : incubation contrôlée en laboratoire optimum H° (HCC) et T° / 28 j / 28°C ⇔ **125 jours normalisés (15°C, HCC)**
- **Paramètres mesurés** :
 - **C potentiellement minéralisable (CM)** : mgC-CO₂ / kg / 28 j
 - **Coefficient de minéralisation du C** : CM/Corg (en %)
 - **N potentiellement minéralisable (NM)** : mgN-NO₃+N-NH₄ / kg / 28 j
 - **Coefficient de minéralisation de N** : NM/Ntk (en %)



Activités microbiologiques minéralisatrices de C

(tableaux de résultats) :

BILAN DES ELEMENTS MINERALISES			
C organique (g/kg TS)	C minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation %	Cm/BM
4,7 très faible	154 faible	3,3 fort	73 fort

- **C organique** : teneur en carbone du sol,
- **Cminéralisé** : carbone potentiellement minéralisable en 28 jours (mgC-CO₂ / kg terre / 28 jours) : [stock d'énergie disponible pour la BM au cours de la culture](#),
- **Indice de minéralisation** : coefficient de minéralisation de la matière organique en 28 jours $[(C_{\text{minéralisé}}/C_{\text{org.}}) * 100]$: [activité / protection de la MO \(0% à 5%\)](#)
- **Cm/BM** : activité respiratoire spécifique (mgC-CO₂/g de BM / jour) : [fonctionnement de la microflore / état de stress \(varie de 20 à 150 mg C-CO₂/gC microbien/j\)](#)

Activités microbiologiques minéralisatrices N

(tableaux de résultats) :

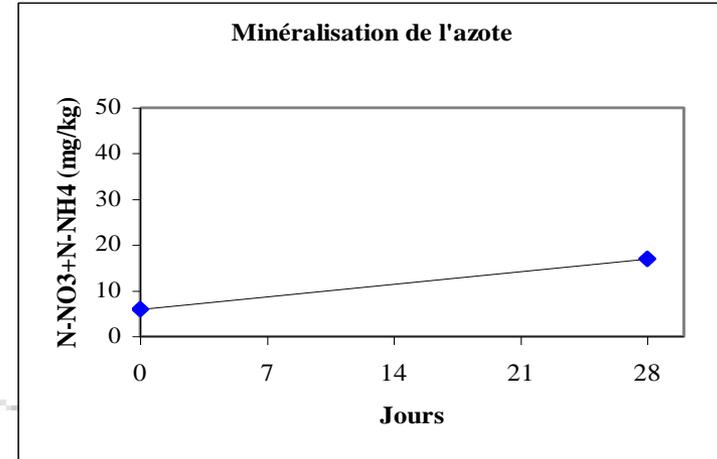
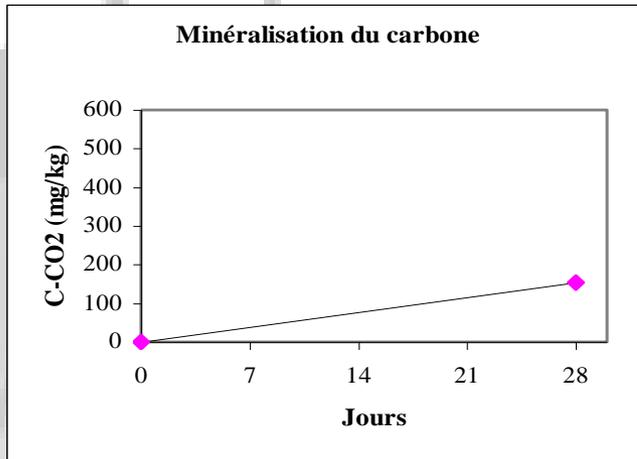
BILAN DES ELEMENTS MINERALISES

Ntk (g/kg TS)	N minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation %	Fourniture annuelle N (U)
0,519 faible	11,1 correct	2,1 fort	58

- **Ntk** : azote totale Kjeldhal (g / kg terre)
- **Nminéralisé** : azote potentiellement minéralisable en 28 jours (mgN-NO₃⁻ + NH₄⁺ / kg terre / 28 jours) : **pool d'azote potentiellement minéralisable durant 125 j N (15°C, HCC) (27 à 33 mgN/kg/28j)**
- **Indice de minéralisation** : coefficient de minéralisation de l'azote en 28 jours [(Nminéralisé/Ntk.)*100] : **proportion de N disponible pour la plante (0 à 4%)**
- **Fourniture annuelle d'azote** : **fourniture « annuelle » potentielle d'azote du sol / ha ⇔ 188 jours normalisés (15°C, HCC).**

Activités microbiologiques minéralisatrices de C et N (graphiques) :

4-2: ACTIVITES MICROBIOLOGIQUES MINERALISATRICES DE C et N: dégradabilité de la MO



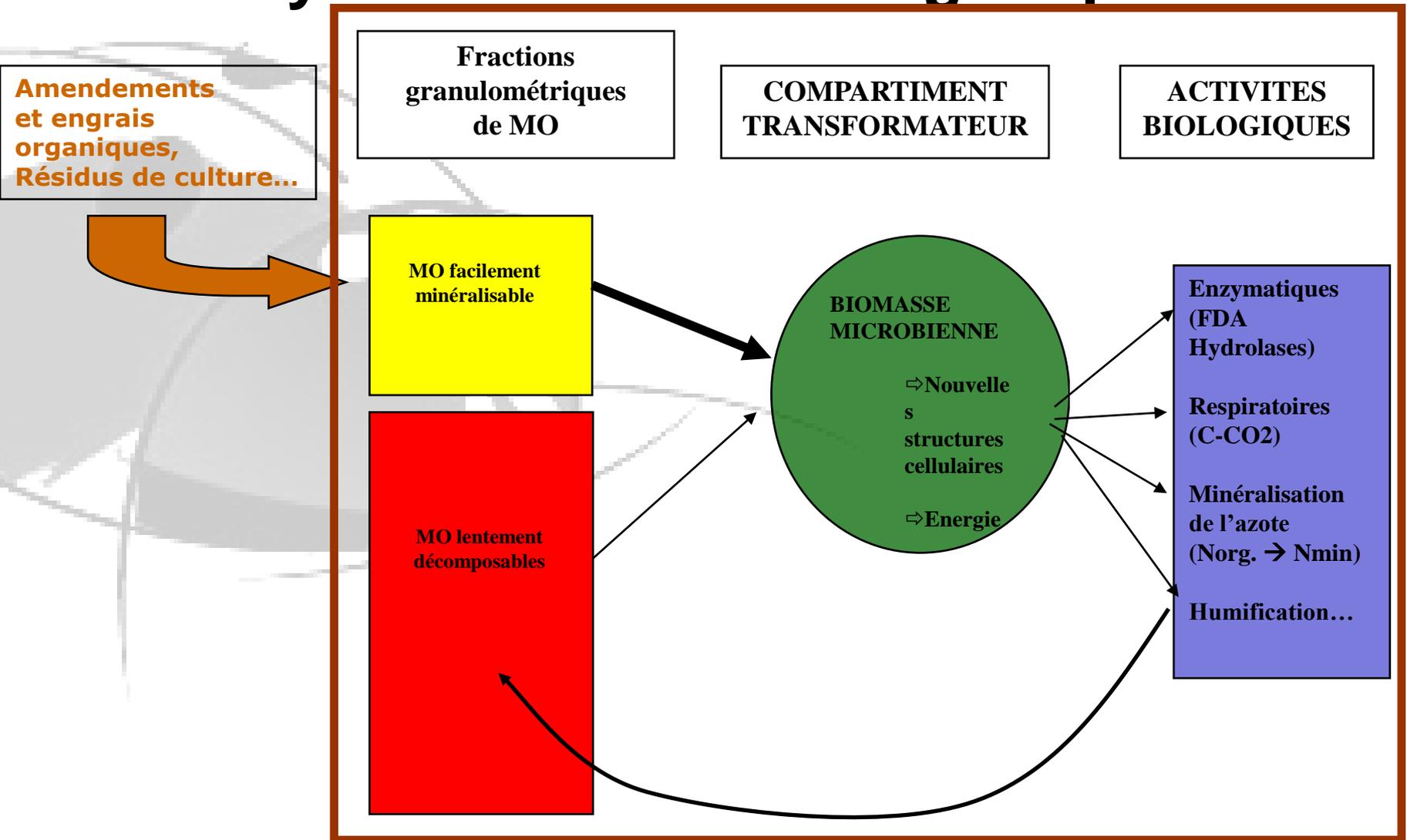
- **Minéralisation du carbone** : cinétique de minéralisation du carbone du sol sur 28 jours,
- **Minéralisation de l'azote** : cinétique de minéralisation de l'azote du sol sur 28 jours

Mesure de la quantité de MO minéralisable :

Intérêts agronomiques de la mesure :

- quantifier la teneur en matière organique facilement minéralisable (= réserves énergétiques du sol),
- mesurer l'activité de la MO (MO actives / pas actives),
- estimer la fourniture d'azote du sol (Nminéral provenant de l'activité microbienne),
- caractériser le fonctionnement de la nitrification (rapport NH₄/NO₃).

Fonctionnement biologique du sol et cycle de la matière organique



Contenu « idéal » d'un sol de grande culture, pour les différentes qualités de MO du sol (Argilo-limoneux)

<p>10% <u>MO particulaire ou « libre »</u></p> <p><u>EFFETS</u> : biologiques et chimiques plus marqués <i>un peu physique</i> COURT TERME</p>	<p>2.5% <u>MO vivante</u> (Biomasse Microbienne)</p> <p>TRES COURT TERME</p>
<p>85% <u>MO humifiée ou « liée »</u></p> <p><u>EFFETS</u> : physiques : structure, stabilité rétention en eau, LONG TERME</p>	<p>2.5% <u>MO potentiellement minéralisable</u> (énergie + nutrition)</p> <p>TRES COURT TERME</p>

Le Rapport d'Analyses :



Laboratoire d'analyse, d'étude et de conseil en
biologie des sols et valorisation des produits
organiques

CLIENT
SPECIMEN MENU 2 + ELITE

Intermédiaire



Diagnostic agronomique - Biologie du sol -

Votre parcelle: GRANDES CULTURES



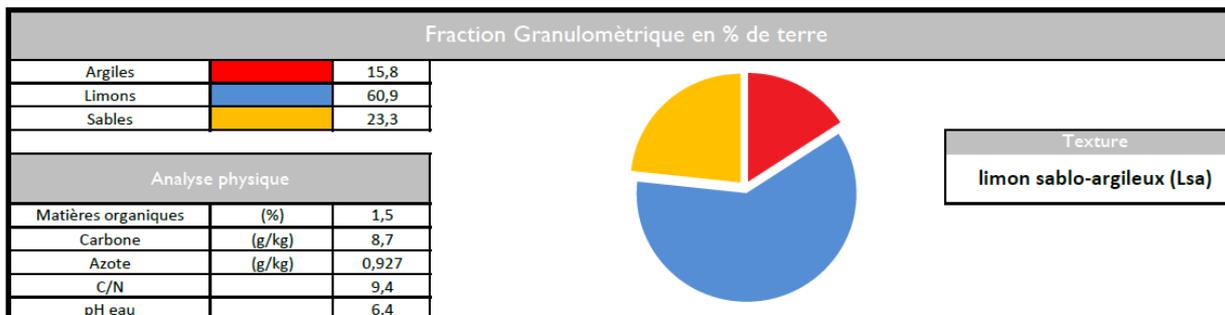
ECHANTILLON

N° de laboratoire: 13XX-XX
Date de réception: 27/12/2013
Commune:

RENSEIGNEMENTS

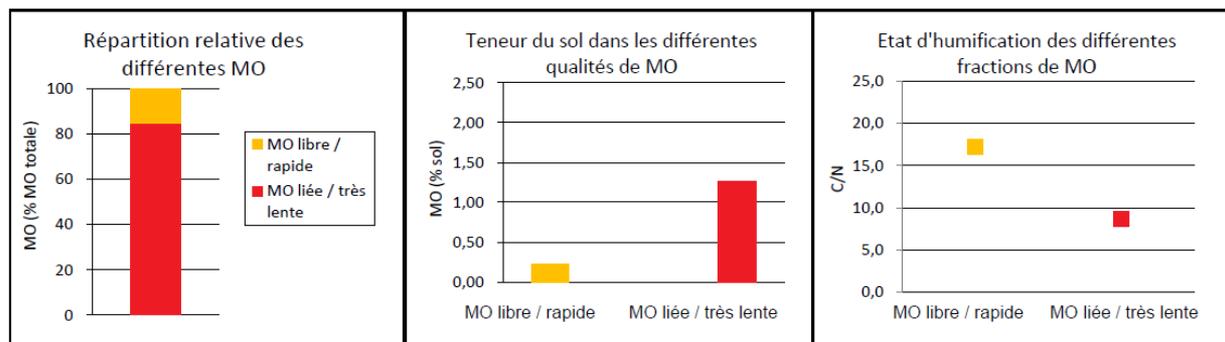
Profondeur de prélèvement: 0-20 cm
Culture: Grande culture
Charge en cailloux: 5 %
Masse de terre fine par ha (T/ha): 3040
Densité apparente (T/m³): 1,6





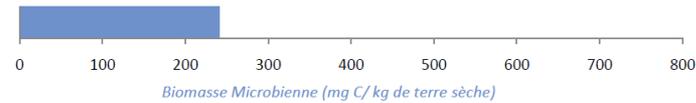
CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

FRACTION / Dégradabilité	Granulométrie %	Carbone			MO %	Azote			C/N
		mg/g fraction	mg/g sol	%C total		mg/g fraction	mg/g sol	%N total	
MO libre / rapide	23,3	5,7	1,3	15	0,23	0,331	0,077	8,3	17,2
MO liée / très lente	76,7	9,6	7,4	85	1,27	1,108	0,850	91,7	8,7
MO totale	100		8,7		1,50		0,927		9,4



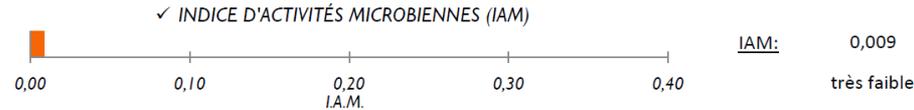
COMPARTIMENT VIVANT: BIOMASSE MICROBIENNE

Carbone g/kg terre	Biomasse Microbienne (BM)		Éléments minéraux stockés dans la BM (calculés en kg/ha)				
	mgC/kg terre	en % C	N	P	K	Ca	Mg
8,7 très faible	241 satisfaisant un peu faible	2,8 fort	110	85	72	10	10



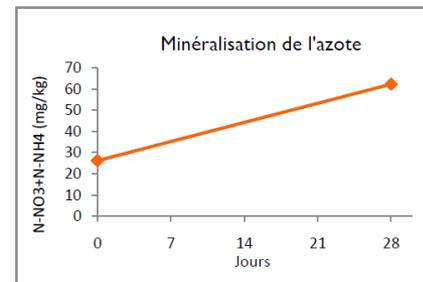
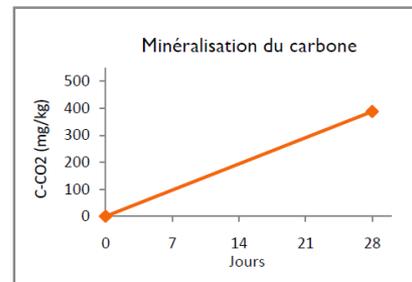
BM: 241 mg/kg
satisfaisant un peu faible

COMPARTIMENT VIVANT: ACTIVITES MICROBIENNES



IAM: 0,009
très faible

✓ **ACTIVITÉS MICROBIOLOGIQUES MINÉRALISATRICES DE C et N : dégradabilité de la MO**



BILAN DES ÉLÉMENTS MINÉRALISÉS							
CARBONE				AZOTE			
C organique (g/kg TS)	C minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Cm/BM	N total (g/kg)	N minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Fourniture annuelle N (U)
8,7	388,1	4,5	57,6	0,9	36,1	3,9	164,6
très faible	satisfaisant un peu fort	très fort			satisfaisant un peu fort	très fort	

Mauguio, le 18/02/14
Xavier Salducci
Directeur du Laboratoire

CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE

Sol limon sablo-argileux (Lsa) à pH peu acide, aptitude faible à la fissuration, risque moyen à élevé d'asphyxie, très faible stabilité structurale.

CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES

o MO totale :

Votre sol présente une teneur de 1,5% de matière organique totale. Cette valeur est très faible (2.1 à 2.4% souhaitable) et il est indispensable de la relever afin d'améliorer les propriétés physiques, chimiques, et biologiques de votre sol. La suite de l'étude aura pour but de déterminer le type d'apport à privilégier et/ou la modification de l'itinéraire technique à envisager.

o MO libres : réserves à moyen terme

La teneur en matières organiques libres (matières organiques les plus facilement dégradées) est faible, ce déficit évalué par hectare (pour une profondeur de 20 cm.) à 4,9 tonnes est préjudiciable pour votre sol et vos cultures, car les matières organiques libres sont le principal apport d'énergie pour la vie du sol. Ce manque de nourriture peut se traduire par un faible développement de la vie du sol, une mauvaise dynamique de consommation des matières organiques et donc s'accompagner d'une faible mise à disposition des éléments minéraux pour les plantes.

Le rapport C/N de la MO libre est de 17,2. Il caractérise une MO correctement évoluée, encore jeune, énergétique pour la faune et la microflore du sol, libérant assez facilement son azote.

o MO liées : réserves à long terme

La teneur en matières organiques liées (matières organiques les plus stables dans le temps) est très faible (0.32 à 0.39% souhaitable), ce déficit évalué par hectare (pour une profondeur de 20 cm.) à 22,5 tonnes est préjudiciable pour votre sol et vos cultures, car de nombreuses propriétés agronomiques s'en trouvent affectées : érosion des sols de par la fragilité des agrégats et difficulté à obtenir une bonne stabilité structurale, faible stock potentiel de fourniture d'éléments minéraux (N,P...) du sol aux plantes, faible résistance aux stress environnementaux (sécheresse, inondations...)

Le rapport C/N de la MO liée est de 8,7. Cette valeur est satisfaisante et caractérise des humus bien évolués, fonctionnels, libérant assez facilement de l'azote.

o Équilibre des compartiments libre et lié (équilibre des réserves entre court et long terme) :

Les compartiments organiques de votre sol sont équilibrés : les réserves organiques sur le long terme sont bien proportionnées par rapport aux réserves à plus court terme (respectivement 85% et 15% du carbone total).

Interprétation de
Positionnement
= START (p1)

COMPARTIMENT VIVANT: BIOMASSE MICROBIENNE



o Taille du compartiment microbien :

Votre sol est vivant : le compartiment microbien (compartiment vivant majoritaire du sol) est développé et représente 241 mg de carbone par kg de sol sec, soit environ 731 kg par ha pour votre parcelle (pour une profondeur de 20 cm.). La biomasse microbienne est constituée de nombreux éléments (N,P,S...). Cette biomasse se renouvelle rapidement dans le sol rendant ainsi les éléments qu'elle contient potentiellement disponible pour les plantes. Le maintien de cette masse vivante dans le sol assure, de plus, de nombreuses propriétés agronomiques indispensables aux cultures : porosité (drainage, enracinement), stabilité structurale (anti-érosion).

o Proportion par rapport au stock de MO :

La biomasse microbienne représente une proportion importante de la matière organique totale (2,8%). L'environnement sol (exemples : structure, porosité..) et la qualité des restitutions organiques est très favorable au développement de la vie microbienne.

COMPARTIMENT VIVANT: ACTIVITÉS MICROBIENNES

o Indice d'Activité Microbienne :

Les activités enzymatiques du sol étaient très faibles au moment du prélèvement.

o MO potentiellement minéralisable :

La MO potentiellement minéralisable est la MO qui sera très rapidement dégradée par les micro-organismes (sous réserve que de bonnes conditions de température, d'humidité et d'oxygénation soient réunies) : ces derniers utilisent le carbone organique comme source d'énergie pour leur croissance et leur développement. Pour votre sol la quantité de carbone minéralisé à 28 jours est satisfaisante (388 mg de carbone par kg de sol sec), elle est suffisante pour nourrir la biomasse microbienne et la faune du sol. De plus, rapportée à la matière organique totale, la quantité de matière organique rapidement utilisable par la biomasse est très importante (indice de minéralisation du carbone = 4,46%). On dit que l'activité de la matière organique est très forte. Les matières organiques, de par leur quantité et leur qualité (activité) sont donc très propices au développement du potentiel biologique du sol.

o Azote potentiellement minéralisable :

L'azote minéralisé en 28 jours en laboratoire en conditions contrôlées (température, humidité) modélise la quantité d'azote minéral potentiellement disponible pour les plantes dans une situation de terrain d'environ 4 mois. Pour votre sol cette quantité est satisfaisante (36 mg d'azote par kg de sol sec). De plus, rapportée à l'azote total, cette quantité d'azote rapidement utilisable par les plantes est très importante (indice de minéralisation de l'azote = 3,9%). On dit que l'activité de l'azote de la matière organique est très forte. La mise à disposition d'une quantité considérable d'azote minéral pour la culture est donc assurée par la quantité de matière organique, mais aussi par sa qualité (activité). La nitrification fonctionne correctement et aboutit très majoritairement à la synthèse de nitrate.

Par extrapolation sur 6 mois, l'activité biologique du sol peut générer environ 165 unités d'azote par hectare.

Interprétation de
Positionnement
= START (p2)



Conclusions:

Points positifs

- # Structure équilibrée de la MO et MO (libres et liées) correctement évoluées.
- # Forts coefficient de minéralisation de C et N (compensation)

Points négatifs

- # Sol à texture limono-argileuse-sableuse, sensible à l'asphyxie et à la structure fragile.
- # Déficit de matières organiques libres et liées.
- # Faible quantité de biomasse microbienne.
- # Forts coefficient de minéralisation de C et N.

Propositions

Votre sol a un fonctionnement biologique plutôt satisfaisant, mais compense le faible stock de MO libres (énergie à court et moyen terme) et liées (humus) par une forte consommation de son stock de MO. De même, la faible teneur en azote totale est compensée par une forte activité de minéralisation et biodisponibilité de l'azote organique.

La priorité est de redresser le stock de matière organique liée par l'apport d'amendement organique stabilisée, à fort ISMO (Indice de Stabilité de la MO) (ISMO > 70%). Ceci correspond à des produits riches en lignine, généralement compostés, comme des composts de fumier bovin ou des composts de matières végétales. Apporter de l'ordre de 10 à 12 t de compost / ha / an.

Afin de poursuivre également l'amélioration de la fertilité biologique du sol, et notamment le compartiment "matières organiques libres", un apport de matières organiques fraîches sera bénéfique : l'interculture est une excellente idée. Rechercher de fortes restitutions de biomasse riche en cellulose, voire un peu ligneuse. La minéralisation d'azote est d'un niveau élevée (165 U/an), la féverolle ou une autre légumineuse ne seront peut être pas complètement fonctionnelles.

IV. Quel type de produit organique pour mon sol ?

Caractérisation biochimique et biologique des produits organiques

Les nouveaux outils...

- Objectifs généraux : apporter des connaissances sur le devenir des produits dans les sols : prédire leur comportement et leur effet sur le sol et la culture.

III-1 - Caractérisation de la matière organique par la minéralisation potentielle du carbone et de l'azote

(= *Cinétique C et N*) (NF XP U44-163, Décembre 2009) :

- **Objectif** : définir le potentiel de minéralisation (carbone et azote) de produits organiques par une méthode d'incubation en conditions contrôlées (T° et H°). *La minéralisation est un processus microbien qui transforme la matière organique en matière minérale, soit*
 - *Corganique* $\rightarrow CO_2$
 - *Norganique* $\rightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$
- **Principe** : Suivi de la production de dioxyde de carbone (C- CO_2) et d'azote minéral (N- NO_3^- et N- NH_4^+) par un mélange terre + produit organique, lors d'une incubation de 91 jours en conditions contrôlées de T° ($28^\circ C$) et H° (pF 2,5).
- **Norme validée par l'AFNOR** en Décembre 2009 et publiée en 01/2010

Cinétiques de minéralisation :

Dispositif :

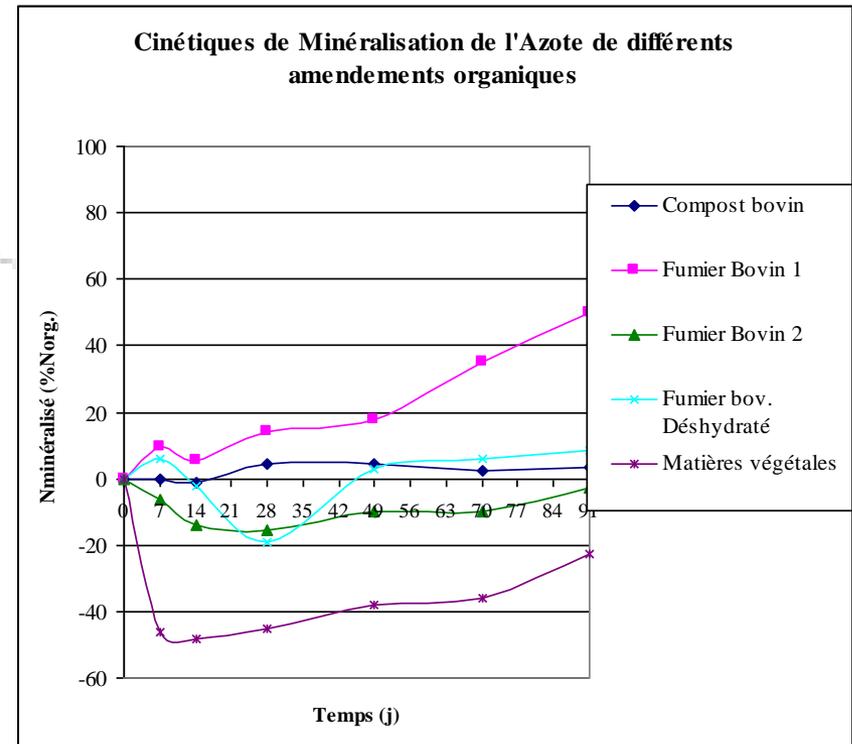
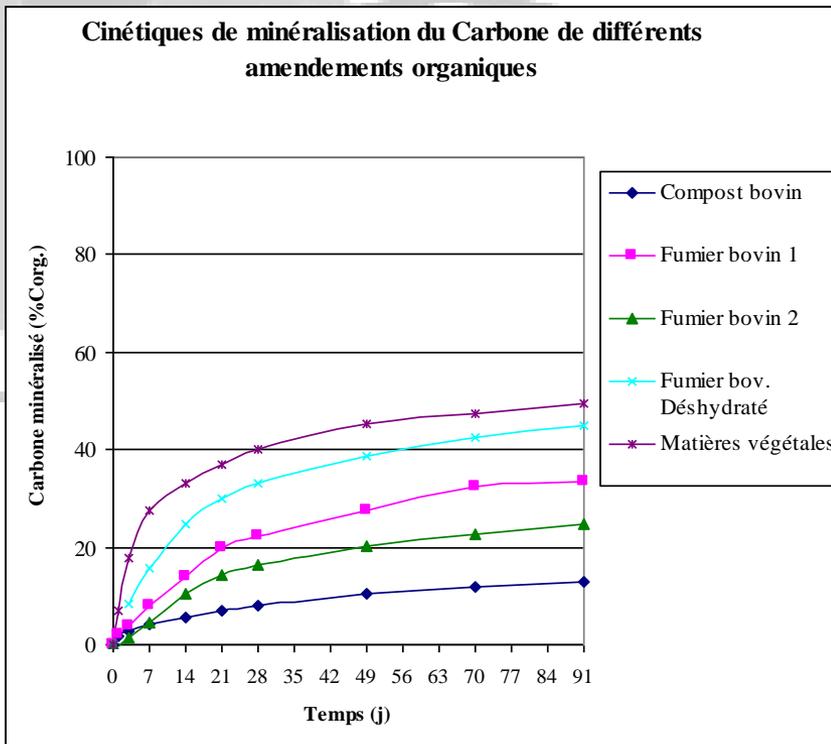


Cinétiques de minéralisation :

Dispositif :



Cinétiques de Minéralisation de C et N (Incubations contrôlées selon NF XPU 44-163)



Analyse n° PO28XXXXX
AMENDEMENT ORGANIQUE NF U 44-051

ORGANISME
RÉF. PRODUIT

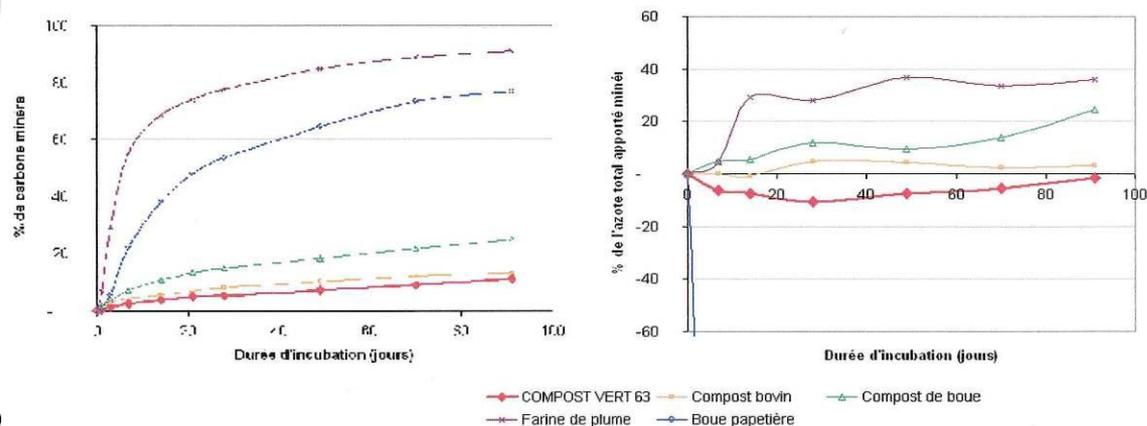
SYNTHESE DES RESULTATS
PrNF U44 163 (cinétique de minéralisation du carbone et de l'azote)

Caractéristiques du produit	% du produit brut	Apport total pour 10 tonnes de produit épandu (kg/ha)	Coefficient de minéralisation maximal en 91 j	Estimation des fournitures pour 10 tonnes de matière brute / ha
Matière sèche	52.7	5270		
Matière organique (MO)	19.6	1960		1744 kg de MO stable
Carbone (C)	9.8	980	11.0 %	872 kg de C stable
Azote Total (Nt)	0.64	64		5 Unités de N disponibles
Dont Azote organique	0.58	58	-2.0 %	-1 Unités ⁽²⁾
Dont azote minéral	0.06	6		
Forme Nitrique	0.00	0		0 Unités ⁽¹⁾
Forme Ammoniacale	0.06	6		6 Unités ⁽¹⁾
C/ N total	15.3			

(1) Azote immédiatement disponible après épandage

(2) Azote potentiellement disponible à court ou moyen terme. (Voir l'interprétation ci-dessous)

COURBES DE MINÉRALISATION DE VOTRE PRODUIT ET DE PRODUITS DE RÉFÉRENCE



Bulletin de Synthèse
De la Cinétique
de Minéralisation
du C et N
(page 1)

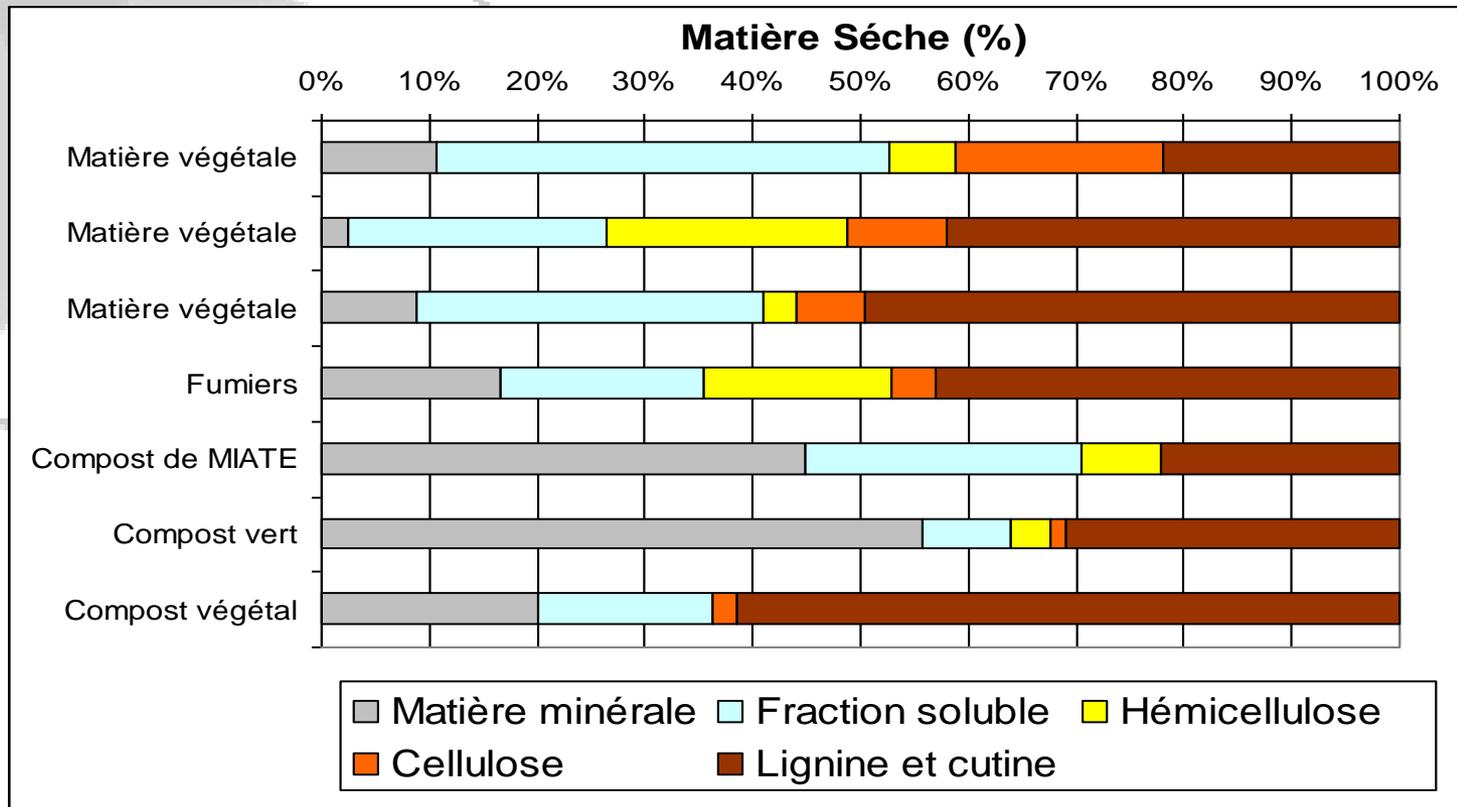
III-2 - Méthode de caractérisation biochimique des amendements organiques et Indice de Stabilité Biologique (ISB/ISMO): prXP U44-162 (2005) puis XP U44-162 (2009)

Fibertest



Grande diversité biochimique des Produits Organiques et des Composts

Profil Biochimique de différents produits organiques selon analyse NF XP U44-162
Base du calcul de l'ISMO = « potentiel Humigène »



Profil Biochimique des matières organiques et ISMO

Fraction SOL

Fraction HEM

Fraction CEL

Fraction LIC

SOL = soluble

HEM = Hémicellulose

CEL = Cellulose

LIC = Lignine + Cutine

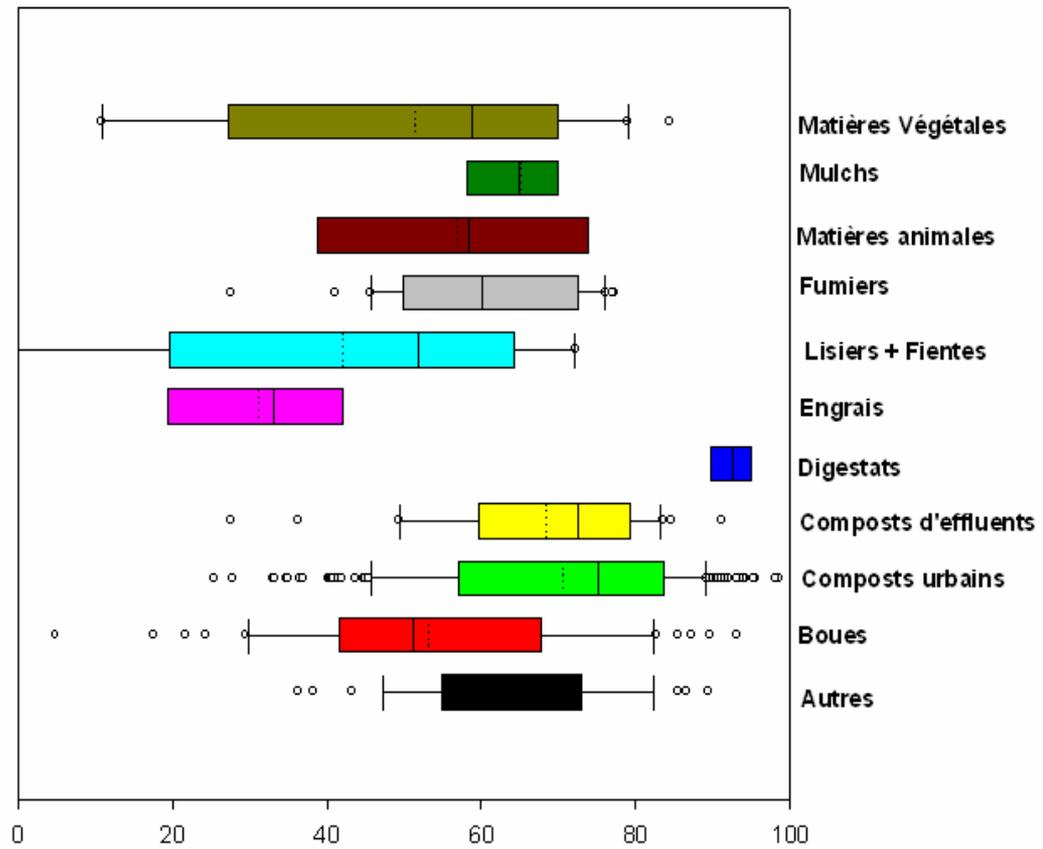
$$\text{ISMO} = 44,5 + (0,5 \times \text{SOL}) - (0,2 \times \text{CEL}) + (0,7 \times \text{LIC}) - (2,3 \times \text{ct3})$$

ISMO = pourcentage de matière organique du produit résiduelle environ un an après apport au sol. Cette fraction reste minéralisable mais à un rythme plus lent (#2% / an).

Nouvel indice d'estimation de la Stabilité Biologique de la Matière Organique : ISMO (NF XP U 44-162, Décembre 2009)

- **ISMO** peut être exprimé en
 - % de la **MO**,
 - quantité de MO stable **sur sec** : **kg / tonne**
 - Quantité de MO stable **sur brut** : **kg / tonne**

Premiers résultats de l'analyse de l'ISMO pour 440 produits organiques regroupés en 11 groupes (Lashermes et al, 2008)



Application pratique de l'indice ISMO

Exemple : Broyat de Végétaux + Biodéchets :

MO = 25,6 % du brut

ISMO = 76,7%

A partir de l'ISMO :

1000 kg de matière brute apportent 256 kg de MO brute qui sont susceptibles de fournir $256 * 0,767 = 196$ kg de matière organique potentiellement résistante à la dégradation.

Concrètement : 1000 kg de compost frais apportent 196 kg de MO résistante à la dégradation et 60 kg de MO facilement minéralisable.

LIMITES DE L'ISMO

- Certains produits (de 1% à 5%) peuvent présenter des résultats aberrants du fractionnement biochimique (fraction négative) :
 - Produits contenant des soies de porcs
 - Certains produits d'origine viticole (marcs)
 - Grains de maïs frais
 - ... ?
- Dans ce cas, le calcul de l'ISMO doit se faire à partir des résultats de la cinétique
- ISMO et résultats de cinétiques = **potentiels** obtenus en laboratoire dans des **conditions optimales**
- Au champ, l'expression de ces potentiels sera modulée par différents facteurs :
 - Caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol (% d'argile, pH,)
 - Climat
 - Pratiques culturales
 - Sol nu / cultivé
 - Caractéristiques physiques du produit (granulométrie, présentation)
- **La transposition des potentiels au champ ne peut pas être directe**
- **Les classements des produits les uns par rapport aux autres restent pertinents**

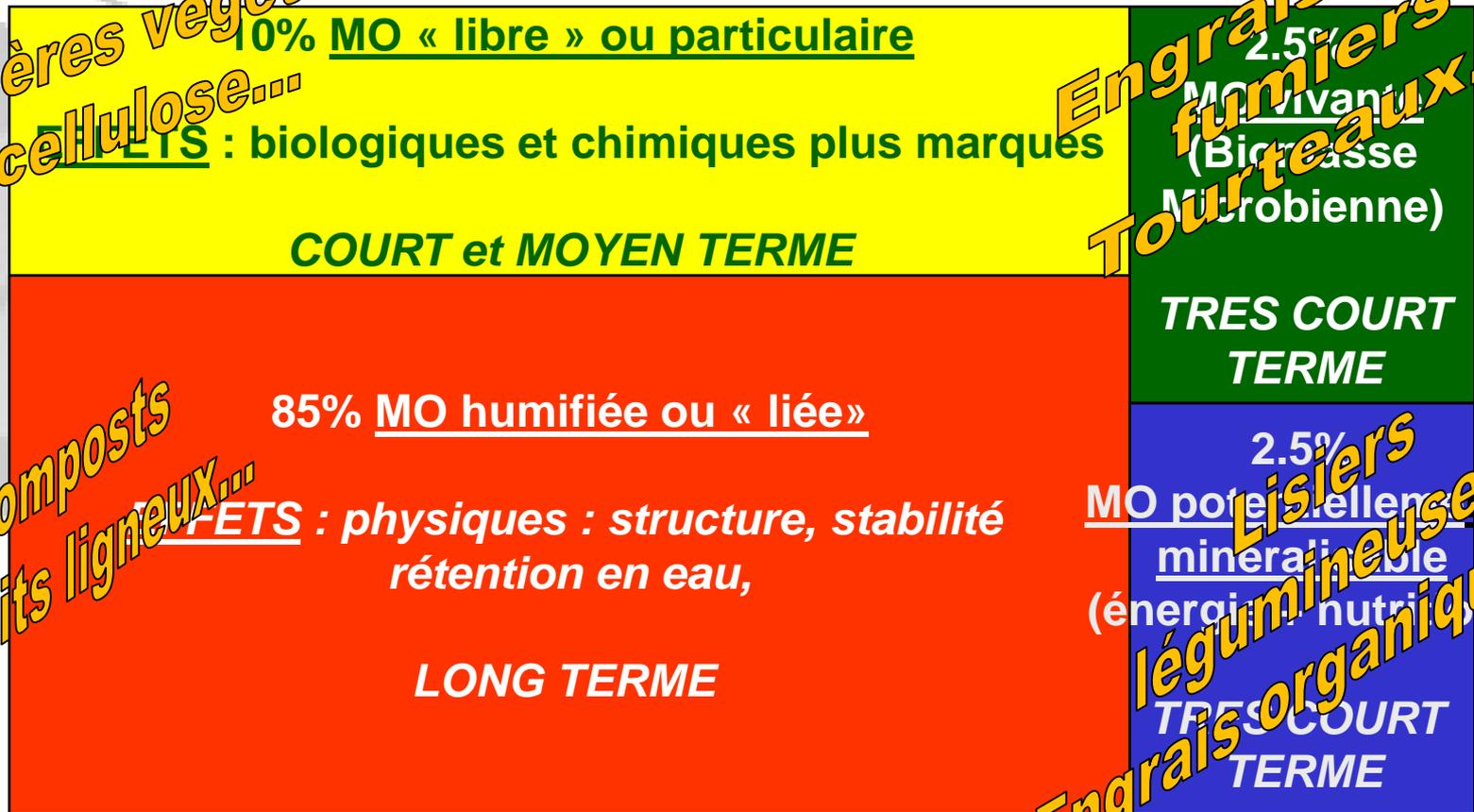
Comment entretenir les différents stock de MOS ? (ex : sol de grande culture, Argilo-limoneux)

*Matières végétales
cellulose...*

*Engrais verts,
fumiers
Tourteaux...*

*Composts
Produits ligneux...*

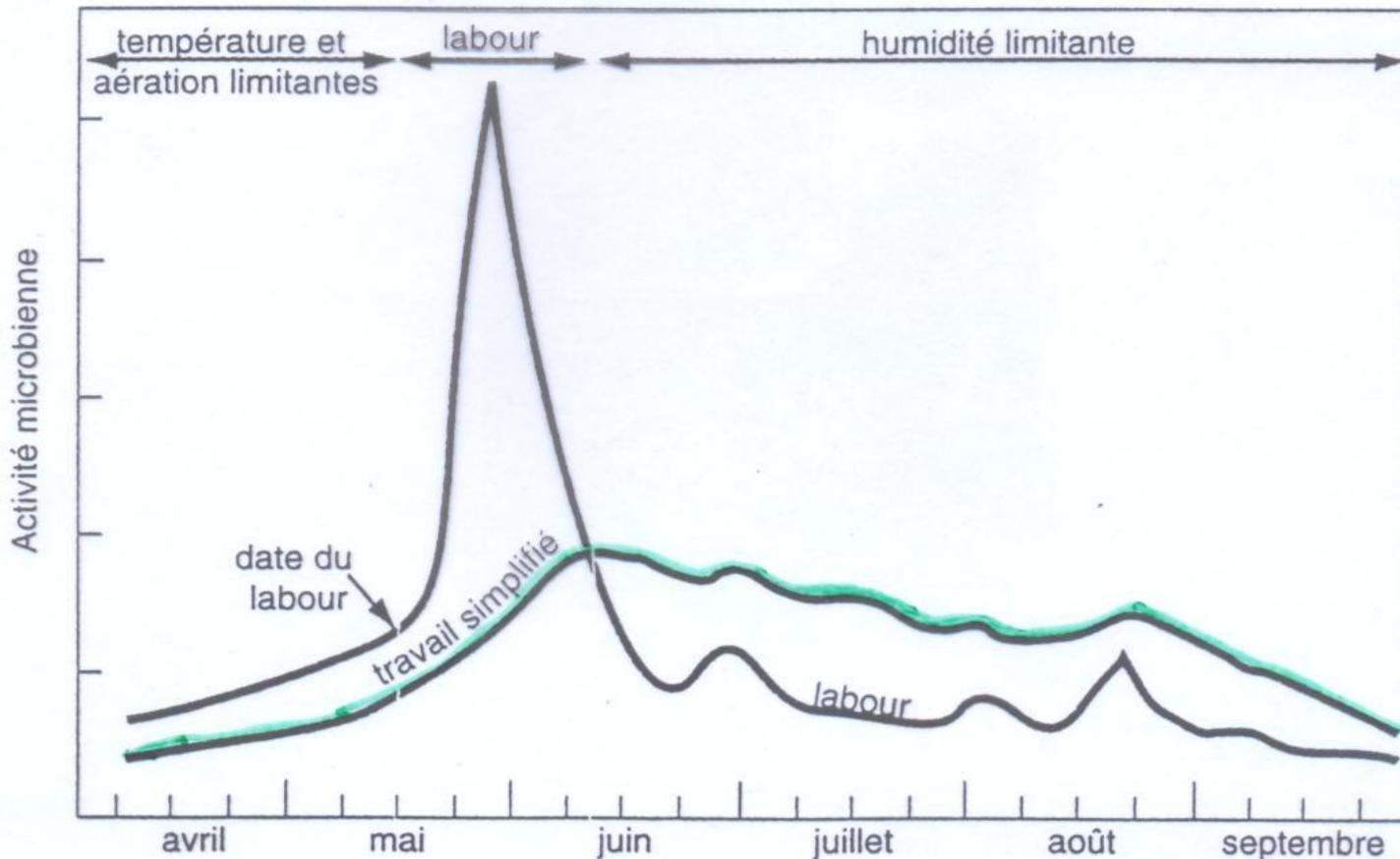
*Lisiers
légumineuses
Engrais organiques...*





IV : Applications agronomiques des mesures biologiques de sols : gestion de la fertilité biologique et organique

Figure 4 : Evolution supposée de l'activité microbienne relative au cours de l'année en sols travaillés et non travaillés



Les facteurs limitants de l'activité microbienne sont indiqués en haut du graphique.

d'après Doran, cité par Fox et Bandel, 1986

Biomasse microbienne : source d'éléments fertilisants pour la culture

Quantité d'éléments immobilisés dans la biomasse microbienne du sol
Essai de longue durée de Broadbalk (Centre de Rothamsted-GB)
 (P. Brookes, Mic. Envir., 2001 : 16(3) : 131-140)

	Carbone	Azote	Phosphore
	Carbone	N	P2O5
	kg / ha / 10 cm		
Non fertilisée	180	26	16
NPK	200	26	14
Effluents de Ferme	310	46	62
Horizon forestier	570	84	124
Prairie	890	130	150

Blé continu

Essai mis en place en 1843 !

Biomasse Microbienne : Indicateur précoce du fonctionnement biologique du sol

Essai de longue durée (18 ans) (Studsgaard, DK) : effets du brûlage/incorporation de paille
 (Powlson et al, 1987)

	C	N	BM-C	BM-N
	%	%	kg/ha	kg/ha
Brulée	1,15%	0,13%	273	45
Incorporée	1,25%	0,14%	374	72
<i>augmentation</i>	9%	5%	37%	60%

Pratiques culturales et disponibilité de l'azote et du carbone :

(Powlson et Brookes, 1987 / longue durée, 18 ans

Brûlage de paille et disponibilité de l'azote : essai longue durée (18 ans de Studsgaard et Ronhave – DK). Mesure en laboratoire / Incubation contrôlée (60j)

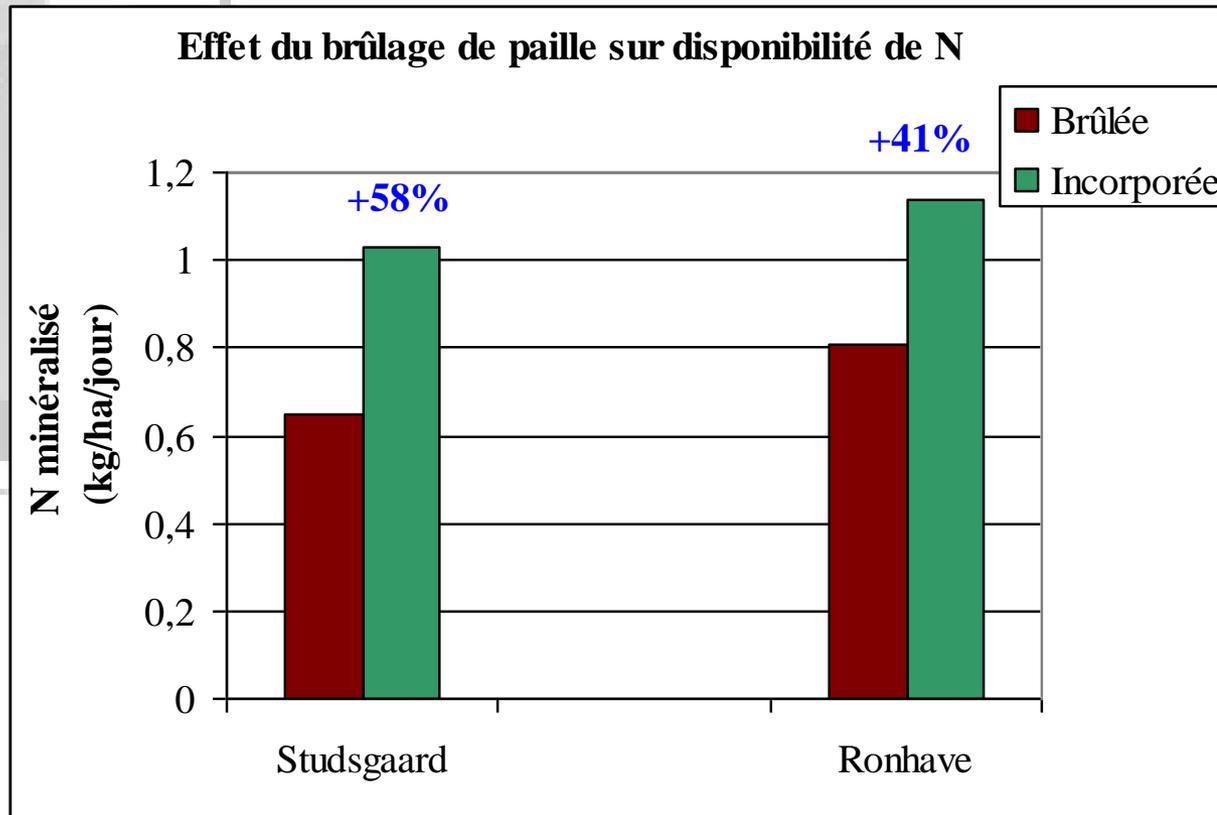
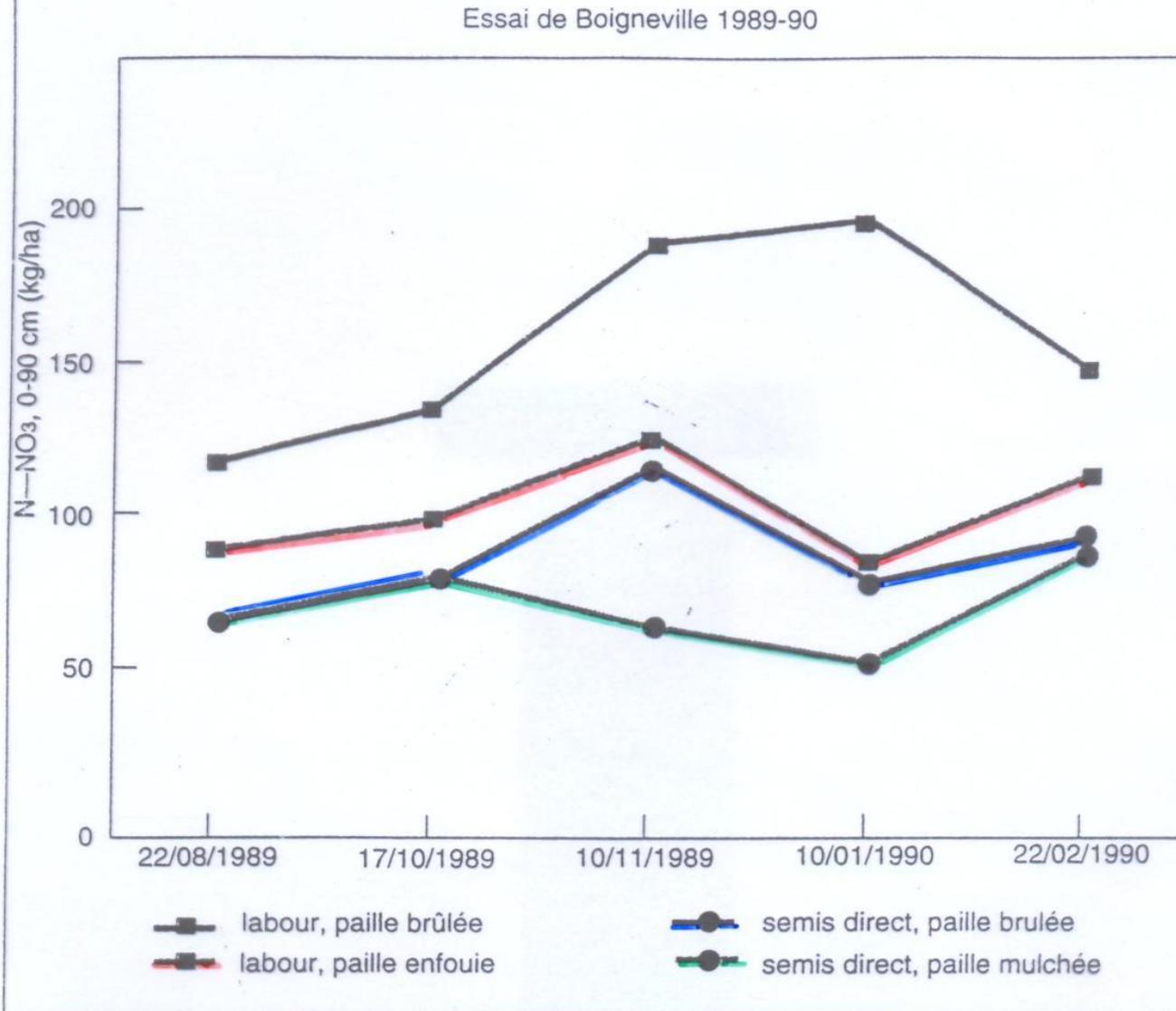


Figure 3 : Effet du travail du sol sur l'évolution des reliquats azotés minéraux après culture



C/N DIFFÉRENTS : minéralisation plus rapide pour les rapports faibles

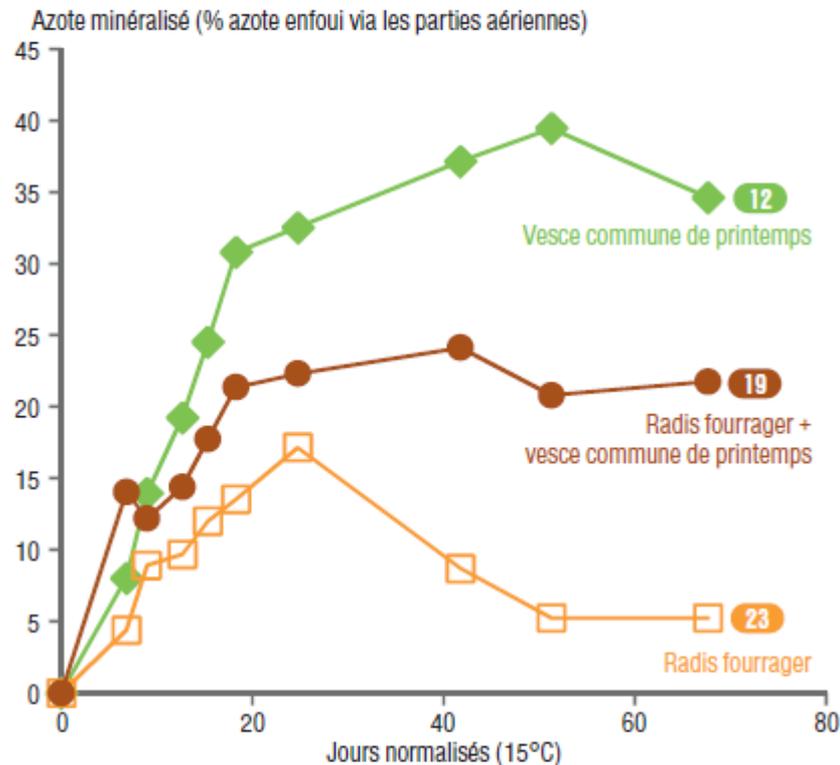


Figure 1 : Cinétique de minéralisation suite à la destruction de 3 types de couverts intermédiaires Sur l'essai ARVALIS-Institut du végétal/CA51 de Gaye (51) en 2010. Cinétiques reconstituées via le modèle Lixim (INRA, Mary et al. 1999). Les étiquettes indiquent les rapports C/N des couverts.

Perspectives Agricoles, N° 409-2014

C/N PROCHES : les vitesses de minéralisation sont similaires

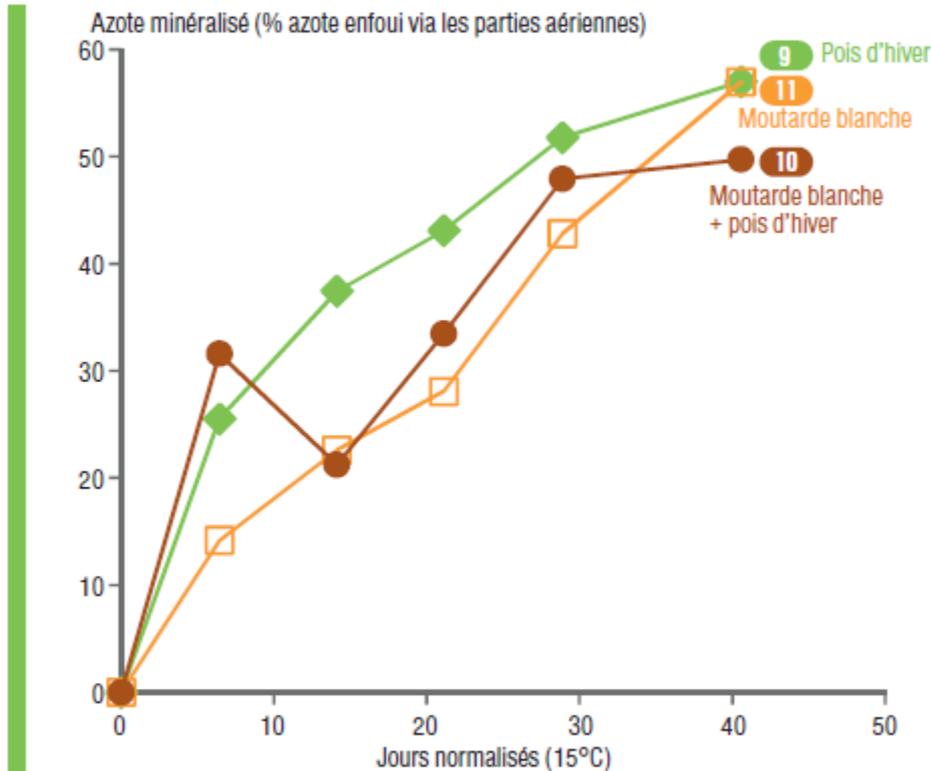
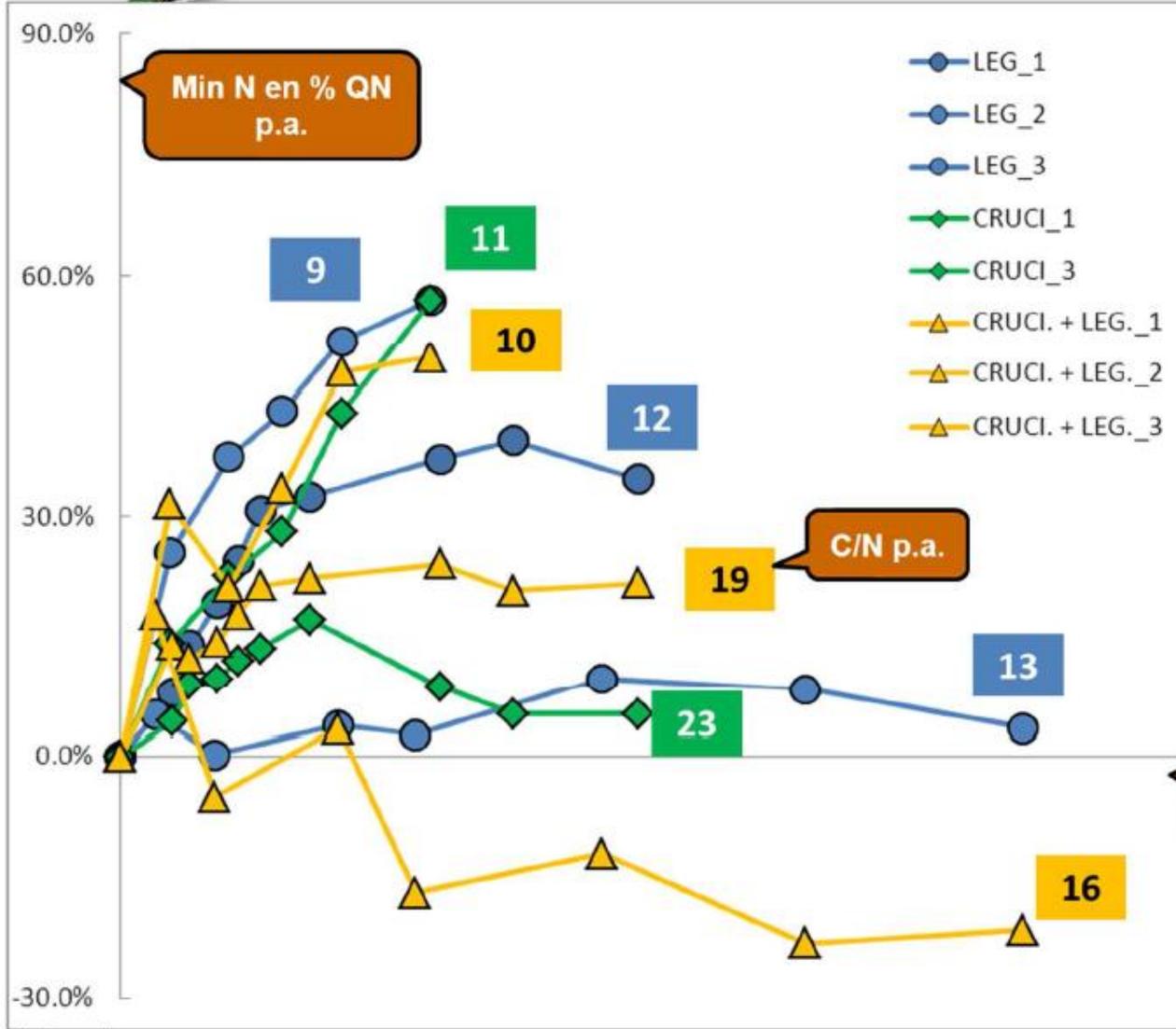


Figure 2 : Cinétique de minéralisation suite à la destruction de 3 types de couverts intermédiaires sur l'essai ARVALIS-Institut du végétal de Rots (14) en 2009. Cinétiques reconstituées via le modèle Lixim (INRA, Mary et al. 1999). Les étiquettes indiquent les rapports C/N des couverts.

Minéralisation des résidus végétaux : une question de rapport C/N



Des essais au champ validant l'approche laboratoire

Conclusion 1 : diagnostic des sols / préconisations

- **Fertilité Biologique : construire le meilleur environnement pour la racine;**
- **Analyse Biologique de terre : gérer la MO et l'azote :**
 - Potentialités biologiques du sol : **est ce que mon sol est vivant ?**
 - Gestion de la MO : **qualité et quantité à apporter pour équilibrer le sol,**
 - Potentiel de fourniture en azote : **fertilisations azotés**
 - Mesurer l'**impact des pratiques culturales sur la fertilité globale** de son sol ;
- **Références et référentiels ?** : en cours de construction mais forcément régionalisés pour prendre en compte les variations **pédo-climatiques.**

Conclusion : comment conserver des sols biologiquement actifs ?

- **Nourrir le sol et ses habitants** (par l'apport de MO non compostés) :
 - Restitutions des résidus de culture,
 - Cultures intercalaires (engrais verts, CIPAN)
 - Apports de matières organiques actives (Produits organiques non compostés, faible ISB : fumiers, lisiers....BRF ?)
- **Protéger le sol et ses habitants** :
 - Limiter le travail du sol (NL, TCS...)
 - Conserver la structure (limiter les passages / travailler en bonnes conditions)
 - Apport de produits organiques stabilisés (Compost...BRF ?)
 - Chaulage du sol,
 - limiter les phytosanitaires (fongicides en particulier)