

FERTILITE DU SOL
QUELS INDICATEURS CONCERNANT LA MATIERE ORGANIQUE, LA RICHESSE
AGRONOMIQUE DU SOL, LA VIE DU SOL
BILAN 2008

C. CARDET – M. DEPRIESTER
 A. CHALINE

CDDL

ARELPAL
8.02.01.51 CC

I - But de l'essai

Depuis 5-6 ans, de nombreuses méthodes concernant la fertilité des sols sont disponibles et leur intérêt a souvent été mis en avant lors de différentes journées techniques. Leur complémentarité n'a pas ou peu été explorée. Afin d'améliorer la fertilité des sols, cette étude a pour but de définir pour les maraîchers dans le contexte agronomique de l'Anjou les complémentarités ou les utilisations potentielles des méthodes analyse BRDA-Hérody, analyse chimique classique et le profil cultural.

II - Matériel et Méthodes

Dispositif expérimental

Modalités de 1 à 6 : sites conduits en agriculture biologique en terre sableuse et sablo limoneuse en culture de plein champ ou sous abri.

Modalités 7 : site en production conventionnelle avec rotation courte (radis, mâche).

Modalité	Mode de culture	Type de sol	Situation géographique	Mode production (nombre d'année en BIO)
1-	Abri (Tunnel 3)	Sol sableux (sable éolien)	Beaufort en Vallée	AB (20ans)
2-	Abri (Tunnel 5)	Sol sableux (marne à huitre)	Beaufort en Vallée	AB (20ans)
3-	Abri (Bitunnel 2)	Limono-argileux	St Lambert des Levées	AB (2ans)
4-	Plein champ	Sableux	Longué Jumelles	AB (30 ans)
5-	Plein champ (parcelle A)	Limono sableux	St Georges / Layon	AB (15 ans)
6-	Plein champ (parcelle B)	Limono sableux	St Georges / Layon	AB (15 ans)
7-	Abri (Multichapelle)	Limono sableux	Villebernier	conventionnel

Caractéristiques des prélèvements et analyses

Les prélèvements pour les analyses Hérody ont été effectués en mai 2008, envoyés au BRDA dans le Jura pour analyse et les commentaires effectués par Virginie Riou agropédologue à la Chambre d'Agriculture du Maine et Loire. Les profils de sol ont été effectués par le CDDL en octobre 2008 sur les modalités 1, 3 et 5 (annexes 1, 2 et 3). Vous trouverez en annexe 4 la terminologie employée pour la caractérisation des matières organiques ainsi que la description des éléments mesurés pour l'interprétation des analyses Hérody-BRDA.

TABLEAU 1

		hiver 2006-07	printemps 2007	été 2007	automne 2007	hiver 2007-08	printemps 2008	été 2008	automne 2008
1	abri sable T3	salade	radis navet	solarisation	radis, carotte		tomate, aubergine, poivron		
2	abri sable T5	navet		aubergine basilic concombre tomate automne	radis, navet		tomate		
3	Abri argileux bitunne B2	salade, pomme de terre	carotte, haricot	sol nu	salade, produits bottes (carotte), épinard		tomate		
4	PC sable	poireau	sarazin	courgette	engrais vert (seigle)	sarazin			engrais ve
5	PC limono sableux	engrais vert	radis, produits bottes, épinard		engrais vert (féverolle)			haricot, courgette, divers légumes d'été	
6	PC limono sableux	engrais vert		carotte, tomate plein champ, poireau, céleri	engrais vert (féverolle)		échalote, oignon ail		engrais vert
7	Abri limono sableux	radis		mache	radis			mache	

↑ analyse chimique ↑ profil cultural analyse Hérody ↑ ↑ profil cultural

III – Résultats/Discussion

Les résultats d'analyse Hérody de 2008 sont différents comparativement à 2006 lorsque l'on regarde les paramètres d'une même parcelle mais aussi globalement lorsque l'on compare les résultats de l'ensemble des parcelles et en particulier pour l'humus stable (=HS), la 3^{ème} Fraction (=3F), et la partie Ni minéralisable, Ni humifiable (=NiNi). Concernant l'interprétation de cette tendance, nous devons faire preuve de prudence : en effet, les prélèvements à 2 ans d'intervalle sont-ils comparables ? Comment explique-t-on une modification de la quantité de NiNi (matière organique indisponible normalement) aussi rapidement en 2 ans ?

TABLEAU 2

modalité	type sol	Analyse Herody 2006										Analyse Herody 2008									
		horizon sol	MTO	HS	optimum HS	pourcentage MOF	3F	NiNi	P	K	Mg	horizon sol	MTO	HS	optimum HS	pourcentage MOF	3F	NiNi	P	K	Mg
1	abri sable T3	surface	1.7	1.4	3.2	21	2,00	365	5	5	5	surface	2,5	2,2	3,1	12	1,35	475	4	2	5
		profondeur	1.9	1.4	NS	21	1,00	95	4	5	5	profondeur	2,3	2,1	3,2	9	0,75	190	3	3	5
2	abri sable T5	surface	1	0.9	1.7	14	1,00	230	5	4	4	surface	2,2	2	1,75	9	0,35	185	5	2	3
		profondeur	0.9	0.8	NS	11	0,00	75	5	5	2	profondeur	1,4	1,4	2,9	3,5	0,15	45	5	5	5
3	Abri argileux bitunnel B2	surface	3	2.5	3	17	1,00	165	3	2	5	surface	3,6	3,2	3	11	0,25	160	3	2	5
		profondeur	2.4	1.8	NS	23	0,00	70	1	0	5	profondeur	2,7	2,2	2,85	18	0,35	70	3	1	5
4	PC sable	surface	1.7	1.4	1.5	21	1,00	225	4	3	1	surface	2,4	2,2	1,45	10	0,30	115	4	3	4
		profondeur	0.9	0.8 / N	NS	16	0,00	215	3	2	1	profondeur	1,1	0,9	1,45	14	0,20	95	3	3	3
5	PC limono sableux	surface	2.8	2.5	2.6	11	2,00	330	5	4	2	surface	3,4	3,2	2,5	6	0,50	150	5	4	2
		profondeur	1.4	1.2	NS	17	0,00	120	3	4	2	profondeur	0,9	0,9	1,8	0	0,25	75	4	3	2
6	PC limono sableux	surface	1.7	1.5	2.6	12	1,00	250	5	5	2	surface	3,4	3,1	2,9	7,5	0,25	190	5	5	2
		profondeur	1.2	1.1	NS	9	0,00	170	3	3	1	profondeur	2,3	2,1	3,2	9	0,35	100	4	3	1
7	Abri limono sableux	surface	2.1	1.8	1.8	12	1,00	120	4	5	4	surface	2,3	2,1	1,7	9	0,30	105	4	5	5
		profondeur	1.5	1.2	NS	17	0,00	55	3	3	3	profondeur	1,7	1,6	2,5	6	0,15	45	3	1	3

excès carence

TABLEAU 3

Modalités	Mode de culture	Commentaires analyse Hérody
1-	Abri (Tunnel 3)	Le sol est composé d'une quantité élevée d'argile vraie. Le coefficient de fixation indique une capacité du sol à supporter des apports importants. Cependant, il n'y a pas de fer de liaison, or c'est lui qui intervient pour construire le complexe organo-minéral. Les apports doivent donc être limités à 30 t/ha. Il est nécessaire de favoriser l'activité biologique. Le sol n'est pas à l'optimum en matière organique. L'utilisation de compost jeune est à privilégier. On note une accumulation de matière organique non fonctionnelle (NiNi), attention à ne pas faire d'apport trop important.
2-	Abri (Tunnel 5)	Le coefficient de fixation est faible, il est donc inutile de dépasser les 10 à 15 tonnes. Le sol manque de matière organique fraîche. L'apport de compost jeune serait judicieux. On note une accumulation de matière organique inutilisable, à surveiller. Cela peut s'expliquer par l'utilisation de plants en motte.
3-	Abri (Bitunnel 2)	Par rapport à 2006, on observe un léger déséquilibre des matières organiques qui reste à surveiller et bien avoir en tête, de maintenir une bonne proportion de matières organiques fraîches, pour une bonne activité biologique, par l'apport de fumier ou de compost jeune. Le coefficient de fixation reste le même, ce qui est normal. Les préconisations sont donc identiques avec une limitation à une trentaine de tonnes de fumier. Le sol est toujours en voie de désaturation. Le chaulage d'entretien reste nécessaire.
4-	Plein champ	Le coefficient de fixation reste le même, ce qui est normal. Il est très faible et ne permet que des apports maximums d'une quinzaine de tonnes de fumier. En 2006, on observait un sol à l'optimum en matière organique (fraîche et stable) et une accumulation de matière organique non évoluée (NiNi). Aujourd'hui, ce n'est plus le cas, l'humus stable est plutôt en excès et la matière organique fraîche limitée, par contre, il n'y a plus d'accumulation de NiNi.
5-	Plein champ (parcelle A)	Le sol est à l'optimum en humus stable. Il manque de la matière organique fraîche. Privilégier les composts jeunes, fumier frais et engrais vert. Il est même conseillé de les limiter à 20-25 T/ha. Le sol est non carbonaté et plutôt pauvre en magnésium. Il est nécessaire de faire un chaulage d'entretien à 500 kg/ha de dolomie broyée par exemple. L'irrigation avec de l'eau « calcaire » permet en partie cet entretien.
6-	Plein champ (parcelle B)	Le sol est à l'optimum en humus stable. Mais on note un début d'accumulation de matière organique non évoluée (NiNi > 150). Eviter toute matière organique stable (type compost bien mûr) et privilégier les composts jeunes. Il est donc inutile de réaliser des apports supérieurs à 20 t/ha. Le sol est proche de la saturation en calcium et magnésium. Un chaulage d'entretien est nécessaire : 700 kg/ha de calcaire broyé ou dolomie broyée. L'irrigation avec de l'eau calcaire permet en partie de limiter ces apports.
7-	Abri (Multichapelle)	Le coefficient de fixation reste le même, ce qui est normal, et permet toujours des apports maximums de 25 t/ha de fumier. En 2006, on observait un lessivage de matière organique fraîche, ce qui n'est plus le cas. Aujourd'hui, c'est la matière organique stable qui est en excès, et la matière organique fraîche n'est pas très présente. Le sol est toujours en voie de désaturation. Le chaulage d'entretien devient impératif. Contrairement à 2006, pas de semelle de labour observée. Le décompactage a été efficace.

Suite à ces observations Yves Hérody a confirmé à Virginie Riou que les NiNi sont dues à des accumulations liées à une erreur organique (par exemple apport de grosses quantités de tourbe, vieux composts) ; leur vitesse d'évolution peut être modifiée en quelques années surtout si le sol est très sollicité (apports riches en azote et aération), ce qui est le cas en maraîchage.

Humus stable (HS) : une amélioration du taux optimum est observé sur les modalités 1, 2 et 6. Nous avons des évolutions importantes du taux d'humus stable de façon favorable pour les modalités 1,2, 6 voire des début d'accumulation en 4. Au vu des conditions climatiques de ces deux dernières années, la destruction plutôt tardive des engrais verts dans les parcelles en plein champ (modalité 4 et 6) sont sûrement un élément d'explication. L'hypothèse que l'engrais vert favorise l'accumulation d'humus stable très rapidement en deux ans quelque soit le type de sol reste à confirmer.

MOF (=Matière Organique Fugitive), 3F et NiNi : quelque soit la richesse en éléments fertilisants dans tous les types de sol toutes les parcelles présentent une diminution des autres compartiments de la matière organique (MOF, 3F et NiNi). Ces différents compartiments indicateurs d'une accumulation de la matière organique sous des formes plus ou moins polymérisées sont en diminution dans tous les sites ce qui indique une évolution plutôt positive du fonctionnement du sol.

Parcelles Beaufort en Vallée

Les apports depuis deux ans sont sensiblement équivalents aux années précédentes avec 15-20 T/ha de fumier de bovin plus de la sciure. D'après les analyses Hérody, dans les parcelles T3 et T5 la richesse chimique reste importante mais elle diminue au niveau de la potasse dans les deux tunnels et pour la magnésie dans le T5. Le tunnel T3 présente un excès de calcium considérable et le niveau de NiNi augmente, il indique une accumulation de matière organique non fonctionnelle. Dans ce type de tunnel la présence d'engrais vert dans la rotation joue un rôle important. Le profil cultural du T3 confirme que ce sol d'aspect léger en surface (10 cm) principalement du aux successions de cultures maraîchères depuis 20 ans repose à partir de 10 cm sur un sol limono-argileux puis sur de l'altération d'argile (30-55 cm) avec en dessous une argile marneuse. A 25 cm avant le sous sol on a une zone de 25 cm très riche en matière organique, s'expliquant probablement par le lessivage même s'il reste limité sous abri. Le travail du sol est obligatoirement superficiel pour respecter les différents horizons cultivés et les horizons pédologiques qui ne sont qu'à 30 cm de profondeur.

Dans le T5 la carence en HS et le niveau de NiNi ont diminué ce qui très positif. La diminution de la richesse potassique et magnésienne est à confirmer mais dans cette parcelle le fonctionnement globale du sol semble s'améliorer.

Parcelle St Lambert des Levées

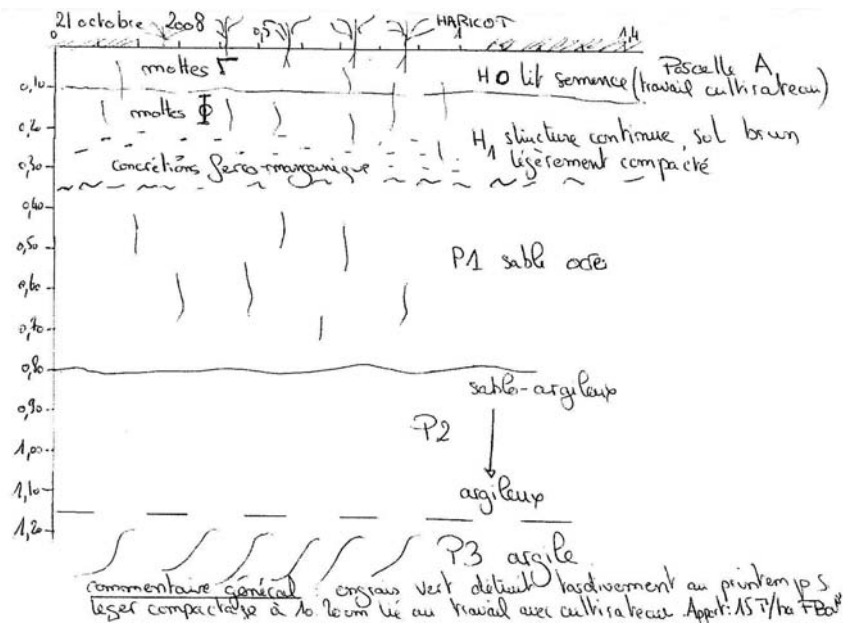
La parcelle se situe sur un sol limono-argileux avec un bitunnel mis en place à la fin de l'hiver 2006 sur une luzerne de 2 ans. Une succession de cultures maraîchères (salade, carotte botte, haricot, tomate) a eu lieu avec un travail du sol superficiel en général à la motobineuse sans aucun apport de matière organique sous forme de fumier. Au vu de la comparaison des analyses Hérody 2006 et 2008, ce sol à la base riche en MOF, 3F et NiNi a tendance à moins stocker de la « matière organique peu disponible » pour les plantes. L'analyse confirme la désaturation du complexe organo-minéral et conseille un apport d'entretien de 800 kg/ha de calcaire broyé. Les résultats de l'analyse chimique du sol (2006-2007) montre aussi une diminution légère du pH et du calcium assimilable.

Le profil cultural montre que le sol est sensiblement compacté à partir de l'horizon 10-25 cm avec de nombreuses mottes Δ et ensuite de 30-60 cm la colonisation du sol par les racines est meilleure en l'absence de travail du sol avec des outils mécaniques. Sur cet horizon H3 dans une structure continue on observe de nombreuses mottes Φ qui sont traversées par des racines et des galeries de vers de terre. Ensuite le premier horizon sableux P1 sur 30 cm assure un bon ressuyage lorsque les fossés s'évacuent correctement.

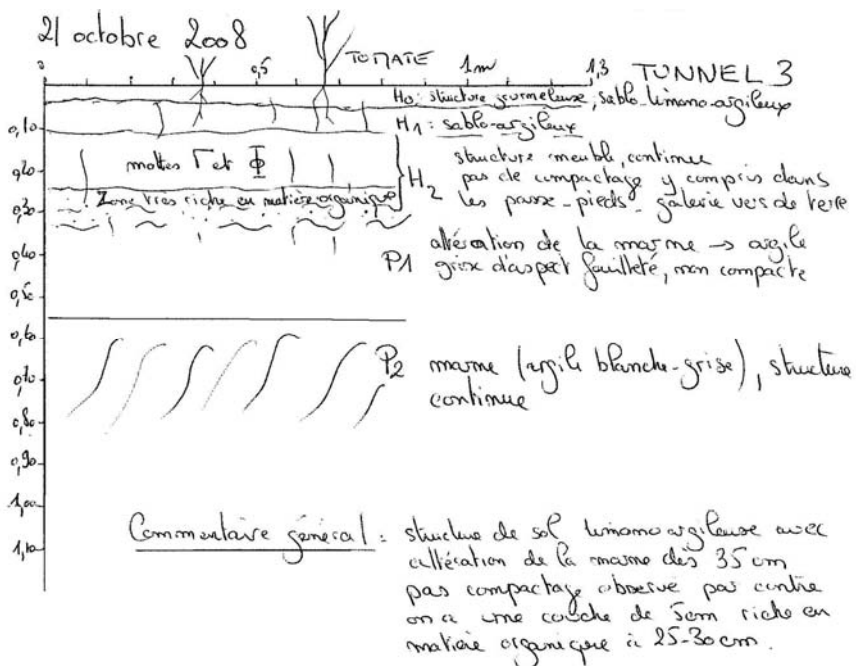
Longué Jumelles

Depuis deux ans sur ce sol sableux des engrais vert se succèdent (sarrasin, seigle) et une culture de poireau sera installée au printemps 2009 ; 3 ans après la précédente. Les accumulations de matière organique d'un côté et les carences en HS de l'autre semble se corriger au vu des résultats Hérody 2008. Etant donné qu'aucun apport de fumier ou matière organique compostée n'a été effectué, l'hypothèse envisagée serait que les engrais organiques incorporés au sol à un état évolué (paille) ont favorisé une activité biologique du sol qui a brûlé la matière organique polymérisée (3F et NiNi) et favorisé l'humification avec une accumulation de l'humus vrai. Comme en 2006, la matière organique labile se lessive facilement dans ce sol léger vu la quantité de NiNi en profondeur et la structure sableuse continue ouverte et fragmentaire.

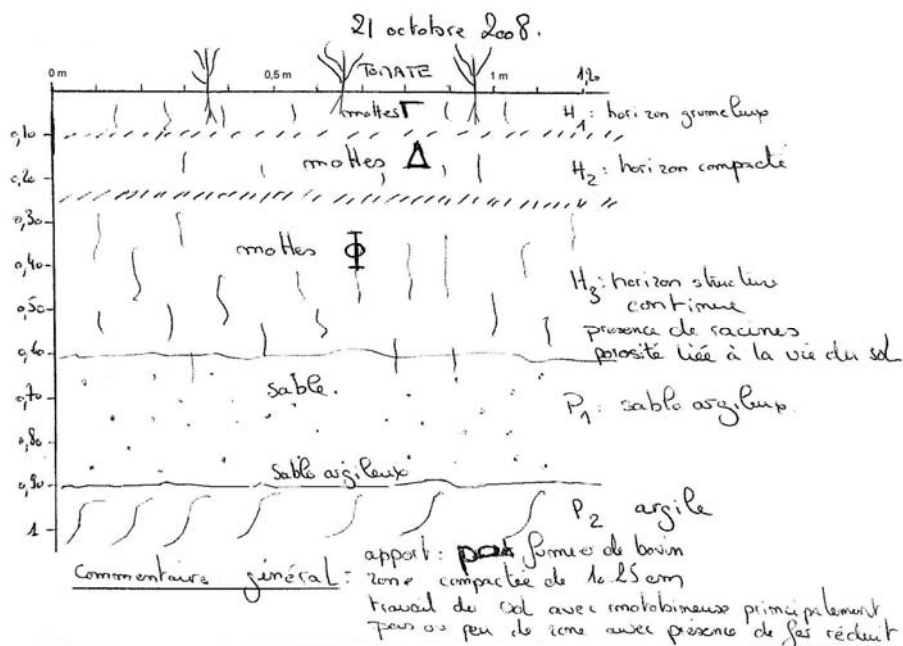
Le sol reste carencé en magnésie et pour maintenir une cohésion du complexe organo-minéral il faut des apports réguliers de calcaire (apport de 400 kg/ha d'amendement calcaire).



Annexe 1 : profil cultural (parcelle A) St Georges/Layon



Annexe 2 : profil cultural (abri T3) à Beaufort en Vallée



Annexe 3 : profil cultural (bitunnel) à St Lambert des Levées

St Georges / Layon

Les deux parcelles sont situées sur un relief légèrement en pente avec un faux plat au niveau de la parcelle B. Sur le profil cultural effectué en 2008 sur la parcelle A, nous avons jusqu'à 35 cm un sol brun dont la coloration évolue peu. A 10 cm de la surface, un tassement est observé avec la présence de mottes Φ ; il est lié au cultivateur lors de la dernière façon culturale avant le semis. Ensuite on a un horizon pédologique de sable ocre (35-80cm) et enfin une argile sableuse à 80 cm puis progressivement une argile (1,15 m) marron gris avec des concrétions ferro-manganiques. Sur ce profil cultural, on observe à 20-30 cm des concrétions du à des engorgements temporaires lors de périodes pluvieuses importantes mais en quantité moindre comparativement à 2007 sur le profil cultural de la parcelle B.

Sur les deux parcelles après 2 ans, le taux d'humus stable est meilleur avec une accumulation légère en parcelle A. Les accumulations de matières organiques non évoluées (3^{ème} fraction et NiNi) diminuent sur les modalités. L'hypothèse de l'engrais vert est de nouveau mise en avant, en effet ces deux parcelles sont en engrais vert durant la période hivernale. La pratique actuelle d'apport de 15 T/ha fumier de bovin « jeune » va dans le même sens.

Le sol est proche de la saturation en calcium et magnésium selon l'analyse Hérody. Un chaulage d'entretien est conseillé sous forme calcaire broyé ou de dolomie (faible présence de Mg dans le sol). L'analyse classique n'indique pas de carence en calcium et magnésium mais plutôt dans certains cas des excès. Selon Hérody, dans les sols riches en matière organique et qui "tournent" vite, la matière organique pondère le pH et limite ses variations (effet tampon). Il n'y a alors aucune corrélation entre pH (analyse classique) et le taux de saturation en bases du complexe organo-minéral.

Villebernier

Cette parcelle sous abri multichapelle est en culture conventionnelle avec une rotation au cours de l'année de 3 cultures de mâche (en été) et plusieurs cultures de radis (automne-hiver). Ce site en production intensive (6 cultures de radis-mâche par an) est un témoin pour vérifier l'évolution des différents composants du sol dont la matière organique et la fertilité biologique. Pour l'instant, on n'observe pas d'accumulation de matière organique type 3^{ème} fraction ou NiNi. Aujourd'hui, c'est la matière organique stable qui s'accumule, et la matière organique fraîche n'est pas très présente. Le sol est toujours en voie de désaturation et un chaulage d'entretien devient impératif. Les analyses classiques montrent aussi une légère carence en calcium échangeable.

IV - Conclusions

Cette étude multisite montre que des évolutions au niveau des différentes formes de matières organiques présentes dans le sol (HS, MOF, 3^{ème} fraction et NiNi). On a une tendance à avoir moins de matière organique peu disponible ou s'accumulant dans le sol et plus de matière organique fonctionnelle (humus stable). Des hypothèses sont mises en avant à travers cette étude :

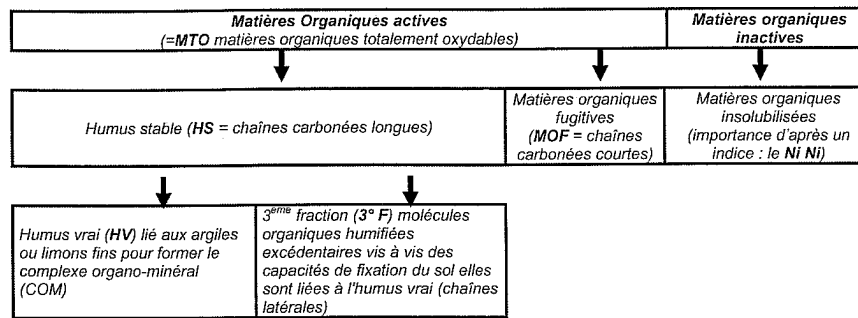
- la présence d'engrais vert dans la rotation semble agir positivement sur l'amélioration du taux d'humus stable même en sol sableux (modalité 4)
- La diminution des NiNi sous l'action de l'activité biologique du sol stimulée par les cultures maraîchères et les engrais verts est elle co-responsable de cette amélioration du taux d'humus stable ? Peut on avoir des phénomènes de « vase communicant » au niveau du sol entre matière organique polymérisée (stock) et matière organique fonctionnelle (Humus vrai) ?
- Les analyses Hérody mettent en évidence des phénomènes de désaturation (modalité 3, 4, 5, 6 et 7) alors que pour certaines modalités (5 et 6) l'analyse classique ne donne pas les mêmes conclusions. Un apport calcaire sera effectué sur la modalité 3, 4 et sera envisagé sur la 7. Aucun apport sur 5 et 6 est prévu.

Le point à élucider reste l'équilibre organique de nos sols maraîchers au vu de l'évolution de la matière organique en deux années. L'impact positif de l'engrais vert « vieux » sur l'humus stable est à confirmer tout en défavorisant le stockage de matière organique peu utilisable (3^{ème} fraction et NiNi). Cet élément pourrait permettre à de nombreux maraîchers d'être moins dépendant de trouver du fumier souvent conventionnel qu'il faut composter alors que souvent leur sol demande un fumier jeune peu composté pour favoriser l'activité biologique au printemps.

Les profils de sol effectués cet automne confirment l'intérêt de favoriser le développement du système racinaire des plantes (culture ou engrais vert) pour améliorer la structure du sol et ce d'autant plus que le sol est à texture argileuse. Le travail du sol ne doit être qu'un facilitateur de l'installation des plantes mais ce sont elles et la vie du sol (macrofaune et microfaune) qui améliorent fondamentalement la qualité structurale du sol.

Annexe 4 :

Les matières organiques sont essentielles dans le fonctionnement du sol, la méthode Hérody distingue plusieurs fractions, ce qui permet de mieux gérer les apports organiques.



Les analyses et leur interprétation

L'interprétation des analyses est à faire en fonction des observations de terrain.

Éléments mesurés	Définition (rôle)	Indication donnée
CF : Coefficient de fixation (échelle de 0 à 7)	Détermine la qualité des éléments minéraux actifs : <ul style="list-style-type: none"> Les argiles "vraies" ayant des propriétés colloïdales Les limons fins qui ont de faibles capacités de fixation, grâce au fer amorphe 	Capacité du sol à former un complexe organo-minéral Détermine les doses possibles d'apport organique et minéraux
Fer de liaison Fer amorphe	<ul style="list-style-type: none"> Le fer de liaison attache les particules minérales actives (argiles limons fins) et les molécules organiques de l'humus Le fer amorphe permet aux limons fins qui n'ont pas de propriétés colloïdales, d'avoir une petite capacité de fixation 	Ces 2 éléments doivent être en quantité suffisante suivant la nature et l'importance des argiles et des limons fins En excès ils peuvent bloquer la matière organique
AT : Alcalino-terreux Ca Mg Rapport Mg/AT	Permettent la stabilité du complexe organo-minéral	Objectif de saturation du CF à 80 % Rapport Mg/AT de 10 à 12 On peut ainsi déterminer la quantité et le type de carbonate à apporter, et préciser s'il faut apporter de la magnésie

MTO : matière organique totale	MTO = MOF + Humus "vrai" lié au minéral + 3F humus non lié au minéral + une partie de MO brute non transformée	L'équilibre entre les différentes fractions permet de mieux gérer les apports organiques : <ul style="list-style-type: none"> Type d'apport : précurseur de MOF (fumier frais, lisier) ou d'HS (compost évolué) Dose d'apport Date d'apport
MOF : matières organiques fugitives	Carburant de la vie microbienne	<ul style="list-style-type: none"> Optimum de 20 % de MOF/MTO Cette valeur fluctue dans l'année en fonction du lessivage et du fonctionnement du sol
3 F : 3 ^{ème} fraction	Humus non lié aux particules minérales actives Chaînes latérales liées à l'humus "vrai"	Réserve d'humus, mais ne doit pas être en quantité trop importante, signe d'une surcharge organique du sol (apports trop importants) ou de liens fer en quantité insuffisante Souhaitable : < 0.5
Indice d'insolubilisation Ni-Ni : ni minéralisé, ni humifié	Traduit l'importance de la MO brute = fraction inactive	Différents seuils correspondent à des niveaux de blocage de la matière organique à l'état brut <ul style="list-style-type: none"> Décèler la cause de ce blocage
Manganèse Mn1 Mn2	Mn nécessaire dans la défense des plantes Mn1 : lié à la matière organique Mn2 : Mn total mobilisable dans le complexe d'altération	Teneur souhaitable du Mn1 entre 0.5 et 1.5 Mn1 traceur révélant le lessivage des MOF
Aluminium (Il ne s'agit pas d'une mesure directe, mais d'un risque de présence)	<ul style="list-style-type: none"> Facteur d'insolubilisation de la MO Toxicité pour les plantes en condition acide 	Risque de blocage de la MO Peut expliquer une MO brute importante Souhaitable : < 0.3
pH KCl pH FNa	Acidité potentielle du sol pH maximum du sol	Une différence de 2 points ou plus entre les 2 pH indique un risque de blocage de la matière organique
Fertilité minérale : P, K, Mg Indices ADAS de 0 à 5 (0 carence, 3 bien pourvu, 5 excès)	Le phosphore dosé ne comprend pas la fraction organique stable. En sol riche en matière organique et présentant une bonne minéralisation les quantités de phosphore libérées ne sont pas négligeables	Conduite de la fertilisation minérale P et K en liaison avec la fertilisation organique L'indication de la teneur en profondeur est intéressante : (Il n'est pas rare de trouver des valeurs élevées de potasse en profondeur)

Février 2004

Réalisé par Jean SIRON – Chambre d'agriculture de la Mayenne

Avec le soutien de la Région Pays de la Loire

En partenariat avec