

Gestion de la fertilité du Sol en Agriculture Biologique

Intervention au
CFPPA Carpentras
Décembre 2009 - février 2010

Karim RIMAN www.consultant-agriculture-ecologique.com

Spécialiste des sols – Accompagnement technique
84250 Le Thor- France - E-mail : karim.riman@free.fr
Tél : + 33 4 90 21 40 44 – Fax : + 33 4 90 21 40 41

Rappel des fondements
historiques de l'agriculture
biologique

- Méthode bio-dynamique, initiée par Rudolph Steiner (anthroposophe) en 1924

R. Steiner met en garde contre l'excès d'engrais chimiques et conseille *l'emploi de compost* préparé avec certaines substances végétales. **L'exploitation agricole est un organisme vivant.**

- Mouvements pour une agriculture organique

- Sir Albert Howard publie en 1940 écrit le testament agricole qui redonne à *l'humus un rôle fondamental*.
- Hans Peter Rush inspirée des travaux de Dr Hans Müller propose une méthode d'agriculture organo-biologique. Sa principale caractéristique est le *compostage de surface*. Leurs objectifs sont surtout socio-économiques.

Introduction de l'agriculture biologique en France

En 1959 fut introduite la méthode de la « Soil Association » qui a donné naissance à la méthode Lemaire-Boucher en 1963; par scission Nature et Progrès a fait son apparition.

Par ailleurs le Mouvement pour une vie saine apparu en Allemagne à la fin du XIX siècle a été développé en France à partir de 1946 par la « Vie Claire ».

Courant de pensée qui préconise de s'alimenter et de se soigner de manière plus naturelle

Développement de la production biologique en France

- Les années 50-60 : l'ère des pionniers
- Les années 70-80 : l'essor et mise en place des organisations professionnelles
- Les années 80-91 : reconnaissance officielle et internationalisation
- Les années 92-98 : stagnation
- 98-2002 : développement via les CTE puis stagnation

Puis développement par vague.

- 2008-2009 : est-ce une reprise, prise de conscience gouvernementale??

Le sol et l'humus ont été au cœur
des préoccupations des initiateurs
de ce mouvement

Appréciation de la fertilité du sol en Agriculture Biologique

Différents niveaux de définition :

1. Aptitude à produire régulièrement de bonnes récoltes. *La fertilité du sol n'est pas «fertilisation» qui est l'enrichissement du sol en éléments fertilisants» (G. Guet)*
2. La fécondité d'un sol est son « aptitude à produire toute la chaîne alimentaire, allant des micro-organismes à l'homme, en passant par la plante et l'animal, et ceci pendant des générations » (H.P. Rusch)

Qu'est-ce qu'un sol?

Le sol : organisme vivant

- Il prend naissance à partir d'une formation géologique, minérale, carbonatée ou non : notion de Roche mère
La Roche mère est tendre ou dure, formée sur place ou « venant d'ailleurs » : alluvions, colluvions, ...
- Cette formation géologique va se désagréger et s'altérer donc évoluer sous l'effet du climat et surtout du vivant.
- Ce processus d'évolution durant des millénaires, aboutit à une différenciation verticale par horizon.

Le
vivant
forme le
sol
ici
Roche
calcaire



Force de la
racine et de la
rhizosphère

Sol en
formation
sur
Arène
granitique



Vergers de
pêcher :
Diluvium
Alpin



Le sol est un organisme vivant structuré à partir des éléments libérés de la roche mère –texture- grâce à sa richesse organo-biologique.

Cette évolution lente donne naissance à un **complexe organo-minéral, structure** : par la liaison préférentielle entre les argiles vraies chargées négativement (principalement) et les limons fins avec l'humus « lié » (dit stable) également chargé négativement.

Ces liens sont réalisés par le Ca^{++} , Mg^{++} et le Fer. Et le tout continuellement orchestré par l'activité biologique et le climat

Qualité des argiles

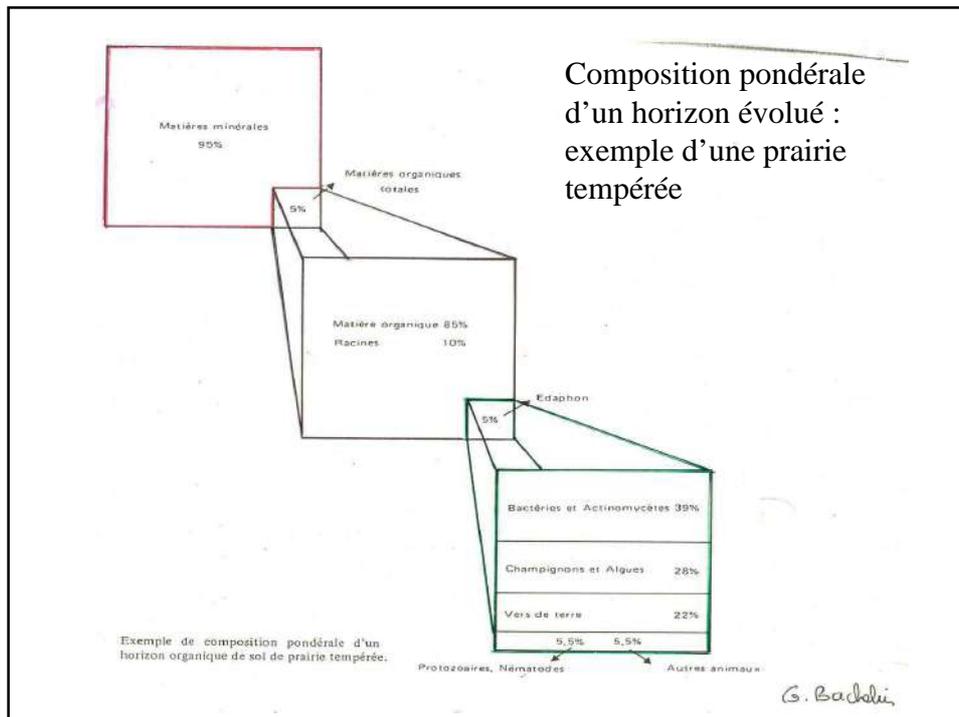
Toutes les roches ne sont pas capables de donner des argiles vraies c'est à dire colloïde minéral formé de silicate d'alumine hydraté ($\text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3 2\text{H}_2\text{O}$) sous forme de feuillets chargé négativement principalement (ce qui permet de retenir les éléments fertilisants et l'humus. L'argile est hydrophile, peut être dispersée ou floculée.

Il existe 1500 types d'argiles, les plus souvent rencontrées :

Surface de fixation	Interne	Externe	C.E.C. m.équiv./100g
• Kaolinite	0 m ² /g	10-30 m ² /g	5 à 15
• Illite	20 - 55	80	10 à 40
• Montmorillonite	600-700	80	80 à 150

Dans les sols, nous avons un mélange de ces argiles avec prédominance de l'une par rapport à l'autre. Toute la difficulté réside dans leur analyse et leur détermination.

Le sol n'est pas statique ni figé, il peut se « dégrader », se maintenir ou se bonifier sous l'action : du climat, des animaux, des plantes et surtout de l'HOMME.



Les matières organiques ont deux origines :

Animale

Minéralisation très rapide

- Molécules simples -----> éléments minéraux solubles -----> Sol et plante (Ca⁺⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, Mg⁺⁺, PO₄⁻⁻⁻, ...)

Végétale

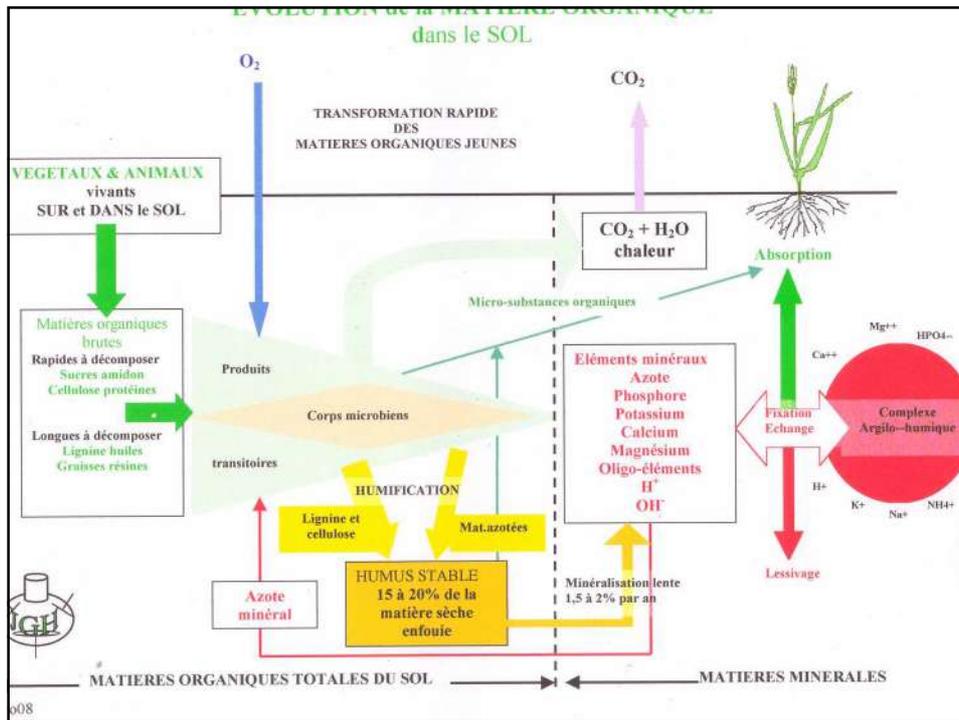
Minéralisation rapide

- Molécules simples ----> produits transitoires ----> éléments minéraux ----> Sol et plante (Ca⁺⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, Mg⁺⁺, PO₄⁻⁻⁻, ...)

Minéralisation très lente

- Molécules complexes -> produits transitoires -> Humus Stable -> Eléments min.-> Sol et plante (Cellulose, lignine)

L'humus stable est un colloïde organique chargé principalement négativement, il est hydrophile. Il est composé de : humine, acides humiques (gris et bruns) et acides fülviques. Il contient d'autres micro-constituants.



Quelques principaux rôles de la matière organique au niveau du sol

Propriétés physiques	<ul style="list-style-type: none"> - Effet positif sur la structure du sol (réduction des phénomènes de battance et d'érosion, résistance au tassement) - Meilleure porosité, perméabilité et aération - Meilleure rétention en eau.
Propriétés chimiques	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure régulation du stockage et de la fourniture des éléments nutritifs
Propriétés biologiques	<ul style="list-style-type: none"> - Stimulation de la microfaune et de la microflore du sol ; - Effet limitant des parasites et des maladies.

Importance des organismes vivants du sol

Principaux organismes macroscopiques du sol

Type d'organismes	Nombre par m ²
Lombriciens	10 ¹ à 10 ³
Mollusques	10 ² à 10 ³
Enchytreides	10 ² à 10 ⁵
Arthropodes >1mm	10 ² à 10 ³
Arthropodes <1mm	10 ³ à 10 ⁴
Nématodes >0,1mm	10 ⁶ à 10 ⁸

X. SALDUCCI

Rôles majeurs

Recyclage des nutriments

- Fragmentent les résidus de plantes
- Stimulent l'activité microbienne
- Régulent les populations bactériennes et fongiques

Action forte sur la structure du sol :

Mélangent les particules, redistribuent la M.O.,
créent les bio-pores, limitent le lessivage

Les vers de terre peuvent représenter
de 500 kg à 5 T/ha

Rôle : aération du sol, incorporation des
matières organiques, assimilation améliorée des
éléments, limitation du lessivage



Classification des vers de terre

Trois catégories écologiques

- **Épigés** : petite taille, rouge vineux (rosâtre), très mobiles, quiescence; **surface du sol, litière, fumier.** Très fragiles!
- **Anéciques** : taille moyenne à géante, brun à brun-noirâtre, diapause; **forte activité pédogénétique, galeries verticales**
- **Endogés** : taille petite à moyenne, pas de pigmentation cutanée (albinisme), diapause?; **substrat minéralo-organique, galeries horizontales**

Les Vers de terre

Exercent une action mécanique, chimique et biologique sur les sols,...

Ils sont affectés par le pH du sol, l'absence de M.O., le tassement du sol,
le travail du sol,
les pesticides .

Principaux organismes microscopiques du sol

Type d'organismes	Nombre par g de terre
Protozoaires	10^3 à 10^5
Algues	10^2 à 10^4
Bactéries	10^8 à 10^9
Champignons	10^4 à 10^6

Champignons filamenteux : 50-250 m d'hyphes, jusqu'à 1000 m d'hyphes /m²

X. SALDUCCI

Rôles majeurs

Recyclage des nutriments

- Dégradent la matière organique
- Minéralisent et immobilisent les nutriments : cycles des éléments

Action forte sur la structure du sol :

Produisent des composés organiques qui lient les agrégats

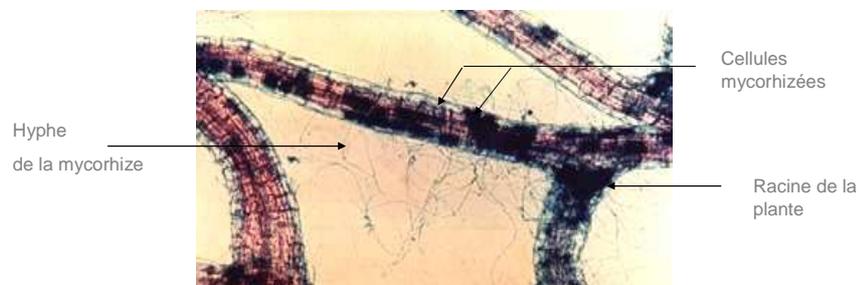
Les hyphes entourent et lient les particules aux agrégats.

La Rhizosphère

- Notion souvent oublié

Les MYCORHIZES

Les Endomycorhizes un indicateur biologique majeur pour apprécier le bon fonctionnement du sol, au même titre que les vers de terre



(Photo INRA)

Assurent : protection de la plante, meilleure nutrition en phosphore, une résistance au manque d'eau,...

Elles sont affectées par le tassement du sol,
l'excès d'azote et de phosphore,
le travail du sol,
les pesticides
et l'espèce cultivée.

Rôle des bactéries

Bactéries : la majorité des bactéries prélèvent leur énergie des matières organiques (amidon, cellulose, lignine, protéines), elles participent ainsi à l'humification et à la minéralisation.

D'autres fabriquent leurs propres substances organiques à partir des éléments minéraux, exemples :

- Les bactéries nitreuses transforment l'ammoniaque NH_4^+ en acide nitreux ou en nitrites HNO_2^- et NO_2^-
- Les bactéries nitriques oxydent l'acide nitreux et nitrites en acide nitrique et en nitrates NO_3^-

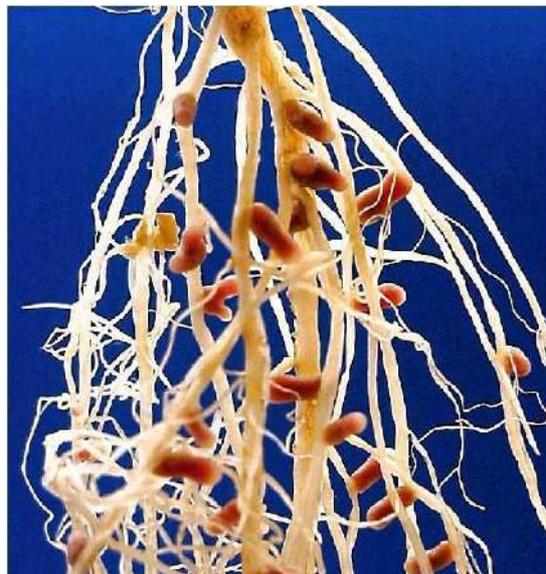
Transformation de l'azote dans le sol : Rôle prépondérant des micro-organismes : principalement bactéries et champignons

N total – AA – Ammoniaque – nitrites – nitrates

D'autres sont libres fixatrices d'azote : azotobacter ou associées en symbiose comme les Rhizobium (association avec les légumineuses principalement). L'inoculation est courante sur soja par exemple.

Rhizobium :
l'azote
gratuit

Les nodules sont
visibles œil nu.



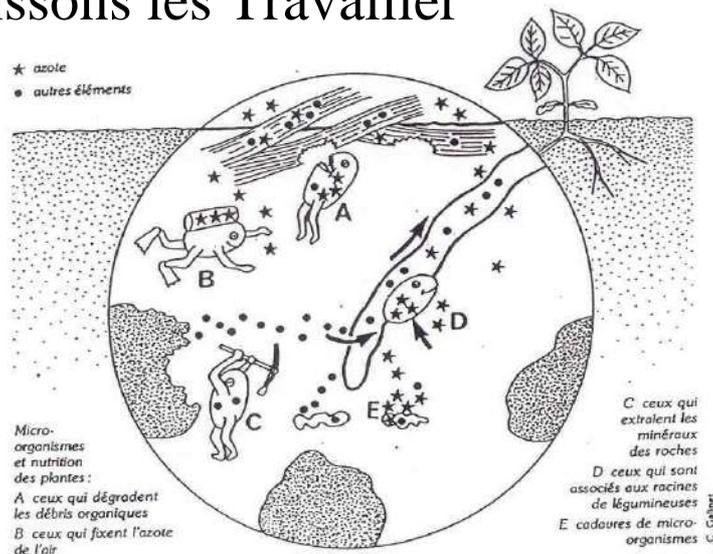
INRA

La vie du sol peut représenter

Dans 20 cm de terre agricole et par ha :

- 500 kg à 5 T de vers de terre, 10 à 1000 individus /m²
- 5 à 50 T de matières vivantes microbiennes
- $3 \cdot 10^{18}$ de bactéries
- 150 millions de km d'hyphes fongiques, dont les mycorhizes

Laissons les Travailler



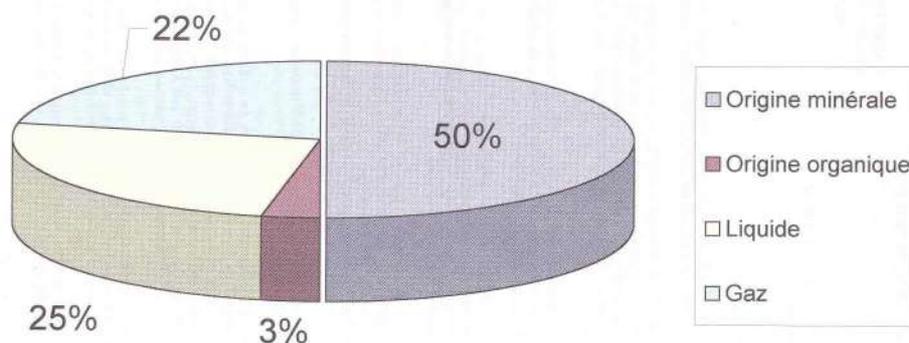
Elle a besoin la vie du sol
pour se développer :

- pH (calcium)
- Température
- Oxygène
- Humidité
- Nourriture = M.O. fraîche

Structure et aération

Les quatre fractions du sol :
exemple d'un limon moyen

d'après Mériaux (techniques agricoles)



Rotation des cultures

Les **RACINES** **FONT** la **VIGUEUR** et la **SANTE**

Travail du sol



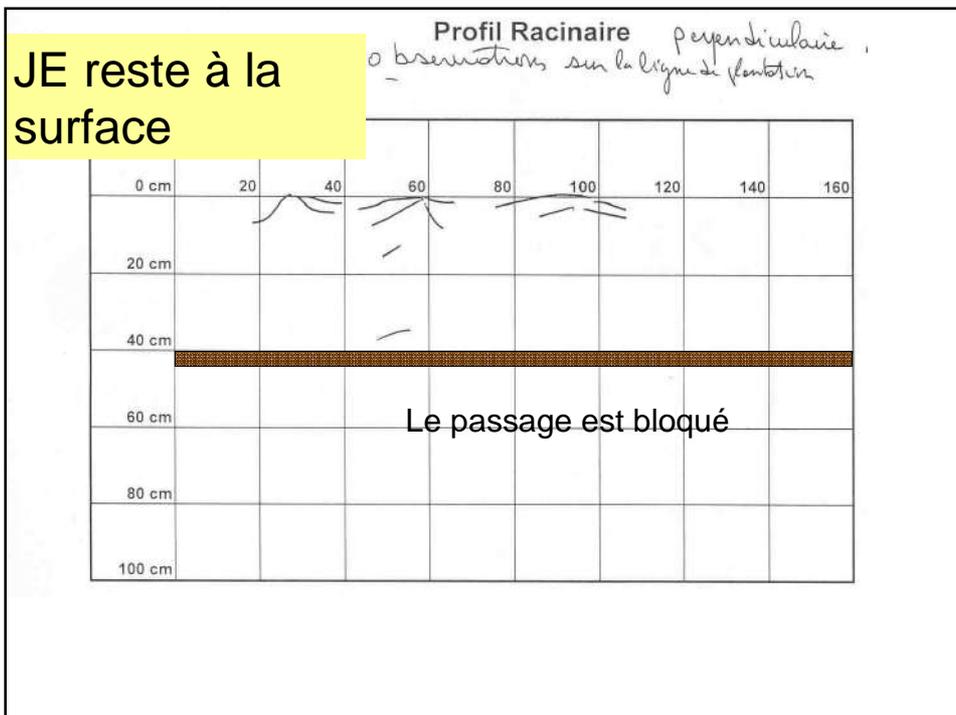
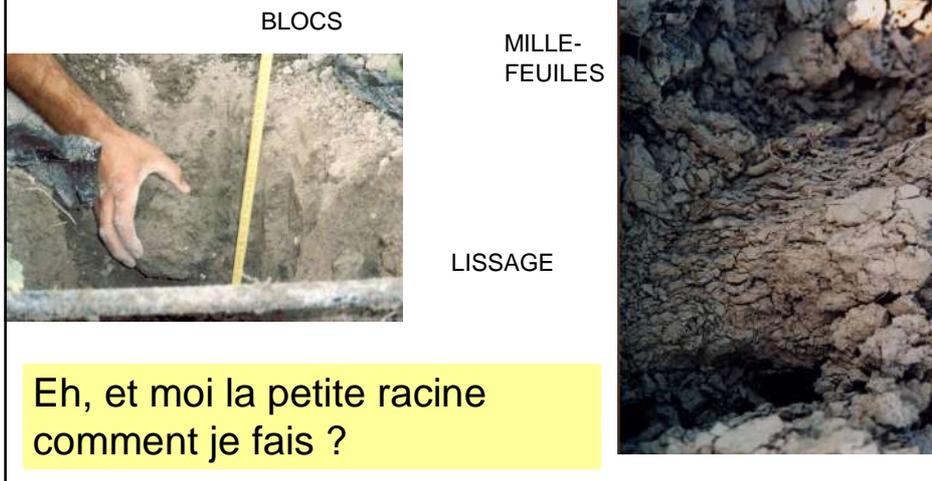
Sol meuble & aéré
Racines performantes
**Plante vigoureuse et
saine**

Motte
COMPACTE
impénétrable



Sol en mauvais état
Racines insuffisantes
**Plante chétive et
malade**

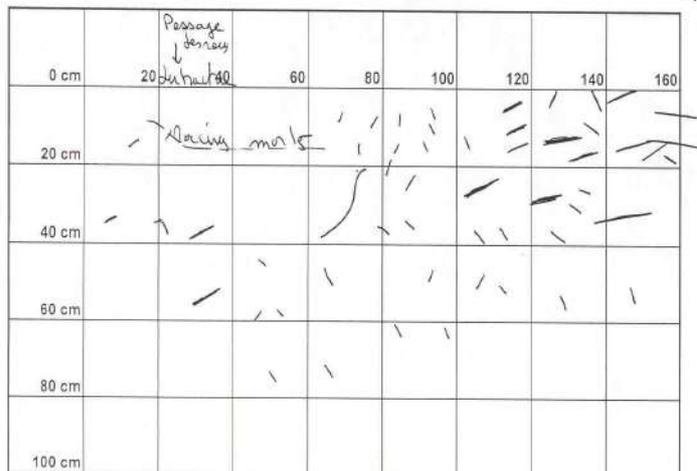
Un labour en conditions humides Quelle belle structure du sol, au choix



MOI, je préfère plonger,
c'est mieux

Profil Racinaire

Perpendiculaire à la ligne de plantes
observations entre les rangs



Observation et Mesure de l'activité biologique

Sur le terrain :

- **Observations directes**
 - « faune » : vers de terre, collomboles, mille pattes, fourmis, ...
 - « flore » : nodosité, ecto-mycorhize, champignon sur débris végétaux, ...
- **Indirectes :**
 - structure du sol en est une des résultantes
 - Plantes bio-indicatrices

Le diagnostic de la fertilité du sol

A pour objectif d'apprécier et de mesurer sur le terrain et au laboratoire :

- sa fertilité physique
- sa fertilité biologique et organique
- la qualité de son complexe organo-minéral
- sa fertilité minérale

Nous observons ensemble



Points observés

- Horizons, profondeur, texture fine et pierrosité, rattachement géologique.
- Structure, phénomènes pédologiques en cours.
- Enracinement de la culture et de l'herbe.
- Activités biologiques, résidus de cultures, plantes bio-indicatrices.

Commentaire général sur le sol et facteurs limitant

Le profil permet de décider du type de préparation du sol avant plantation:

- Travail en profondeur ou pas; décompactage; labour,etc.
- drainage, profilage
- Réflexion sur le Repos du sol et l'implantation d'un engrais vert. *Éviter de laisser le sol trop longtemps nu.*
- Choix du système d'irrigation et du pilotage des arrosages
- Choix du porte-greffe et de la densité de plantation
- Choix du couvert végétal pour le futur verger, vignoble, etc...

Inventaire floristique et plantes bio-indicatrices

- **Excès d'azote** Diplotaxis fausse roquette,



- **Excès de potassium** : caractéristiques indiquées par la présence de l'ail faux poireau, de Muscari, de poireau sauvage,...



- **Abondance de MO** : quelques espèces l'indiquent, il s'agit du Mouron Blanc



L'analyse de terre
permet de mieux comprendre
le sol

1. **Capacité de fixation du sol** (garde-manger).
A-Quantité et qualité des particules ultra-fines
(limons fins et argiles vraies : silicates d'alumine
hydratée, structurée en feuillets chargés
négativement).
Cette mesure est réalisée après décarbonatation

B-CEC Cobaltihéxamine, mesurée au pH du sol (par
rapport à CEC Metson – acétate d'ammonium pH neutre)

*Ces 2 paramètres déterminent le niveau d'apports
à ne pas dépasser et la nécessité ou non de les
fractionner*

Liens du complexe organo-minéral : Mesure des
alcalino – terreux (Ca et Mg)
Mesure du calcaire total et actif , du fer oxalique
donc de l'Indice du Pouvoir Chlorosant (IPC)
pH eau et pH KCl

*Amendements calcaires ou pas: nature, quantité,
fractionnement
évaluation des risques de blocage; corrections
éventuelles par apports foliaires*

3. Matière organique (M.O., C H O N S et ...)

Analyse du Carbone Total et de l'Azote Total

Rapport C/N

Ceci n'est pas suffisant, donc mesure de deux fractions de la M.O. :

- Humus stable, humus lié, polymères complexes liés aux particules ultra-fines (argiles minéralogiques et limons fins).
- Matières organiques libres, facilement accessibles à la biomasse microbienne du sol donc à la plante. Elles sont mesurées sur la partie grossière de la terre fine

MO totales du sol	Fonctions
MO grossières > 50 µm (sables) C/N élevé (12 à 30) : MO jeunes MO libres : facilement minéralisables	COHESIVES (court terme) NUTRITIVES (court terme) ENERGISANTES
MO fines < 50 µm (limons et argiles) C/N faible (< 10) : MO vieilles MO liées : stabilisées	COHESIVES (long terme) NUTRITIVES (long terme)

- Matière organique libre/rapide : facilement accessibles à la biomasse du sol (rôle nourricier), rôle fertilisant pour les plantes. Dégradation rapide (< 12 ans).
- Matière organique liée/très lente : constitue l'humus stable du sol, dégradation très lente (>50 ans),

Le niveau et l'équilibre entre ces deux fractions détermine le type de produit à apporter au sol.

La quantité se raisonne en fonction de la capacité de fixation du sol, des cultures et de son activité biologique

4. Les analyses de la biomasse microbienne et les activités de minéralisation

Une part importante de la fertilité des sols est liée à sa composante biologique. La biomasse microbienne constitue la fraction la plus active de cette composante.

L'analyse est réalisée sur la terre prélevée dans l'horizon de surface. (5-30 cm)

Biomasse Microbienne :

exprimée en mg de Carbone/kg terre, c'est la quantité d'organismes microscopiques du sol (essentiellement bactéries + champignons).

Exemple : mg de Carbone microbien /kg de terre

Valeur de la Biomasse	Interprétation
100-150	Faible
200-300	Correcte
300-400	Élevée

Éléments minéraux stockés dans la BM (calculés)

Exemple : 395 mg de C microbien

N 178 U - kg /ha

P 137 U – kg /ha

K 116 U - kg /ha

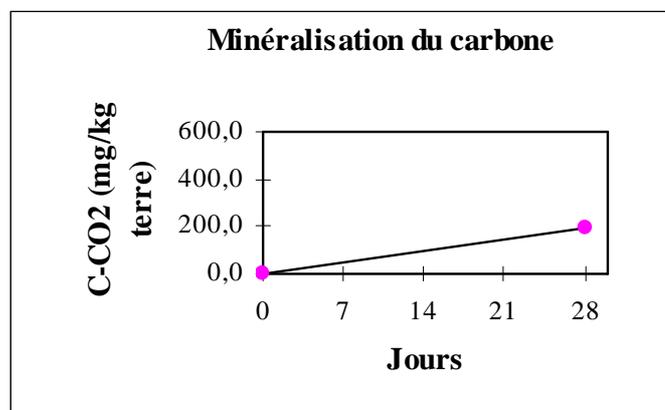
Ca 17 U – Kg /ha

Mg 17 U – kg/ha

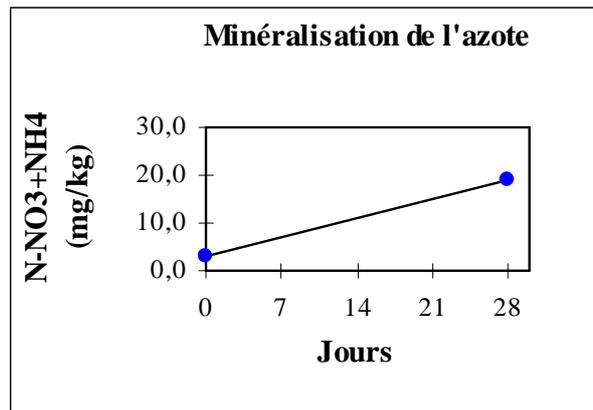
Activité de minéralisation du carbone

(Cm) : exprimé en mgC-CO₂ / kg / 28 jours

et calcul de l'indice de minéralisation du carbone



Activité de minéralisation de l'Azote (Nm) :
exprimé en mgN-minéral /kg/28 jours et calcul de
l'indice de minéralisation de l'N



5. Analyses du taux de mycorhization des racines

La mycorhize un indicateur biologique majeur pour apprécier le bon fonctionnement biologique du sol, au même titre que les vers de terre

Elles sont affectées par le tassement du sol, l'excès d'azote et de phosphore, mode de travail du sol, les pesticides et l'espèce cultivée.

6. Richesse minérale du sol :
éléments facilement assimilables (anions et cations), conductivité et oligo-éléments.

Valeur totale (absolue), valeur relative (% CEC pour les cations), équilibre entre éléments

Eléments totaux analysés dans le sous sol : P, K, Ca, Mg

Détermine l'équilibre des apports et les corrections éventuelles (au sol ou en foliaire)

Evolution du sol :
rapport fer libre et Fe Total,
rapport aluminium libre et Al total.

Hydromorphie du sol :
manganèse facilement réductible / manganèse total

Corrections nécessaires

Ainsi Le sol n'est plus considéré comme un support de cultures mais comme un acteur

Mes principaux documents de référence sur le sol et sur l'agriculture biologique

Mémento de l'agriculture biologique, G. GUET, Agridécisions, 1999

Guide méthodologique du profil cultural, Y. Gautronneau et H Manichon, ISARA Lyon

Les bases de la production végétale, tome 1 (le sol) et tome 2 (climat), D. Soltner,

Connaissance du sol, Tome I, le modèle de base, Y. Hérody, BRDA, 1997

Fonctionnement biologique des sols, une nouvelle génération d'analyse de terre, X. Salducci, Alma Terra, juillet 2003

Les plantes bio-indicatrices, guide de diagnostic des sols, G. Ducerf et C. Thiry, Promonature, 2003

Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées, D.G. Strullu, Tec et Doc Lavoisier, 1990

Le sol, la terre et les champs, de l'agronomie à l'agrologie, C. Bourguignon, Sang de la Terre, 1991

Engrais verts et fertilité des sols, J. Pousset, Agridécisions, 2000

Guides BRDA des engrais minéraux (fascicules 1) et organiques (fascicules 2), Y. Hérody, BRDA, 1992

Guides et cartes géologiques du BRGM

Pédologie, Ph. Duchaufour, Masson, 1995

Guide des analyses en pédologie, D. Baize, INRA, 2000