Décrypt'sol
Expertises - Diagnostics pédologiques

Des clés pour comprendre ses sols

Topo-guide

*Christian Barnéoud, pédologue**, mars 2019

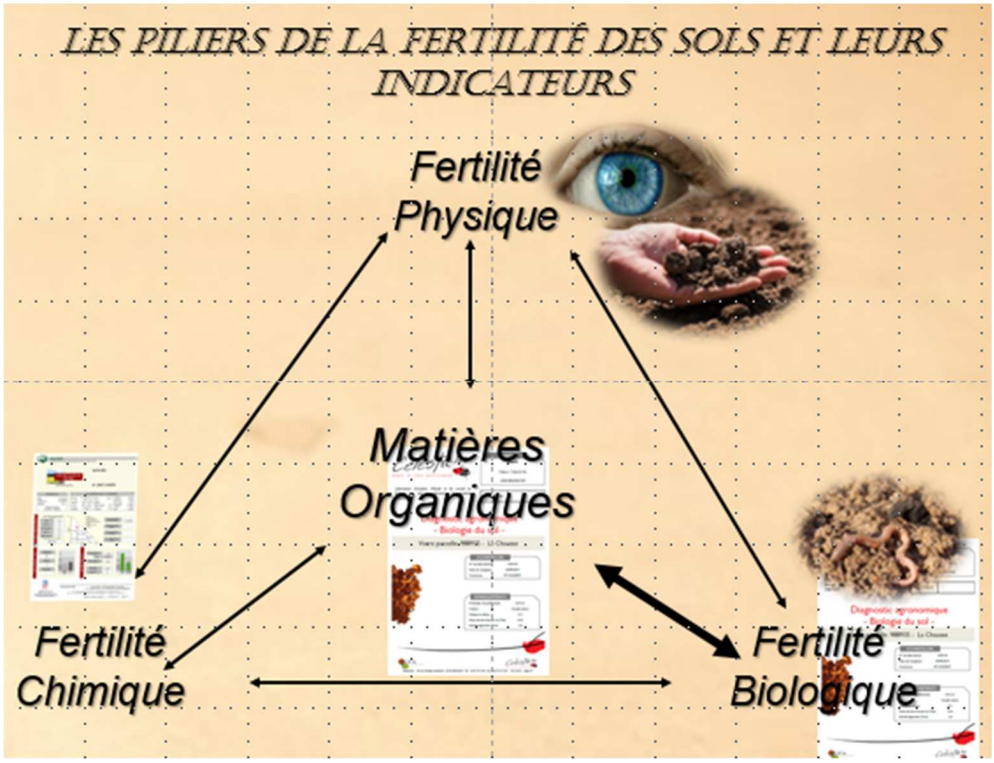
Reconnu par l'A**ssociation **F**rançaise d'**E**tude des **S**ols (AFES) :*

Préambule :

+Fertilité des sols, de l'antiquité à nos jours

« La terre est l'estomac des plantes, qui en reçoivent la nourriture sous forme prête à la digestion. Elle possède une quantité immense de forces qui nourrissent les plantes. La fertilité, l'infertilité d'un sol, dépendent (,,,) de l'humidité nécessaire aux plantes dans un sol donné. Les caractéristiques du sol varient facilement d'un endroit à l'autre ….»

+ Les piliers de la fertilité des sols



Le sol est un système écologique organisé et complexe, coloré où les univers minéraux (argile, limons, sables, éléments minéraux ...) et organiques (matières organiques vivantes, ou mortes sous forme de résidus jusqu'aux molécules organiques complexes) sont étroitement imbriqués. Ces liens entre mondes minéral et organique confèrent au sol des propriétés multiples dont la fertilité. La fertilité d'un sol peut être présentée comme «*la facilité avec laquelle la racine peut, en quantités suffisantes, bénéficier dans ce sol des différents facteurs de la croissance végétale : chaleur, eau, ensemble des éléments chimiques nécessaires à la plante, substances organiques de croissance."* Morel (1989). Pour appréhender la fertilité des sols, il convient d'avoir recours à des indicateurs: qui doivent être pertinents, suffisamment sensibles et utilisables en routine.

Fertilité du sol :
Elle intègre trois composantes (physique, chimique, biologique sur lesquelles on est capable d'effectuer un diagnostic qualitatif pertinent), fortement imbriquées entre elles et qui contiennent une composante commune indispensable à leur état de fertilité : ***les Matières Organiques***.

Fertilité physique :
Le diagnostic passe par le terrain : utilisation de la mùéthode Pépone (profil 3D) pour l'observation de l'état structural des premiers décimètres, d'une tige de fer ou d'un pénétromètre pour identifier rapidement des zones de compaction…. ou encore l'observation de la surface du sol après des fortes pluies : de l'eau qui stagne, les premiers cm de sol qui s'engorgent sont souvent le signe de tassement important (le sol a perdu sa capacité d'infiltration des eaux de pluie). Pour affiner le diagnostic au champ, il est toujours possible de réaliser des mesures de laboratoire (Densité apparente et/ou de stabilité structurale).

Fertilité chimique :

Dans le triangle de fertilité des sols, la fertilité chimique sera « réduite » à ml'état calcique et comme lanceur d'alerte, on pourra choisir le pH-eau. Il poeut même être réalisé au champ pour une première approche pragmatique***.*** *Un bon équilibre chimique, passe par un pH de faible acidité ou neutre (entre 6 et 7). Un pH acide peut être corrigé, un pH basique non. Le pH varie au cours de la saison : il est plus acide quand l'activité biologique du sol devient forte ; Attention à ne pas laisser un pH s'installer en dessous de 5.5 à 5.2 !*

L'analyse de sol est un bon outil (pour l'état calcique , au minimum CEC, Ca, Mg ..et K pour l'équilibre K/Mg), n'oublions jamais que *la principale erreur d'un résultat d'analyse se situe lors de l'échantillonnage (+/- 25%, voir plus sur des mesures biologiques !). Le suivi de la fertilité chimique, passe par la répétition des analyses au même endroit, même date, même profondeur, … et de préférence même laboratoire (idéalement normalisé !) ou utilisant les mêmes normes d'analyses !*

Fertilité biologique :

Si le fonctionnement biologique du sol reste une « boite noire » très complexe, il est néanmoins possible de se forger une bonne idée sur la fertilité biologique d'un sol : l'indicateur le plus simple à utiliser concerne l'estimation des communautés de vers de terre (lombriciens) grâce à la méthode de la ***« moutarde » et/ou test bêche. Pour aller plus loin,*** *les laboratoires proposent maintenant* ***« un miroir » pertinent de la fertilité biologique des sols :*** *on peut ainsi analyser le carbone microbien son carburant (quantité et qualité) qui correspond aux* ***matières organiques*** *du sol (fractions libres et liées), et enfin ce qu'elle est capable de fournir (minéralisation de l'azote et du carbone) ; à travers les résultats il est ensuite possible d'agir sur la qualité et la quantité de carburant (MO) et/ou les conditions du fonctionnement de cette biomasse (MO, pH, aération …etc).*

1) ***Fertilité Physique***

+ Pépone : profil 3D http://www.agro-transfert-rt.org/2017/04/13/guide-methodique-du-mini-profil-3d/

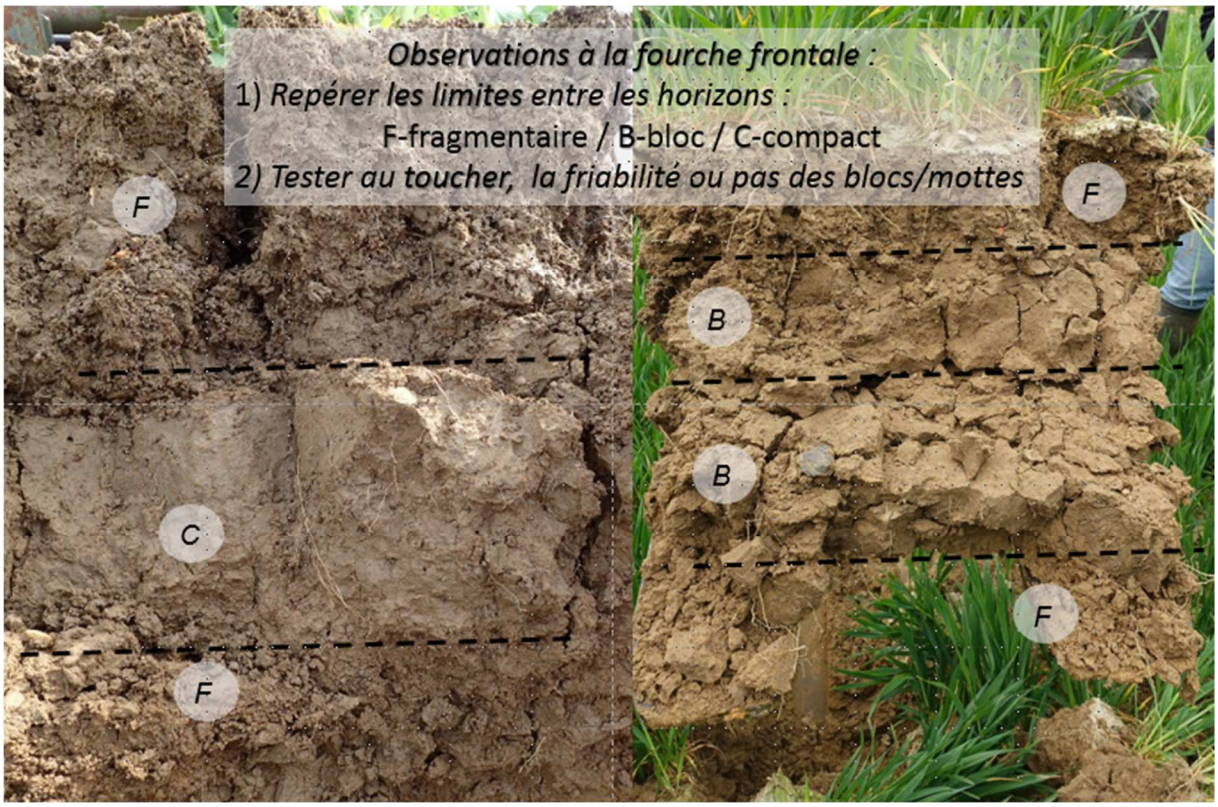
L'observation du sol en utilisant un tracteur équipée de fourche frontale avec transpalette ou d'un engin de type manuscopique, permet l'extraction d'une motte de terre d'une centaine de kg. Cette technique d'observation est aussi appelée « profil 3D » (agro-transfert) ou **méthode Pépone**, du nom d'un agriculteur de l'Oise qui l'a proposée pour la 1ère fois. Rapide et peu destructrice, elle nécessite peu de préparation manuelle. Elle permet un diagnostic pragmatique sur la couche humifère de surface et le sommet de la suivante tout en offrant une bonne lisibilité des discontinuités du sol qui vont apparaitre au moment de l'extraction.

Mise en œuvre :

-Ecarter les pales entre 15 et 35cm selon la texture et/ou la cohésion du sol
-Enfoncer les pales pratiquement jusqu'à la garde selon un angle de 45° avec la surface du sol
-Extraire lentement, sans à-coup en relevant légèrement les pales (on observera le comportement de la motte lors de l'extraction) et placer la motte à peu près à hauteur.
-Replacer la motte « à sa place » après observation en opérant si nécessaire un léger régalage.

Observation :

1) ***Observer le comportement de la motte lors de son extraction*** pour identifier sa cohésion, l'existence d'organisations horizontales, les limites entre ces zones (nettes ou progressives et donc difficiles à distinguer, naturelles ou plutôt liées au travail du sol) et l'ensemble des « blocs », mottes ou volume qui constituent le sol (taille, cohésion entre eux, forme géométrique) : **l'essentiel de cette organisation du sol apparaît par la simple extraction** de la motte. Un couteau et un minimum de délicatesse dans le « gratouillage » permettent de parfaire le diagnostic les différentes zones du sol et donc déterminer les aspects favorables ou non du sol.



Diagnostic *: une motte extraite qui conserve assez bien sa cohérence sans faire apparaître de limite physique horizontale nette traduit un environnement physique plutôt favorable. A l'inverse, des limites horizontales, des formes géométriques sont l'expression de contraintes.*

Disposer d'un mètre pour mesurer la profondeur et l'épaisseur de(s) zones « correctes » et/ou « à problème».

Utiliser un couteau pour mieux faire apparaître les différentes zones apparues lors de l'extraction ; il servira également à tester la friabilité/dureté des mottes et facilitera le dégagement du système racinaire.

2) ***Observer le comportement des mottes/agrégats dans les différents compartiments identifiés à la première étape :*** le couteau sera d'une aide précieuse, mais surtout nos doigts (test de friabilité/dureté/plasticité des petites mottes ou gros agrégats). Sur les mottes de quelques cm, on cherchera l'ensemble des signes d'une porosité favorable/défavorable***. Pour faciliter le diagnostic,*** on s'appuiera sur le système racinaire, l'eau (si l'observation est faite juste après une période de forte pluie), les communautés de vers (en particulier les anéciques), l'état des résidus de cultures …etc. Le diagnostic sera encore plus précis par l'observation de la couleur

(homogénéité/hétérogénéité), des taches (rouilles, grisâtres, verdâtres ..), l'utilisation de l'acide chlorhydrique dilué à 10% pour déceler la présence de calcaire…

***Diagnostic** : des mottes friables, de formes quelconques, perforées de petits «trous d'aiguille», dans lesquelles les racines s'orientent de façon plutôt verticales ou obliques, avec des conduits de vers, et qui, par une faible pression entre pouce et index produisent des agrégats de quelques millimètres, correspondent à un environnement physique favorable. L'inverse sera la présence de mottes dures (si sec) ou plastiques (si humide) sans «trou d'aiguilles», parfois de tailles importantes (>5cm) de forme prismatiques +/- aplaties, des racines aplaties, déviées, d'orientation horizontale, parfois nécrosées ou gainées de rouille, une faible activité des vers de terre.*

3) Observer à plusieurs pour faciliter le diagnostic, regarder de chaque côté de la motte extraite et même en dessous !

En dehors de sol très superficiels, la méthode Pépone est utilisable dans la plupart des systèmes agricoles et du semi à la récolte. Elle permet de faciliter la compréhension du comportement du sol dans une même parcelle en lien avec le climat, ou encore vérifier la qualité de travail d'un outil. Le diagnostic sera d'autant plus facile qu'il est partagé.

Exemple de fiche descriptive …pour conserver l'info !:

Décrypt'sol	**Profil n° : 1,** sol frais *(Conditions d'observations)*			**Culture en place et précédent :** Blé (précédent :colza)		
	Parcelle : *Champs hauts*			**Pratique culturale:** Pas de labour depuis 5ans		
Date et commune : avril 2018				**Raison de l'observation:** Déçu du rdt en colza : qualité du sol ?		
PROFIL	**DOMAINE TEXTURAL**	**HCL**	**EG**	**STRUCTURE**	**BIOLOGIE**	**ENRACINNEMENT**
Type d'horizon / limite avec l'horizon suivant (nette, progressive, horizontale, ondulée + profondeur en cm), état porale des surfaces planes	*A - L - S*	*Nulle (0), faible, (Très) Fort Généralisé*	*Gravier Cailloux Pierre en %*	*Grumeleux, Prismatique Polyédrique-(Sub)-Anguleux Prise en Masse (Généralisée, Lamellaire) Type d'horizon « structural » : Fragmentaire, Bloc, Compact*	*Présence de vers : galerie, pores, vers observés de type Anécique, Endogé, Epigé*	*Densité, forme, localisation etc : (tout ce qui peut aider à comprendre leur prospection)*
H1 : 0-14cm, limite nette, continue et horizontale avec H2 ; fine pellicule de battance mais turricules présents	Limons	0	non	**G**rumeleux , fin (2 à 4mm max), bien meuble et friable Horizon : **F**ragmentaire	Qlq endogés, turricules en surface, galeries anéciques : RAS	Dense, pas de contrainte
H2 : 14-23cm, sommet de H2 avec surface plane, peu perforée, base de H2 idem mais moins plane.	Limons	0	non	Blocs décimétriques durs mais s'émiettent facilement à la pression (les racines du blé rentrent à l'intérieur) Horizon type **B**loc	Cavité d'estivation avec ver dedans, qlq conduits revêtus dont un horizontal : *BOF*	Racines fines, assez nombreuses, entre les blocs, dans la porosité très fine des blocs (parfois 0 racines), aussi horizontales à la surface de H2
Horizon Pédologique (HP) : au-delà de 23/25cm : « joli »	LA, équilibrée	0	non	« jardin » : **P**olyédrique **S**ub**A**nguleux, avec agrégats de très petits (2/3 mm) Horizon type **F**	Conduits verticaux revêtus : RAS	Partout, pas de contraintes
Horizon Pédologique (HP) :						

Horizons travaillés H

Type de sol : Sol profond, sain (NEOLUVISOL)
(appréciation du potentiel global du sol….reste subjectif)

Bilan (à réaliser):
1) Passage fissurateur type ACTISOL, 20-22cm max sur sol sec avec friabilité conservée, vérifier la profondeur d'efficacité de travail, implantation d'un couvert multi-espèces avec systèmes racinaires fasciculés (s'assurer d'une petite pluie juste après semis), ou :
2) Selon condition d'après moisson, semer d'abord le couvert (on vise la réussite du semis) puis sur couvert bien implanté, passage fissurateur

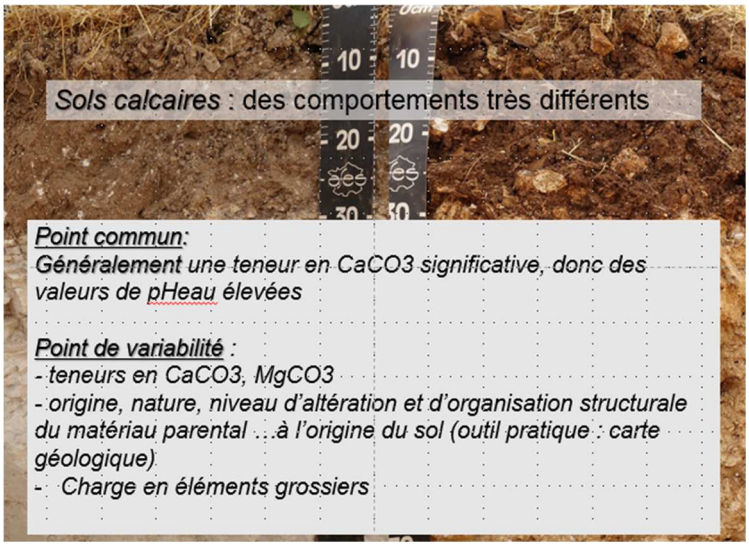
Bilan (réalisé):

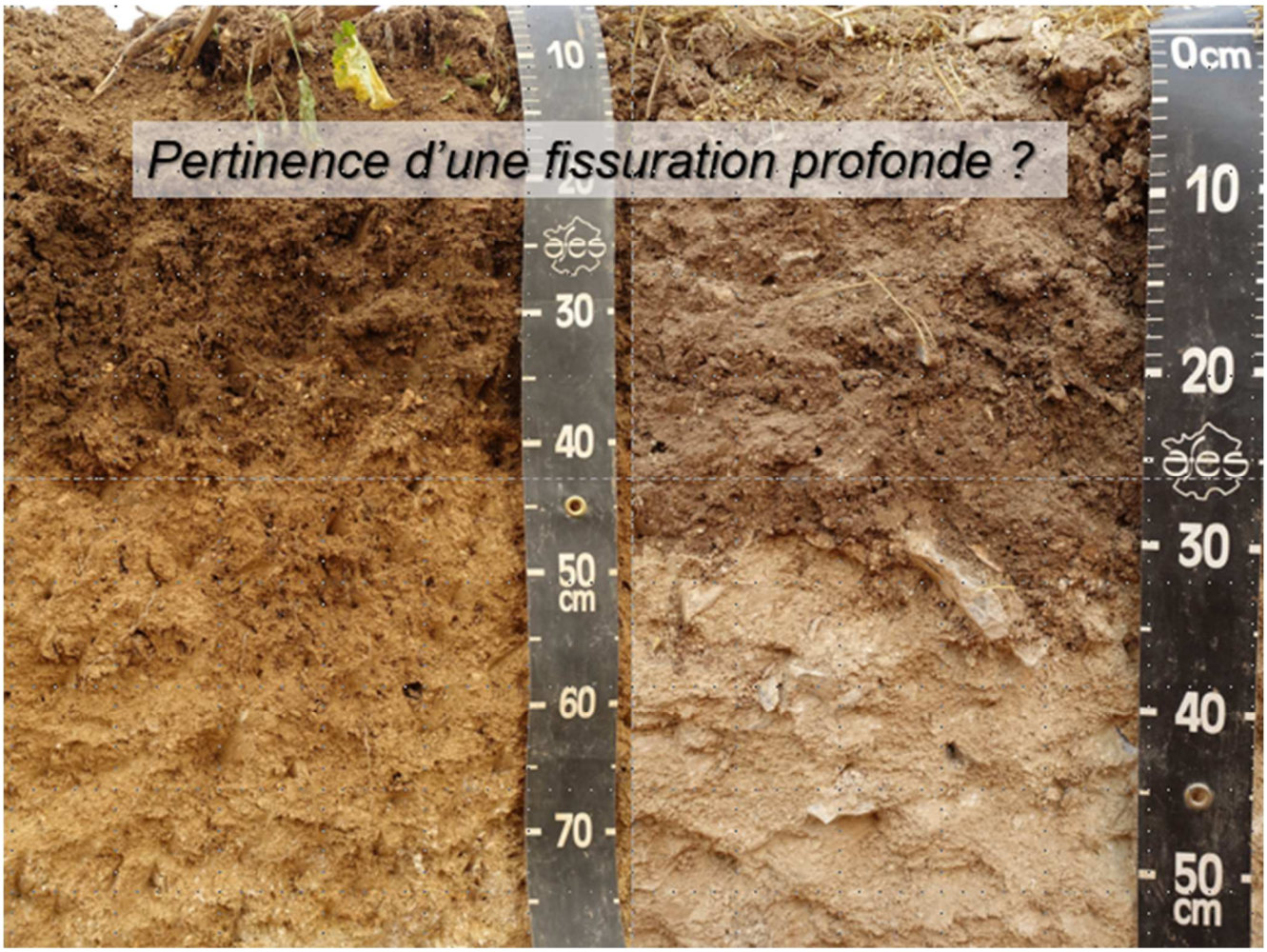
Commentaire libre et date des interventions.

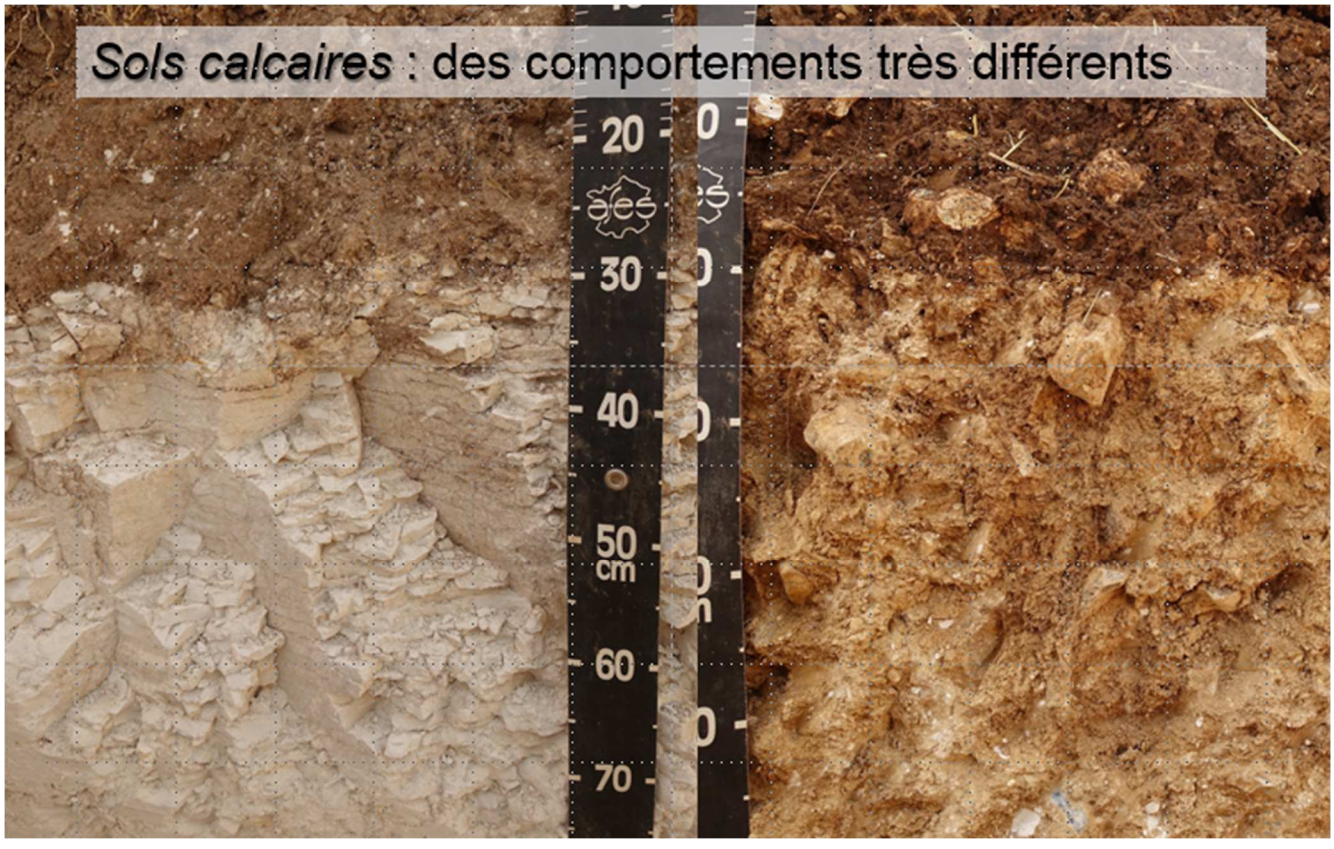
+ Le dessous des choses sous culture

L'homogénéité / l'hétérogénéité verticale du profil de sol conduit à des discontinuités influençant la transmission des contraintes, permet la compréhension de la circulation des eaux et une part du fonctionnement biologique … accessoirement la formation du sol !

En sol calcaire, l'observation d'un profil de sols permet de justifier ou pas des interventions mécaniques « profondes » pour améliorer la capacité de prospection racinaire.




Pertinence d'une fissuration profonde ?
10
30
40
50
cm
60
70
0cm
10
20
30
40
50
cm


Sols calcaires : des comportements très différents
20
30
40
50
cm
60
70

2) Etat calcique.

pH-eau comme « lanceur» d'alerte

pH : potentiel Hydrogène, pas d'unité, valeurs comprises entre 1 et 14 avec la valeur de 7 pour indiquer la neutralité.

C'est le pH-eau qui est systématiquement mesuré, avec des valeurs comprises (en agriculture) entre 4,5 et 8,3

Certains laboratoires proposent en menu de routine la mesure du pH-KCl: il est toujours <= au pH-eau

En sol très acide, il est également possible d'analyser l'aluminium échangeable, car phytotoxique : la forme échangeable de l'aluminium intervient à des pH-eau< 5,2

Pipette HCl dilué à 10%

pH-mètre de terrain

Pour mémoire, un bon état calcique permet :

- Diminution de la DA
- Diminution du temps de réhumectation des sols (divisée par 4).
- Optimisation de l'assimilation des éléments minéraux (Moindre valorisation des élts minéraux selon le niveau d'acidité : de 40 à 85% pour l'N, 30 % à 82 % pour P, 40 à 82 % pour K selon les niveaux d'acidité).
- Augmentation des nodosités (dès pH 6.5)
- Augmentation des communautés lombriciennes (40 à 100 ind/m^2 entre pH5.2 et 6)
- Augmentation du nb de bactéries nitrificatrices (*55 entre pH 6.2 et 7).
- Diminution de la résistance à la traction.

…. pour des infos chiffrées : INRA, MEAC, COMIFER, …

Attention au vocabulaire : calcaire, carbonaté, calcique, calcium … etc

Besoin en « chaux » :
L'estimer à partir de son analyse

Ma parcelle			
Je repère dans l'analyse : Je calcule à partir de mon analyse	Raisonnement pour le Ca	Raisonnement pour le Mg	Commentaires
CEC metson meq/kg	101		Je repère ces valeurs dans mon analyse
pH eau	5,7		
CEC sols acides : 80%	80,8		= 139 * 80%
calcium (et Mg) du sol en % de la CEC	50,3%	4,4%	correspond à *Ca ou Mg/CEC en %*
Objectif saturation du calcium sur la CEC	60%	6,8%	mon choix de saturation
Ecart à combler en %	9,7%	2,4%	Ecart à combler en %
Ecart à combler : Ca meq/kg = 9,7%*CEC corrigée	7,84	1,94	pour **Mg** : 2,4% * CEC *corrigée*
coeff de conversion	***0,028***	***0,02***	coef de conversion pour transformer des meq/kg. de Ca ou Mg en g/kg de CaO ou MgO
besoins en CaO et MgO en g/kg	0,22	0,04	Ecart à combler de Ca ou Mg * les coefs de conversion
Poids de Terre fine en T /ha (PT)	3250		*estimation à partir de la densité apparente et la charge en cailloux*
besoin en T de CaO/ha	**0,71**	**0,13**	= (Besoin de CaO kg/t *PT)/1000
Valeur neutralisante du produit en %	52%		lire sur l'étiquette du produit : ***VN 52***
Quantité théorique des besoins en produit amendant	1,37		= Besoin en t de CaO / VN

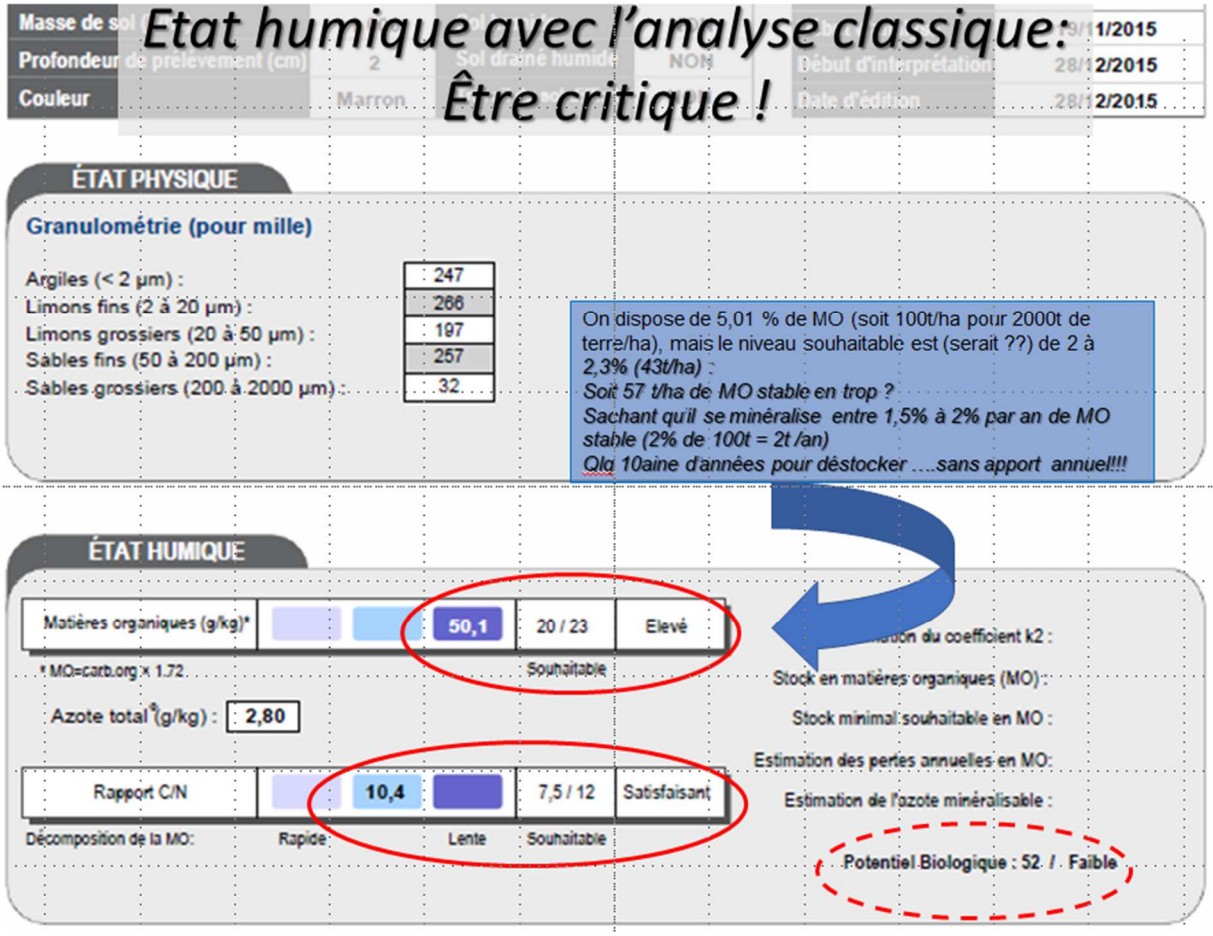
Si solubilité carbonique > 50 : action rapide
Si solubilité carbonique entre 20 et 50 : action moyenne
Sio solubilité carbonique < 20 : action lente

3) Matières Organiques.

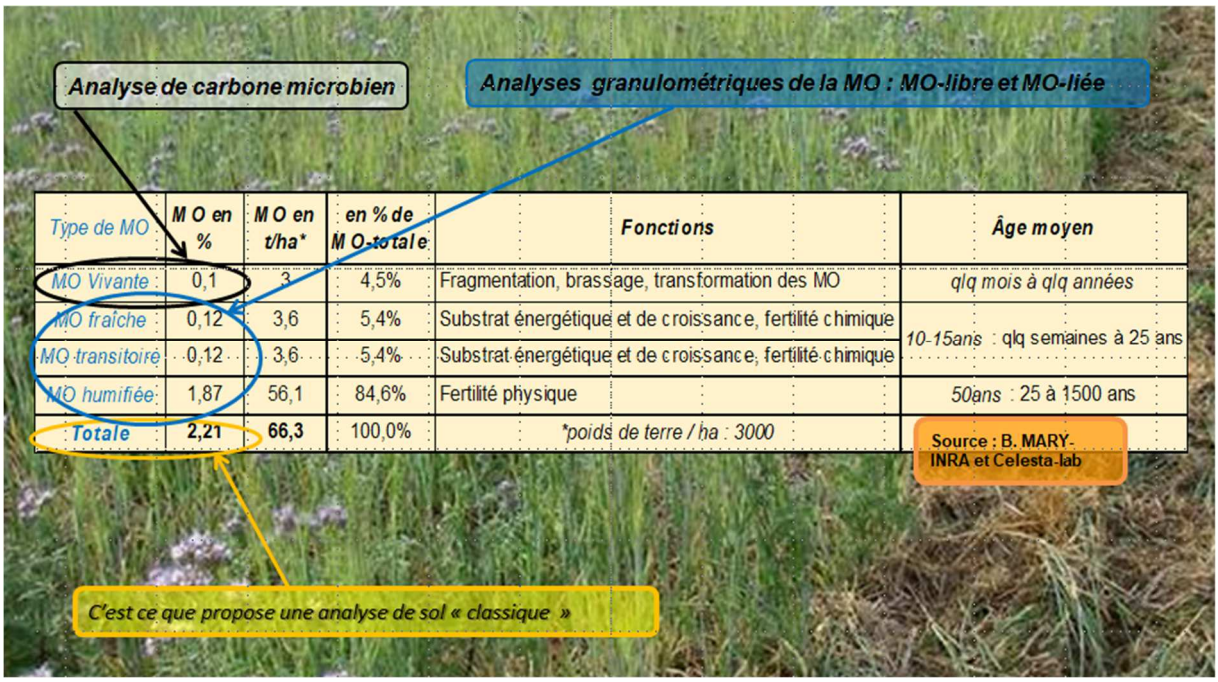
+ Un peu plus de 2 mots sur la MO

La , les matières organiques du sol, sont, sans hiérarchie quantitative ni qualitative :
Des résidus de cultures, racines vivantes ou mortes visibles (ou pas) à l'œil.
Des organismes vivants d'une incroyables diversités … « macro à micro »qui interagissent entre eux et avec la source trophique …la MO !
Une couleur généralement foncée (matrice, tâches, traits d(activité ..) qui témoignent de la présence de macromolécules organiques
Du C,O,N,H à 95% (+/- 50%de Carbone)*
Et pour avoir une idée de cet extraordinaire compartiment, on dispose de nos yeux et d'analyses de laboratoire (le carbone + l'azote total comme indicateurs conventionnels).
extraordinaire

+ L'état humique dans l'analyse classique



+ La MO du sol …en quelques chiffres



Type de MO	MO en %	MO en t/ha*	en % de MO-totale	Fonctions	Âge moyen
MO Vivante	0,1	3	4,5%	Fragmentation, brassage, transformation des MO	*qlq mois à qlq années*
MO fraîche	0,12	3,6	5,4%	Substrat énergétique et de croissance, fertilité chimique	*10-15ans* : qlq semaines à 25 ans
MO transitoire	0,12	3,6	5,4%	Substrat énergétique et de croissance, fertilité chimique	
MO humifiée	1,87	56,1	84,6%	Fertilité physique	*50ans* : 25 à 1500 ans
Totale	2,21	66,3	100,0%	*poids de terre / ha : 3000	

Source : B. MARY-INRA et Celesta-lab

+ MO-totale, libre, liée, Carbone microbien… : les indicateurs analytiques de la fertilité des biologiques des sols :

3 analyses à utiliser ensemble ou séparément, pour tenter de mieux comprendre le fonctionnement biologique global du sol :

FMOS : Mesure de la quantité et la qualité de 2 fractions granulométriques de la MO du sol (MO-libre de taille > 50µm et MO-liée < 50 µm) : ***c'est la carburant du vivant*** (d'après NF X 31-516 – 09/2007)

C-microbien : Mesure de la quantité de carbone microbien (méthode dite de fumigation-extraction d'après FD ISO 14240-2) : elle représente la part vivante global du sol, en quelque sorte le « moteur » de la fertilité biologique.

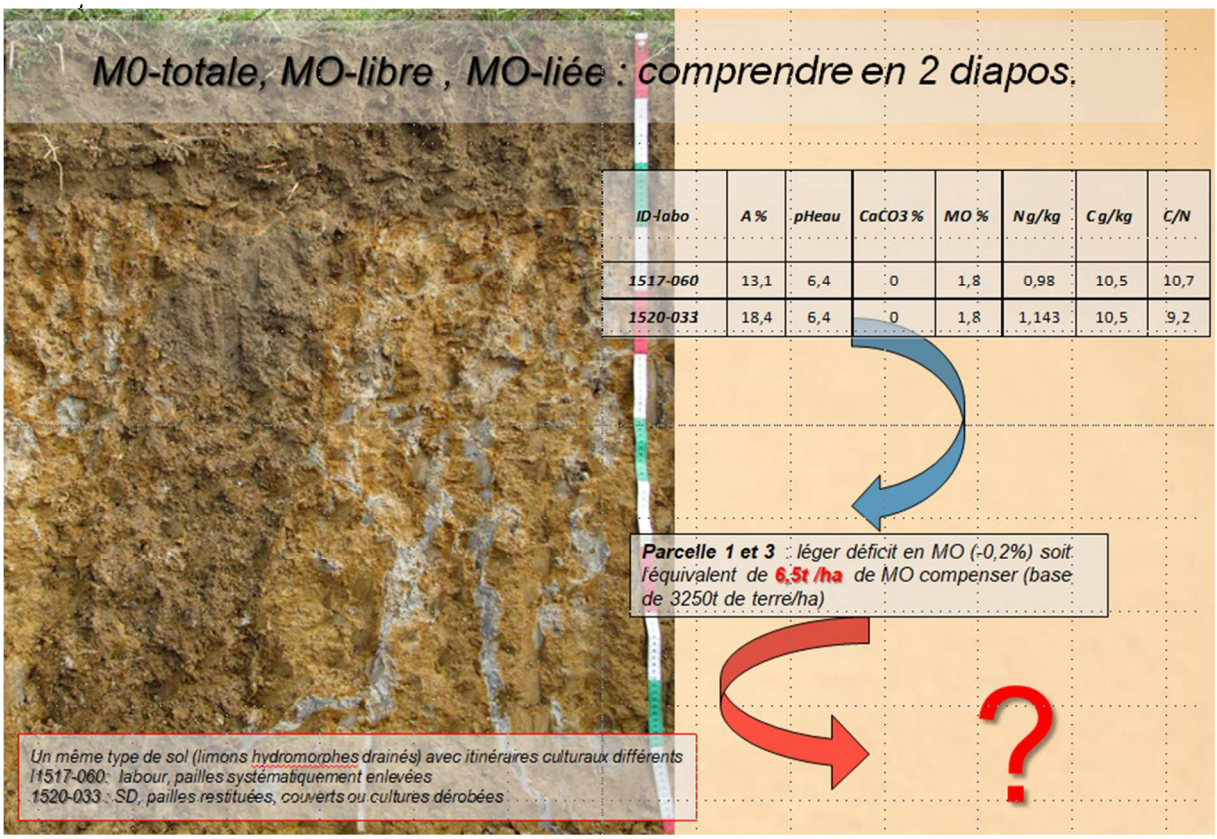
Au de-là de l'aspect quantitatif (mg de Cvivant / gr de sol) cette mesure permet de vérifier l'efficacité du carbone total à générer suffisamment de C vivant (ni pas assez ni trop).

Minéralisation de C et N *en conditions contrôlées :* Quantifier la teneur en MO facilement minéralisable, à partir de la minéralisation de C et N (% de C et % de N minéralisable en 28j). Ces mesures permettent de vérifier l'efficacité ou non des micro-organismes du sol à minéraliser efficacement la MO. Le fonctionnement de la nitrification est par ailleurs précisé ainsi que la fourniture potentielle d'azote du sol.

Intérêts et limites :

- lisibilité sur la dynamique de la MO
-permet d'orienter sa gestion de la MO (grande culture, vigne) : besoin de nourrir le sol / maintien d'une situation / nécessité de privilégier les propriétés structurantes du sol , et ce au-delà d'un quantitatif totale de MO sol.
lisibilité sur la quantité de vie globale du sol (mesure directe) : mon sol est vivant ? et sur la capacité de la MO du sol à générer du vivant .
-Lisibilité sur les potentialités de minéralisations du sol avec estimation de fourniture d'azote du

- manque de référentiel en système prairial
- Un seul labo (celesta-lab) propose depuis plus de 20ans ces indicateurs et dispose d'un référentiel d'interprétation à l'échelle du territoire français (culture, maraichage, arboriculture et vigne ; prairie en cours)
-Nécessite de « s'investir un peu» pour se familiariser avec ces indicateurs.
- le prix peut apparaitre comme élevé.



Le fractionnement granulométrique des MO (suite)

ID-labo	MO %	MO-opt	MO-libre	libre-opt	MO-liée	liée-opt
1517-060	1,8	2	0,66	0,39	1,15	1,68
1520-033	1,8		0,22		1,58	

Poids de terre T: 3250 t/ha

Parcelle 1520-033 :

MO-libre : dispose de 7,1 t/ha pour un besoin de **12,7** soit un déficit à couvrir de **5,5 t** /ha MO
MO-liée : Niveau de MO liée quasi satisfaisant (**51,3 t/ha** pour **54,6** attendue)
Pour cette parcelle , la compensation pourra se faire par une restitution des pailles de temps en temps

Parcelle 1517-60 :

MO-libre : dispose de **21,4 t/ha** pour un besoin de **12,7** soit un stock très largement suffisant (> 8t/ha) !
MO-liée : dispose de **37,4 t/ha** pour un niveau attendu de **54,6 t/ha** soit un déficit de **17,2 t**
Pour cette parcelle , la compensation devra passer par un apport de MO stable (ISMO de 0,6 -0,7) à raison d'une 15aine de t/ha de compost de fumier pendant 3 ans

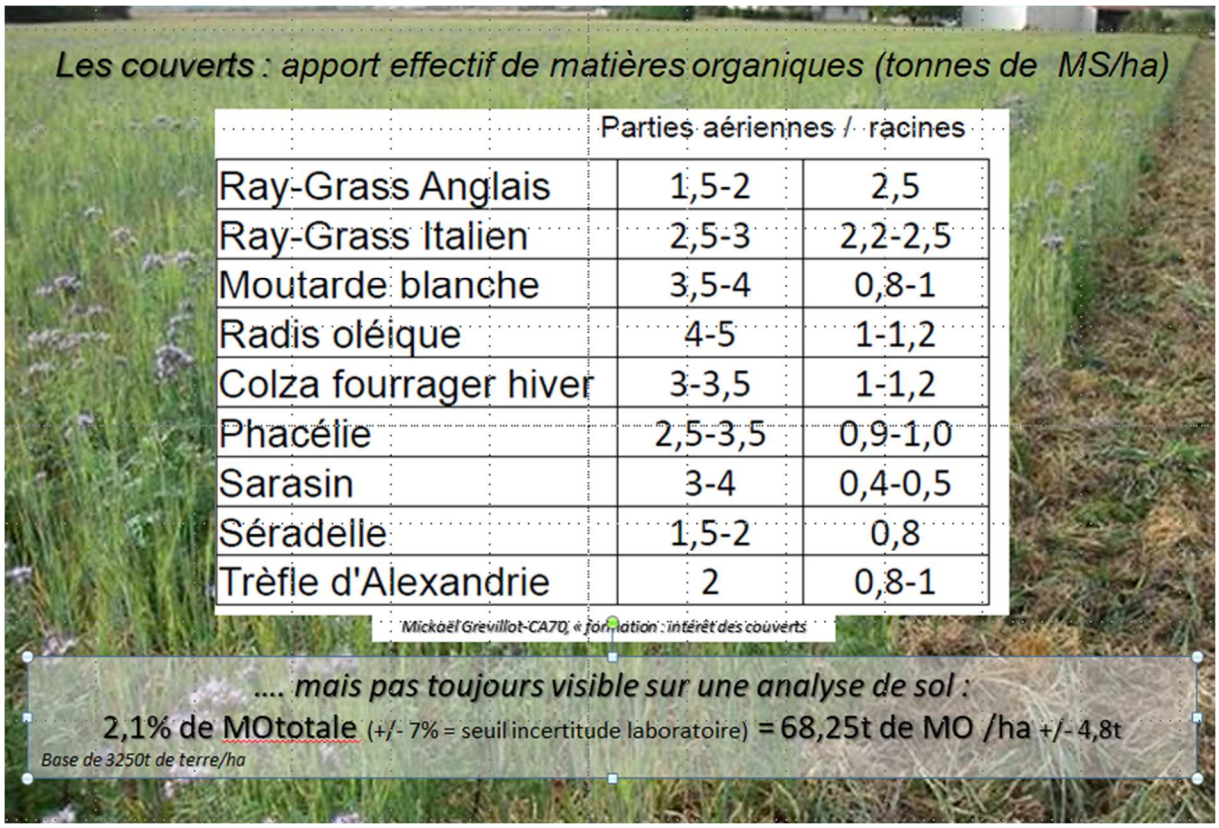
Le fractionnement granulométrique des MO (suite

ID-labo	C/N	MO-libre	C/N libre	MO-liée	C/N lié
1517-060	10,7	0,66	35,1	1,15	7,6
1520-033	9,2	0,22	18,5	1,58	8,5

La qualité des MO sera fonction des valeurs de C/N de chaque fraction:

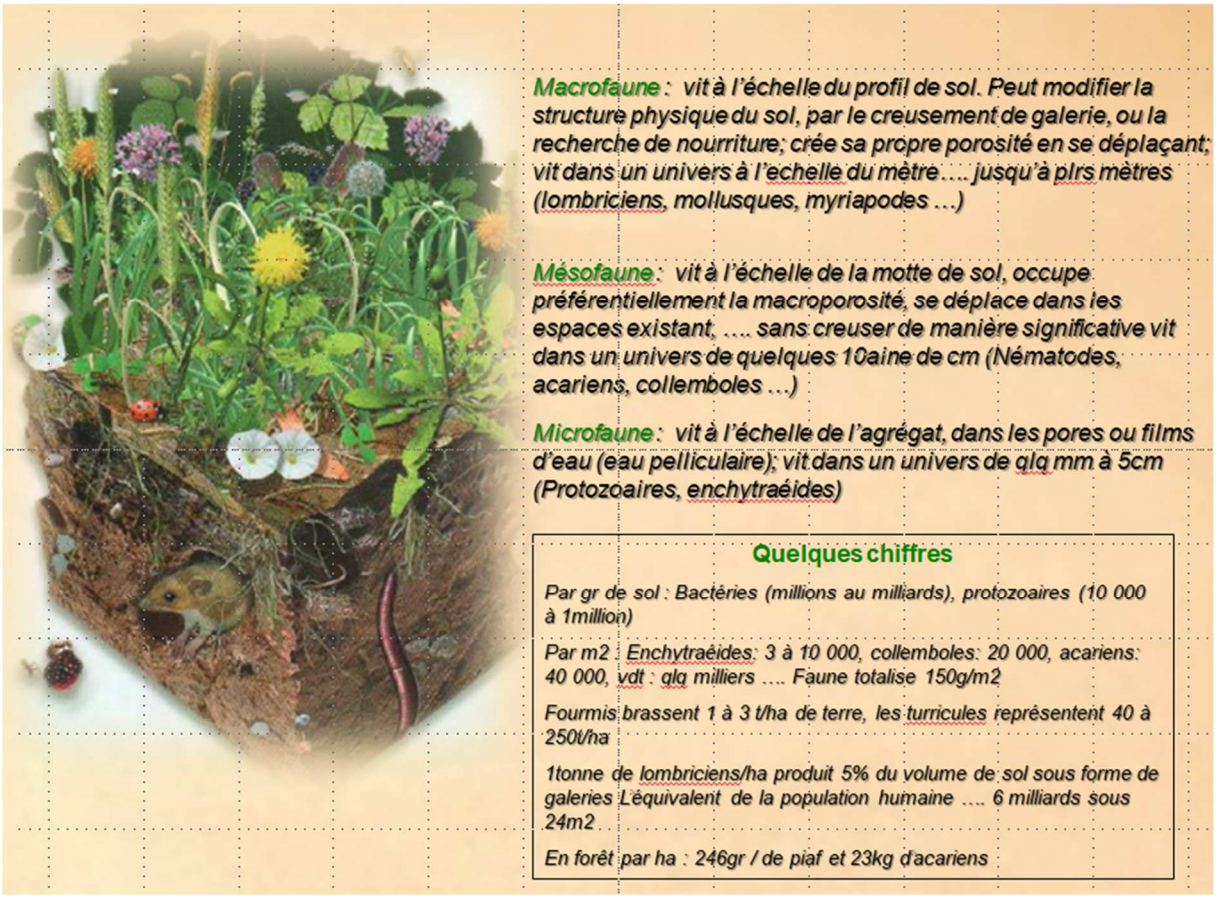
Fraction-libre : correctement évoluée et énergétique pour 1520-033 ; Très jeune, très énergétique po
1517-060 avec immobilisation d'N (donc si possible implanter des couverts à base de légumineuses).
MO-liée : valeurs satisfaisantes, caractérisent des humus bien évolués fonctionnels libérant facilemen
i'N pour les 2 parcelles.

+ MO et couverts : des chiffres pour débattre

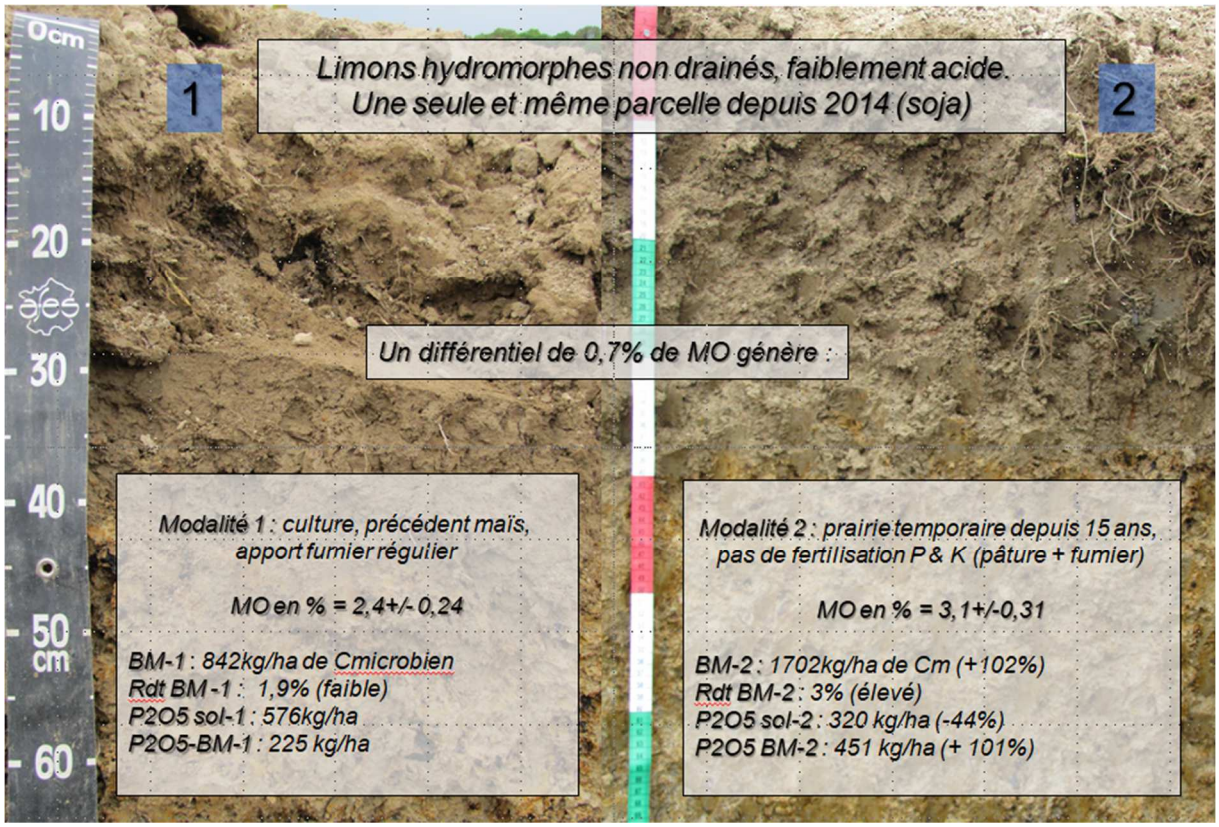


4) <u>Fertilité biologique …seulement en quelques constats.</u>

+ Faune du sol, indicateurs analytiques …le tout en quelques chiffres



Christian Barnéoud / Des clés pour comprendre ses sols / 2019



La biomasse microbienne
« le moteur »

Méthode : par fumigation / extraction (d'après FD ISO 14240-2 et Chaussod - INRA Dijon)

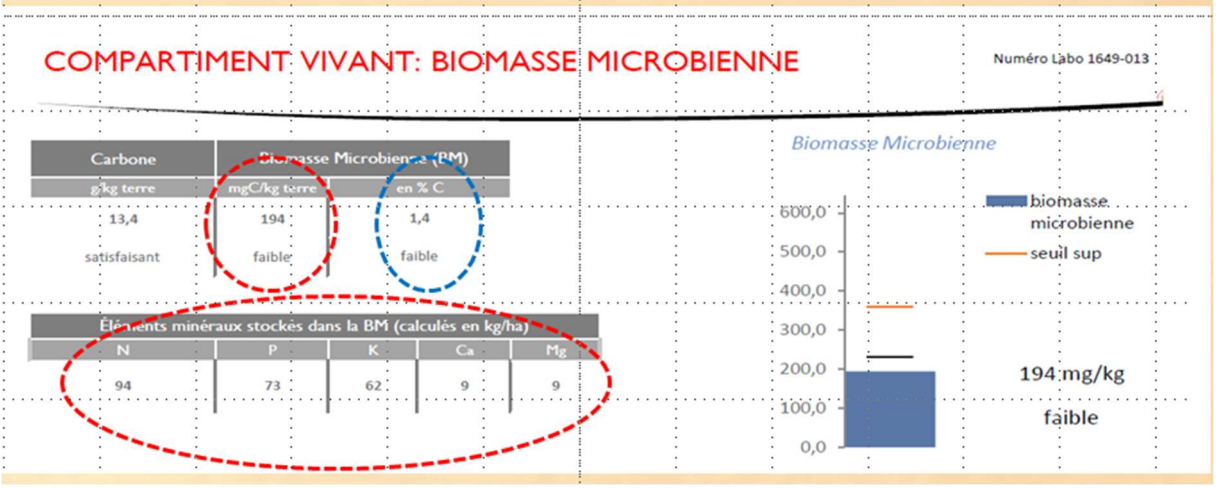
Carbone : teneur en carbone du sol (g/kg),

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 = 34 kg N immobilisé / ha.



La biomasse microbienne
« le moteur »

Méthode : par fumigation / extraction (d'après FD ISO 14240-2 et Chaussod - INRA Dijon)

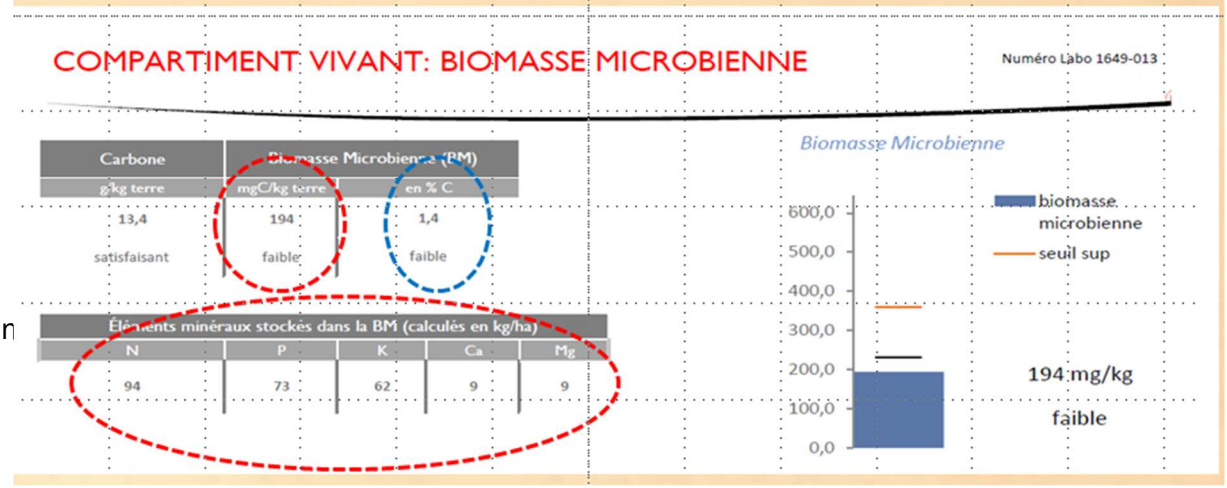
Carbone : teneur en carbone du sol (g/kg),

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 = 34 kg N immobilisé / ha.



En

	Gammes de sol	A %	pH	CaCO3 %	K2O/MgO	MO %	N g/kg	C g/kg	C/N	BM en mg/kg	BM en % C	N	P2O5	K2O	MgO	CaO	N kg/ha	ind. de Minéralisation C	ind. de Minéralisation N	Fourniture annuelle en N en kg
												Poids de Terre en t/ha :				1900				
PP non fertilisée-Avanne	Sableux	12,5	8,1	35	1,14	4,9	2,6	28,5	11	840,4	2,95	240	425	188	32	37	4940	3,6	4,3	319
PP non fertilisée-Belfort	Sableux	19,2	5,5	0	0,7	4,29	1,76	24,9	14,2	396,1	1,59	113	200	89	15	17	3344	1,1	1,1	55

FIN

« Ce n'est point par la fatigue, ni par l'effet de la vieillesse, mais par notre nonchalance, que nos sillons répondent avec moins de bienveillance »

Columelle, 1er siècle