

Gérer son sol, un principe fondamental pour l'AB

Dossier coordonné par Laetitia Fourrié et Aude Coulombel (ITAB)

Les agriculteurs biologiques attachent, à juste titre, une attention particulière au sol, à la base de tout système biologique.

Les agriculteurs biologiques apportent au sol une attention toute particulière car ils considèrent que de l'équilibre de ce milieu vivant et complexe dépend celui des plantes, des animaux et des hommes. Ainsi, l'agriculture biologique repose sur une cohérence milieu-système très forte, où le contexte pédo-climatique a une grande importance.

C'est à ce compartiment vivant mais mal connu qu'est consacré ce dossier agronomique qui aborde les thèmes suivants :

- les propriétés du sol, en lien avec les pratiques de fertilisation organique,
- la biodiversité fonctionnelle des sols,
- les racines, qui sont au cœur du fonctionnement de la rhizosphère,
- les journées consacrées au sol organisées par le Centre d'essais bio de Wallonie (le CEB)
- La fiche technique de ce numéro est aussi consacrée au thème du dossier et présente une technique de diagnostic de sol.

Effet d'apport de différents amendements organiques sur les propriétés du sol

Bilan de 15 années d'essai en culture légumière

Par Sophie Dragon et Christian Icard (SERAIL)

En 1995, à la demande des maraîchers de la région Rhône-Alpes, un dispositif expérimental longue durée a été mis en place à la SERAIL¹ dans le but d'évaluer les effets de différents amendements organiques (composts et fumiers) sur les propriétés du sol. En 2009, au terme de l'essai, une étude approfondie des paramètres chimiques, physiques et biologiques du sol a été menée. Quinze années d'essai ont ainsi permis de mieux appréhender les propriétés à court et long terme des produits testés et d'apporter aux agriculteurs des éléments pour leur faciliter le choix en fonction des problématiques rencontrées.

¹ Station Expérimentale Rhône Alpes Interprofessionnelle Légumière



Les amendements organiques sont destinés à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matières organiques (MO) du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques. Ils se différencient des engrais organiques par une teneur en azote, phosphate et potasse inférieure à 3 % du produit brut pour chaque élément (Norme AFNOR NFU 44-051).

Dispositif

La parcelle expérimentale est située à l'ouest de Lyon, sur un sol de type sablo-argileux, caillouteux (30 % d'éléments grossiers), développé sur roche mère granitique. En 1995 le pH_{eau} initial était de 6,6 en moyenne et la teneur en carbone organique (C_{org}) était de 12,2 g/kg de terre fine (environ 2,1 % de MO). La parcelle expérimentale est conduite en planches permanentes selon une rotation légumière² (biologique depuis 1999).

Cinq amendements comparés pendant 15 ans

Le dispositif en bloc de type split plot à trois répétitions compare cinq amendements organiques à un témoin sans apport :

- un fumier de bovin frais,
- un fumier de bovin déshydraté sous forme de granulés de même origine que le fumier frais,
- un compost de déchets verts (DV),
- un compost d'écorces enrichi en fumier de volaille, lisier et algues,
- un compost de tourteaux de café enrichi en bourres de laine et fumier de mouton.

Deux doses d'apport ont été différenciées (Tableau 1) :

• la dose « Equivalent Carbone » (EqC) vise à apporter l'équivalent en carbone de 30 t/ha de fumier frais qui sert de référence.

• la dose « Equivalent Humus » (EqH) vise à apporter l'équivalent en humus de 30 t/ha de fumier frais. La quantité d'humus apportée par chaque amendement est calculée à partir de leurs Indices de Stabilité Biologique (ISB) respectifs.

Les amendements sont apportés chaque année au printemps avant la première mise en culture. Ils sont enfouis à la rotobêche sur 30 cm de profondeur. Pour chaque modalité « amendement » de la dose EqH, deux conduites azotées différentes sont réalisées : d'une part, un apport d'azote selon sa disponibilité au sol et les besoins de la culture, et d'autre part aucun apport d'azote pour mieux appréhender le potentiel fertilisant azoté de chaque produit.

² Rotation : Laitue-navet-engrais vert (blé), poireau, Laitue-navet-engrais vert (blé), poireau, carotte, chou-engrais vert (blé), laitue-épinard, blette, poireau, carotte, laitue, céleri branche, chou, poireau, carotte.

Tableau 1 - Apports moyens annuels (t/ha) pour chaque amendement et chaque dose d'apport

	Quantité de produit		Quantité de carbone organique		Quantité d'humus	
	EqC	EqH	EqC	EqH	EqC	EqH
Fumier frais	28,2	28,2	2,6	2,6	2,6	1,7
Fumier déshydraté	7,5	7,8	2,6	2,7	2,7	1,7
Compost déchets verts	23,1	14,7	2,6	1,6	1,8	1,7
Compost écorce enrichi	25,3	19,1	2,6	2,1	2,0	1,7
Compost tourteaux enrichi	10,7	6,2	2,6	1,5	1,7	1,7

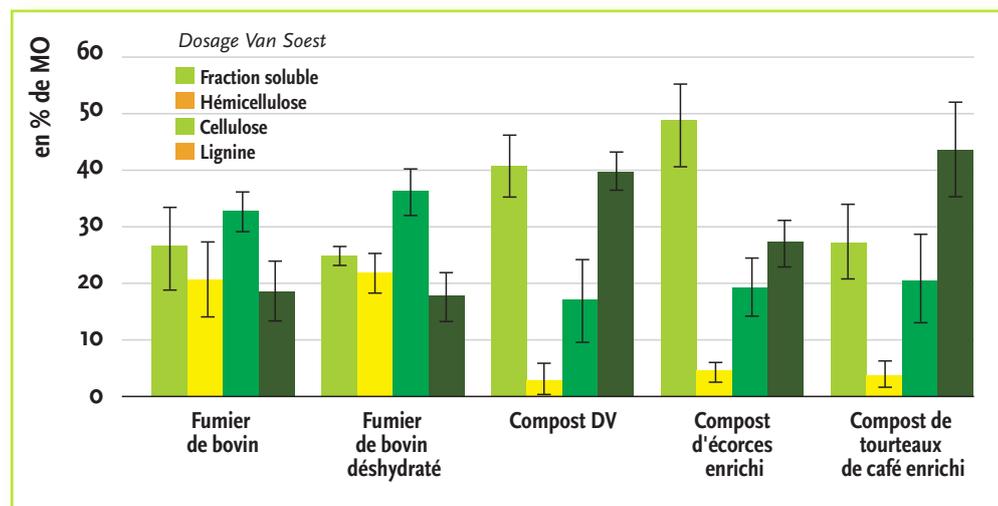
EqC = dose « Equivalent Carbone », visant à apporter l'équivalent en carbone de 30 t/ha de fumier frais (référence)

EqH = dose « Equivalent Humus », visant à apporter l'équivalent en humus de 30 t/ha de fumier frais (calculée à partir des ISB)

Tableau 3 - Composition moyenne et ISB des amendements organiques (moyenne sur 15 ans)

	Fumier de bovin	Fumier déshydraté	Compost DV	Compost d'écorces enrichi	Compost de tourteaux de café enrichi
N	5,9 (1,1)	16,5 (2,7)	8,4 (2,7)	10,4 (1,4)	19,5 (6,0)
P ₂ O ₅	2,8 (0,7)	9,9 (2,4)	3,8 (0,8)	8,1 (2,2)	10,1 (2,8)
K ₂ O	8,4 (2,3)	28,2 (4,1)	7,6 (2,9)	10,3 (3,7)	18,2 (9,0)
MgO	1,4 (0,4)	4,9 (0,9)	3,8 (0,7)	5,4 (1,4)	23,0 (4,6)
CaO	6,4 (2,6)	22,4 (7,9)	24,2 (11,3)	36,6 (4,4)	49,4 (9,5)
C/N	16,8 (3,5)	22,5 (6,2)	16,1 (7,2)	11,1 (2,4)	14,4 (4,2)
ISB	35 (9)	33 (5)	76 (13)	50 (8)	85 (12)
Granulométrie	Très grossière	0,7 x 1,5 cm	Grossière	Très fine	Très fine

Fraction biochimique en % de MO



Principaux résultats

● Influence sur le statut organique du sol

Tous les amendements permettent d'augmenter la teneur en Corg du sol. Après 15 années d'apports annuels, ce sont les parcelles ayant reçu les composts de DV et d'écorces qui présentent les teneurs les plus élevées en Corg (équivalent à environ +1 % de MO par rapport à 1995). Le fumier frais, le fumier déshydraté et le compost de tourteaux de café ont entraîné une augmentation moins importante (+0,5 % de MO). Ainsi, contrairement à ce que semblait indiquer son ISB très élevé, ce n'est pas le compost de tourteaux de café qui permet d'augmenter le plus le statut organique du sol.

● Influence sur la composante chimique du sol

Le compost de DV, le compost d'écorces et le compost de tourteaux de café, qui sont les produits les plus riches en calcium, ont un effet alcalinisant sur le sol. En re-

vanche, le fumier frais et le fumier déshydraté n'ont pas d'effet statistiquement significatif sur le pH.

● Influence sur la biomasse microbienne

Ce sont le fumier frais et le fumier déshydraté qui ont l'effet le plus favorable. Les composts de DV et d'écorces ont l'effet le moins marqué. Le compost de tourteaux de café est en position intermédiaire. On suppose néanmoins que l'action intense des amendements rapidement dégradables (fumier, compost de tourteaux) sur la biomasse est relativement peu persistante dans le temps (environ 1 an). Pour les trois composts, l'augmentation de la dose d'apport (EqC vs EqH) permet d'augmenter la taille de la biomasse microbienne. La fertilisation azotée a également un effet favorable.

● Influence des amendements sur les propriétés physiques du sol

Etat structural

Les profils culturaux observés à l'automne, cinq mois après le der-

nier apport d'amendements, ont montré que l'état structural des sols amendés est meilleur que celui du sol témoin, avec moins de mottes compactées. Les observations réalisées au printemps, neuf mois après le dernier apport, vont dans le même sens, avec un état structural néanmoins un peu inférieur pour la modalité fumier par rapport aux autres modalités amendées. En 2009, une culture de carottes a été implantée dans le but d'étudier la forme de leurs racines et le rendement commercial (excluant les carottes tordues, fourchues, fendues, trop courtes). Ces paramètres sont en effet considérés comme de bons indicateurs de l'état structural du sol. Mais cette année, le rendement commercial est équivalent sur toutes les parcelles. En 1999, l'étude des résultats culturaux sur carottes avait toutefois révélé une amélioration statistiquement significative du rendement commercial (racines bien formées) d'autant plus importante que la source organique utilisée influait positivement sur le taux de matière organique. Le compost de DV, le compost d'écorces, et dans une moindre mesure le compost de tourteaux donnaient ainsi de meilleurs résultats que les fumiers. Cette année là, le travail du sol avait été réalisé en conditions humides et difficiles, contrairement à 2009 où les conditions étaient optimales. L'influence des amendements sur le rendement commercial en lien avec l'état structural du sol ne serait perceptible qu'en conditions de travail du sol difficiles.

Stabilité structurale

Neuf mois après le 15e apport d'amendement, ce sont les fumiers frais et déshydratés qui confèrent au sol la meilleure stabilité structurale. Les trois composts auraient une action moins prononcée. Notons néanmoins que les différences entre les produits sont très faibles et non statistiquement significatives. C'est l'effet des amendements sur la biomasse microbienne du sol qui semble différencier ces derniers. La biomasse, favorisée notamment par les apports de fumiers, produirait

en effet des composés glucidiques qui agissent fortement sur l'agrégation des particules de sol. Toutefois, il semblerait que cet effet des fumiers dû à la biomasse microbienne ne soit pas durable dans le temps (pas plus d'une année culturale). Les composts agirait plutôt sur la stabilité structurale directement grâce à la MO stable qu'ils apportent, qui aurait un effet protecteur. Cet effet serait moins intense mais plus durable dans le temps.

Résistance au compactage

Pour une humidité du sol relativement élevée (20 %), le compost de DV et le fumier frais permettent d'améliorer la résistance du sol au compactage un mois après leur épandage. Cela est valable pour les contraintes de pression couramment appliquées en ma-

raîchage. Cet effet serait lié à la granulométrie élevée de ces produits qui conférerait une certaine élasticité au sol. En revanche, le compost de tourteaux de café qui est sous forme de poudre n'aurait pas d'effet bénéfique dans les domaines de pressions rencontrés en maraîchage (remarque: le compost d'écorces et le fumier déshydraté n'ont pas été testés pour cet indicateur).

Capacité de rétention en eau

Pour un potentiel de l'eau proche de celui de la capacité au champ ($pF = 2,5$), tous les amendements permettent d'augmenter significativement la réserve utile du sol. Les teneurs en eau les plus élevées sont obtenues avec le compost de DV, le compost d'écorces, le fumier et le fumier déshydraté. Le compost de tourteaux se situe en

A retenir

Les résultats de cet essai apportent des informations aux maraîchers quant au type et à la dose d'amendement à utiliser. Trois groupes de produits se distinguent parmi les amendements testés : les produits « stables » (compost de DV et d'écorces), les produits plus rapidement dégradables (fumiers frais et déshydraté), et le compost de tourteaux de café qui a un comportement intermédiaire.

Les préconisations d'utilisation doivent être réalisées au regard du type de sol, du système de culture et de la problématique rencontrée. De manière générale, on peut néanmoins conseiller d'associer l'utilisation de produits stables comme le compost de DV et de produits plus fermentescibles comme le fumier afin de bénéficier de leurs effets complémentaires. Dans la mesure du possible, les amendements rapidement dégradables seront apportés chaque année (effet intense mais peu durable dans le temps). Les produits plus stables pourront être apportés tous les deux à quatre ans. Selon la problématique rencontrée, on privilégiera un amendement plutôt qu'un autre, par exemple, un produit fermentescible pour améliorer rapidement un problème de stabilité structurale, un compost végétal pour augmenter la CEC, etc. La dose d'apport devra être raisonnée en fonction du type de sol (notamment sa granulométrie), de sa teneur initiale en MO et des pertes de MO potentielles. On ne visera par exemple pas le même objectif de teneur en MO selon que l'on se trouve en sol argileux ou en sol sableux. Les apports appliqués dans cet essai peuvent néanmoins donner un ordre de grandeur de référence pour un sol à texture moyenne.

Remerciements :

Pour mener à bien ce travail, la SERAIL a bénéficié de l'appui de nombreux scientifiques et experts (Dominique Berry, Daniel Boitez, Frédéric Bornet, Frédérique Bressoud, Yvan Capowitz, Claire Chenu, Rémi Chaussod, Annie Clay, Bertrand Decoopman, Pauline Defosse, Olivier Demarle, Hervé Gaillard, Yvan Gautronneau, Sabine Houot, Yves Le Bissonnais, Blaise Leclerc, Xavier Leroux, Dominique Massenot, Bernard Nicolardot, Rachida Nouaïm, Joséphine Peigne, Christiane Raynal, Guy Richard, Jean Roger-Estrade, Stéphane Ruiz, Xavier Salducci, Stéphane Sammartino, Jean-Pierre Thicoïpe, Jean-François Vian), de la confiance des fournisseurs (DISTRISIM, PHALIPPOU, TPA, VG SOL), mais aussi du travail passionné des étudiants qui ont réalisés leur mémoire de fin d'étude sur le sujet (Benjamin Jouve en 1999, Olivier Demarle/Jean-François Vian en 2004, Sophie Dragon en 2009).

position intermédiaire entre le témoin et les autres amendements. On relève également un effet de la dose d'apport, en faveur de la dose « forte » EqC.



Tableau 3 - Présentation simplifiée des principaux résultats de l'étude, pouvant servir de base de raisonnement dans le choix des amendements.

	Fumier de bovin	Fumier déshydraté	Compost de DV	Compost d'écorces enrichi	Compost de tourteaux de café enrichi	"Effet dose d'apport" (EqC vs EqH)
Taux d'humus du sol	+	+	++	++	+	non
Biomasse microbienne	++	++	+	+	++	oui
Minéralisation C	++	++	+	+	+	oui
Minéralisation N	+	+	+	+	+	non
pH	o	o	+	+	+	non
CEC	+	+	++	++	+	non
Etat structural	+	+	+	+	+	non
Stabilité structurale	(++)	(++)	(+)	(+)	(+)	non
Résistance au compactage	+	Non testé	+	Non testé	o	Non testé
Réserve utile	++	++	++	++	+	oui
Effet fertilisant (N)	+	+	o	++	++	

o : pas d'effet par rapport au témoin

+: effet positif par rapport au témoin

++ : effet très positif par rapport au témoin

() : effet non statistiquement significatif (tendance)

Biodiversité fonctionnelle des sols

Un éclairage sur l'écologie des sols...

Par Eric Blanchart (IRD, UMR Eco&Sols¹)

¹ 2 Place Viala, 34060 Montpellier cedex 1 - eric.blanchart@ird.fr

Le sol constitue l'un des milieux les plus diversifiés sur Terre, mais aussi l'un des plus mal connus du point de vue de la biodiversité. De très nombreux organismes habitent le sol, depuis les microorganismes (bactéries et champignons) jusqu'aux vers de terre en passant par de nombreux et très variés groupes d'insectes, de nématodes, de protozoaires... Ces organismes, à travers des interactions trophiques et non trophiques, assurent le fonctionnement du sol et participent ainsi à la mise en place des services écosystémiques.

Dans l'équivalent d'une cuillère à café de sol, on peut trouver plusieurs milliers d'espèces de bactéries, plusieurs millions d'individus et plusieurs mètres de mycélium fongique, mais aussi des milliers de protozoaires et des centaines de nématodes.

Les sols constituent l'un des milieux les plus diversifiés sur Terre. On estime que près d'un quart des espèces connues (près de deux millions d'espèces sont décrites) sont inféodées au sol. On entend par organismes du sol, tous les organismes vivants partiellement ou totalement à l'intérieur du sol ou à la surface du sol (litière, bois en décomposition, bouses...). Presque tous les embranchements du vivant sont représentés, à l'exception des groupes typiquement marins comme les méduses et les échinodermes (oursins et étoiles de mer). Dans le sol, on trouve de très nombreuses espèces de bactéries et d'archées, de vers (nématodes ou

annélides), de mollusques, d'insectes, de myriapodes, d'arachnides, de vertébrés, sans oublier les champignons et les racines de plantes.

Les sols abritent en abondance une grande diversité d'organismes

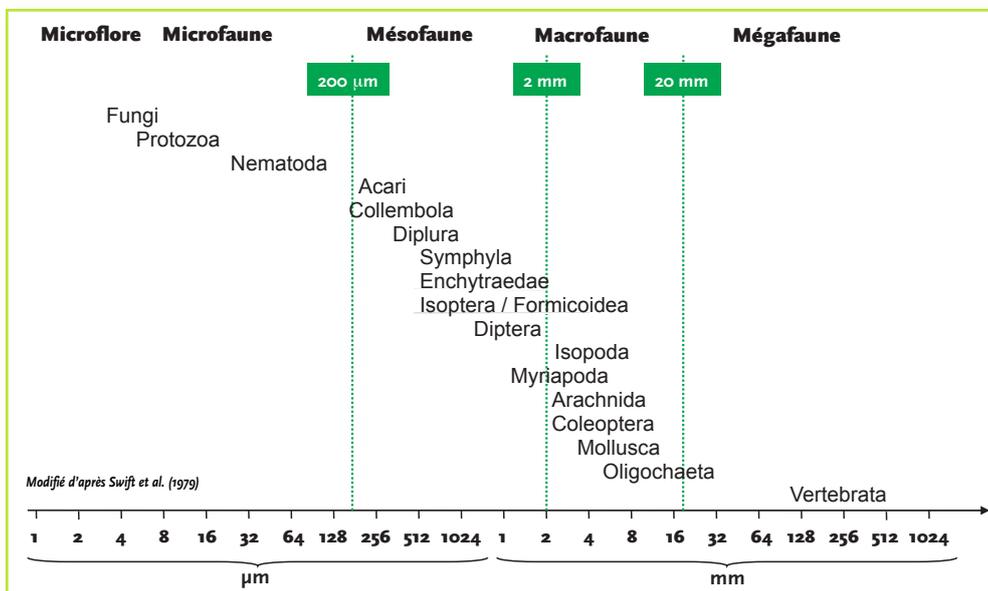
Tous ces organismes n'ont pas la même taille et il est courant de les classer selon ce critère (voir encart). Ils peuvent être extrêmement abondants. Dans l'équivalent d'une cuillère à café de sol, on peut trouver plusieurs milliers d'espèces de bactéries, plusieurs millions d'individus et plusieurs mètres de mycélium fongique, mais aussi des milliers de protozoaires et des cen-

taines de nématodes. En terme de poids (biomasse), les microorganismes dominent les peuplements puisque les biomasses dépassent régulièrement 1 à 2 t/ha; les protozoaires peuvent atteindre 700 kg/ha et les lombriciens présentent des biomasses généralement proches de 1 t/ha (exceptionnellement jusqu'à 4 t/ha).

Ces extraordinaires biodiversité, abondance et biomasse rencontrées dans les sols proviennent principalement, d'une part de la grande richesse en ressources et en énergie (les sols sont les milieux où les diverses formes de matière or-

Classés par taille

- **Microorganismes** : bactéries et archées, champignons et parfois aussi protozoaires (organismes unicellulaires)
- **Microfaune** : animaux pluricellulaires microscopiques tels que les nématodes mesurant quelques microns
- **Mésafaune** : organismes dont la taille est comprise entre quelques centaines de microns et 2 millimètres comme les acariens et les collemboles
- **Macrofaune** : animaux facilement visibles à l'œil nu comme les vers de terre
- **Mégafaune (dans certaines classifications)** : animaux de très grande taille comme certains vertébrés





Acariens et collemboles.

ganiques sont recyclées) et, d'autre part de la nature même du sol qui permet une grande variété de niches (microporosité, macroporosité, dans ou à la surface des agrégats) et l'existence de gradients sur de très courtes ou plus grandes distances (zones appauvries ou enrichies en oxygène ou en eau, variabilité du pH ou des concentrations en matière organique, etc.).

Les organismes telluriques ont des rôles fonctionnels variés et complémentaires

Schématiquement, le fonctionnement d'un sol repose sur trois principaux groupes d'organismes : des organismes responsables des modifications chimiques de la matière (principalement des microorganismes décomposeurs, bactéries et champignons), des organismes responsables des modifications physiques du milieu (principalement les macroinvertébrés et les racines) et les prédateurs ou parasites d'autres organismes du sol (protozoaires et nématodes). Les classifications les plus récentes parlent respectivement d'ingénieurs chimiques, d'ingénieurs physiques et de régulateurs biologiques.

Les microorganismes agissent sur la dynamique et le recyclage de la matière et des nutriments. Certaines bactéries libres ou associées aux racines de certaines plantes ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique. Les bactéries et les champignons ont des capacités variées à minéraliser la (les) matière(s) organique(s) et libérer ainsi des éléments minéraux qui pourront être utilisés par les plantes ou partir vers l'atmosphère (N₂, N₂O, CH₄) ou dans les eaux de drainage (NO₃). Certains champignons ont développé des associations très fortes avec des racines : les mycorhizes, qui facilitent le développement des

plantes en les aidant à acquérir leurs nutriments. C'est pourquoi la plupart des plantes sont mycorhizées. Les invertébrés de la macrofaune peuvent être saprophages, phytophages, carnivores ou géophages. Les activités de fouissement et de consommation des macro-invertébrés (et des racines) ont des conséquences importantes sur la structuration du sol et l'incorporation de matière organique dans le sol. Cette biostructuration (ou bioturbation) est à l'origine d'une forte hétérogénéité spatiale du sol avec des zones appauvries ou enrichies en matière organique, et donc des zones où les activités microbiennes sont soit stimulées soit inhibées. Les acariens et collembolans ont également des régimes trophiques variés même si l'essentiel des espèces sont saprophages (ou détritivores) ; ils consomment la matière organique en décomposition et sont très abondants dans les litières.

Les nématodes et protozoaires ont développé des régimes trophiques très variés : ils peuvent consommer des racines (pour les nématodes), des bactéries, des champignons ou être carnivores.

2 Téléchargeable en langue française sur <http://www.millenniumassessment.org/fr/index.aspx>

Préserver les organismes du sol, principaux fournisseurs de services rendus par les écosystèmes

L'ensemble des fonctions réalisées par cette grande diversité d'organismes (ce que l'on appelle le fonctionnement biologique des sols) assurent le fonctionnement des écosystèmes et les services rendus par ces écosystèmes à l'humanité. Pendant 5 ans, sous l'impulsion de l'ONU, des scientifiques et politiques du monde entier ont évalué l'état des écosystèmes de la Planète. Le rapport rendu en 2005² reconnaît que les écosystèmes rendent des services à l'humanité et qu'il faut donc les protéger. Ces services se répartissent en :

- **services de support** sans lesquels les autres services ne pourraient être réalisés (recyclage des nutriments, production primaire, formation des sols, recyclage de l'eau),
- **services d'approvisionnement** (en nourriture, eau douce, fibres et bois, ressources génétiques ou pharmaceutiques),
- **services de régulation** (de l'eau, du climat, de l'air, des maladies et bioagresseurs, de l'érosion)
- **et services culturels** (esthétiques, éducatifs, récréatifs).



Fourmi (*Camponotus vagus*).

Agriser

continuity

herse rotative Yetter,
la seule sur le marché qui permet le désherbage mécanique

Importateur officiel
AerWay, Buffalo, Yetter

AGRISER continuity
chemin Bruchweg
67170 Kriegsheim
Tél : +33(0) 388 640 661
Fax : +33(0) 388 684 826
Net : www.agriser.com
E-mail : info@agriser.com



Qualité des services rendus : pas qu'une question de nombre d'individus

Le cas des vers de terre

Il faut bien garder aussi à l'esprit que les espèces d'un même groupe taxonomique n'ont pas forcément les mêmes fonctions. Des confusions sont par exemple fréquentes concernant le rôle des vers de terre. Les scientifiques regroupent les vers de terre en trois catégories écologiques : épigés, anéciques et endogés. Les épigés sont des petits vers de terre très colorés vivant à la surface du sol et se nourrissant de litière. Les anéciques sont des vers de grande taille qui vivent dans des galeries qu'ils construisent dans le sol et consomment la litière de surface qu'ils mélangent avec le sol. Enfin, les endogés sont des vers de taille variable, généralement non pigmentés (ils paraissent généralement roses) qui vivent dans le sol et s'en nourrissent, assimilant une partie de la matière organique (fraîche ou humifiée) qui y est incluse. Cette classification permet de voir que seuls les anéciques ont une importance notable sur l'incorporation au sol de matière organique. La bioturbation du sol est assurée par les anéciques et les endogés mais là encore avec des différences notoires. Les anéciques creusent des galeries dans lesquels ils vivent ; leur action sur la structure du sol est donc spatialement limitée à l'ouverture d'une macroporosité qui joue un rôle important sur l'écoulement de l'eau. Les endogés se déplacent sans arrêt dans le sol à la recherche de nourriture ou de conditions favorables. Ils consomment de très grandes quantités de terre et régulent de façon importante l'agrégation et la porosité du sol. Par conséquent, la qualité d'un sol ne peut donc se résumer à un seul nombre de vers de terre, encore faut-il que chacune des catégories écologiques soit représentée.

Les activités réalisées par les organismes du sol assurent la majeure partie de ces services. C'est pourquoi la biodiversité du sol est si importante pour la préservation de la vie sur Terre.

Pourtant, les efforts de conservation de la biodiversité portent majoritairement sur les espèces épigées (oiseaux, araignées, etc.). Les animaux du sol « à protéger » ne représentent que 1 % des espèces « à protéger » (alors que rappelons-le les organismes du sol comptent pour 25 % de l'ensemble des espèces décrites). Seules huit espèces du sol sont déclarées « en danger » : trois scorpions, quatre araignées et un scarabée.

Les menaces qui pèsent sur la biodiversité (notamment celle du sol) sont bien connues : le changement climatique (sécheresses, feux, tornades, etc.) et les invasions biologiques s'ajoutant aux multiples et plus directes, modifications humaines (urbanisation, pratiques

agricoles, fragmentation de l'habitat, etc.). Ces perturbations altèrent l'habitat de ces organismes et, par conséquent, le fonctionnement des écosystèmes. Les écologues soulignent fréquemment qu'une faible perturbation peu favoriser la biodiversité (en l'absence de perturbation, l'exclusion compétitive favorise les espèces dominantes) ; en cas de perturbation forte, seules les espèces tolérantes subsistent. De plus, une même perturbation peut entraîner des effets variables sur les organismes et le fonctionnement des écosystèmes. Il est par conséquent très difficile de prévoir les effets d'une perturbation sur la biodiversité et le fonctionnement biologique d'un sol.

De nombreuses espèces assurent des fonctions proches ou identiques

La conservation de la biodiversité du sol est justifiée principalement par les services et fonctions qu'elle rend. Ceci ne signifie par pour au-



**COOPÉRATIVE
spécialisée en
céréales biologiques**

- *Collecte de céréales-oléoprotéagineux et de légumineuses*
- *Multiplicateur et distributeur de semences biologiques*

SEMENCES 2010-2011

Avoine

GERALD

Blé tendre

ATTLASS
CHEVALIER
LUKULLUS
MAYEN
PACTOLE
PIRENEO
RENAN
SATURNUS
SPECIFIK(P)
TRISO (P)

Lentilles vertes

ANICIA

Seigle

CAROASS
CAROTOP

Epeautre

ALKOR
COSMOS
RESSAC

Féverole

DIVA
DIVINE (P)
GLADICE
IRÉNA
LADY (P)
MELODIE (P)
MISTRAL (P)

Orge

ALINGHI
HIMALAYA
PRESTIGE (P)
SCARLETT (P)
SEBASTIAN
(P)
VANESSA

Triticale

BIENVENU
GRANDVAL
INTEGRAL
TREMPLIN

P= variétés de printemps

BIOCER – 240 chemin de la forêt - 27180 Le Plessis-Grohan
Tél : 02.32.67.81.31 - Fax : 02.32.67.78.75
www.biocer.fr



B. Sauphanor INRA

Forficule.

tant qu'un plus grand nombre d'espèces permettra d'assurer plus de services car beaucoup d'espèces assurent des fonctions très proches, voire identiques (ce qu'on nomme la redondance fonctionnelle). Différentes théories scientifiques concernent cette redondance fonctionnelle.

La première propose que seules certaines fonctions montrent de la redondance (beaucoup d'espèces participent à la décomposition de la matière organique, très peu d'espèces participent à la nitrification - transformation des nitrites en nitrates - ou à la dégradation d'un composé toxique).

Une autre théorie décrit la redondance comme dépendant du contexte (deux bactéries ayant la même fonction peuvent être actives dans des conditions différentes du milieu ou à des périodes différentes). Enfin, une troisième théorie rend compte de la multifonctionnalité de certaines espèces (les champignons actifs dans les processus de transformation et de décomposition affectent également la structure du sol).

Quelques ouvrages sur le sol

RÉFÉRENTIEL PÉDOLOGIQUE 2008

Editions Quae - Association française pour l'étude du sol - Coordination éditoriale de Denis Baize, Michel-Claude Girard - Prix : 45,00 €

Le référentiel pédologique est une typologie détaillée des sols de notre territoire, de l'Europe, de l'Afrique et des autres continents. Entièrement remanié, ce nouveau millésime du Référentiel pédologique s'est enrichi de trois nouveaux chapitres traitant de solums des zones intertropicales

et de leurs horizons de référence spécifiques, ainsi que de deux outils inédits : une clé d'accès rapide aux différents chapitres et une annexe des correspondances possibles entre les références du Référentiel pédologique et les catégories de la World reference Base for soil resources.

À l'épreuve du terrain depuis plus de quinze ans, le référentiel pédologique est désormais incontournable. Accessible aux non spécialistes qui maîtrisent le vocabulaire de base de la pédologie, il est indispensable à tous ceux qui doivent prendre en compte la diversité des sols.



LE SOL

Editions Quae - Directeurs éditoriaux : Pierre Stengel, Laurent Bruckler, Jérôme Balesdent - Prix : 27,00 €

Fragile, menacé, le sol joue de tout temps, et aujourd'hui plus que jamais, un rôle déterminant : produire les aliments, réguler le cycle et la qualité de l'eau, accumuler du carbone et limiter l'effet de serre, recycler les matières organiques, entretenir la biodiversité, fournir des matériaux pour la construction et

l'industrie, participer à la valeur esthétique des paysages... Synthèse des connaissances actuelles sur le sujet, ce livre aborde la nature et la constitution des sols, leurs fonctionnements écologiques et leur gestion. Pédagogique, richement illustré de schémas et de photographies, il est accessible à un large public.



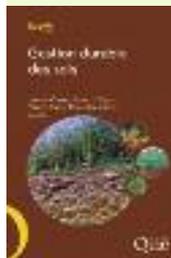
GESTION DURABLE DES SOLS

Editions Quae - Coordination éditoriale : Laëtizia Citeau, Antonio Bispo, Marion Bardy, Dominique King - Prix : 45,00 €

La dégradation du sol a une incidence non négligeable sur l'air et l'eau mais également sur notre santé. Conscient de la pression croissante exercée par l'homme sur les sols, le ministère en charge de l'Environnement a mis en place, depuis 1998, un programme de recherche sur la gestion du patrimoine sol (Gessol). Cet ouvrage synthétise les premiers

résultats obtenus par les équipes ayant participé à ce programme. Il fournit ainsi de nouvelles connaissances sur les différents types de dégradation constatés : érosion, tassement, contamination, perte de matière organique et de biodiversité. Il propose également des méthodes alternatives de gestion des sols destinées à préserver durablement leurs fonctions environnementales. Ce texte s'adresse tant aux spécialistes du domaine qu'aux enseignants, décisionnaires et gestionnaires de la ressource en sols.

En partenariat avec l'Ademe.



IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES TECHNIQUES CULTURALES SANS LABOUR EN FRANCE

Editions ARVALIS - Institut du végétal - Prix : 15€

Cet ouvrage propose une synthèse de l'étude réalisée sous l'égide de l'ADEME, par ARVALIS et ses partenaires (INRA, réseau des chambres d'agriculture, AREA, ITB, CETIOM, IFVV) entre 2005 et 2007. Il fait le point et dresse un état complet des connaissances scientifiques actuelles sur le

sujet, applicables aux conditions françaises. Il rassemble l'intégralité des articles publiés sur ce sujet par le magazine Perspectives Agricoles entre les mois de février 2008 et janvier 2009.



POUR EN SAVOIR PLUS

• European Commission DG ENV (2010) Soil biodiversity : functions, threats and tools for policy makers. Rapport final. Bio Intelligence Service, Paris.

• Decaëns T. (2010) Macroecological patterns in soil communities. Global Ecology and Biogeography, 19 : 287-302.

• Sol et Biodiversité. Site internet Sagascience : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapC_p5

Biodiversité des sols. Site de la FAO : <http://www.fao.org/biodiversity/ecosystems/bio-soils/fr/>

Les racines au cœur du fonctionnement de la rhizosphère

Des connaissances pointues issues de la recherche aux applications possibles en AB

Par Philippe Hinsinger (Montpellier SUPAGRO - CIRAD - INRA - IRD¹)

¹ UMR 1222 Eco&Sols - Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agro-écosystèmes (Montpellier SUPAGRO - CIRAD - INRA - IRD)



Racine ligneuse d'une Myrtacée (eucalyptus, arbre endémique d'Australie) dans l'horizon profond (environ 4 m sous la surface) d'un sol sableux (Jandakot, Australie Occidentale), montrant très distinctement un changement de coloration autour de la racine, lié à une réprécipitation d'oxydes de fer dans la rhizosphère. Il est rare de pouvoir distinguer morphologiquement un effet rhizosphère comme celui-ci sur le terrain. Echelle : diamètre de la racine environ 1 cm.

P. Hinsinger

Les connaissances sur la rhizosphère, volume de sol situé autour des racines vivantes et interagissant avec elles, se précisent : nombre de processus rhizosphériques susceptibles de réguler les cycles biogéochimiques du carbone (C) et des nutriments, la structure des communautés microbiennes dans les sols et, in fine, la nutrition et la santé des plantes, sont désormais identifiés. Les connaissances quant à la variabilité spatiale et plus encore temporelle de ces processus sont cependant encore fragmentaires, de même que la hiérarchie de ces processus dans différents types de sols et pour différentes espèces végétales ou consortia microbiens. Elles ouvrent cependant de multiples pistes pour la gestion des agro-écosystèmes en AB.

Glossaire

- 1. Rhizodéposition** : libération par les racines de composés organiques divers. Ce phénomène recouvre la production de cellules de la coiffe racinaire, la sécrétion de mucilage et la diffusion passive et contrôlée de composés solubles appelés exsudats racinaires (sucres, acides aminés et organiques, etc.).
- 2. Phytosidérophore** : composé organique produit par les végétaux de la famille des Poacées (graminées) et susceptible de chélater le fer en le rendant ainsi plus biodisponible. Ces composés sont des acides aminés de la famille de l'acide muginéique.
- 3. Sidérophore** : composé organique produit par les microorganismes et susceptible de chélater le fer en le rendant ainsi plus biodisponible. Ces composés appartiennent à diverses familles biochimiques, parmi lesquelles figurent les catécholates, hydroxamates, etc.
- 4. Elicitation** : activation d'un processus de défense dans les interactions plante-agresseur, suite à la reconnaissance d'un composé éliciteur lié à l'agresseur (produit par l'agresseur ou résultant de l'agression).

Le concept de rhizosphère a été développé par le microbiologiste visionnaire Hiltner qui perçut dès 1904 que ce volume de sol jouait un rôle singulier dans la régulation de la santé et de la nutrition des plantes, en lien avec la nature des exsudats racinaires. Depuis, nombre de travaux centrés sur l'étude des symbioses, et plus généralement en écologie microbienne des sols, sont venus corroborer cette vision. De multiples avancées ont été accomplies au cours des dernières décennies, notamment grâce au développement des outils moléculaires, mais aussi d'imagerie et d'analyses permettant de mesurer de multiples paramètres à l'échelle microscopique de l'interface entre sol et racines.

La rhizosphère, un milieu enrichi en matières organiques par les racines

Un processus majeur dans la rhizosphère consiste en la rhizodéposition de composés carbonés par les racines. Il est estimé que 40 % du C assimilé par les plantes au cours de la photosynthèse est alloué au compartiment souterrain, avec des variations importantes suivant les espèces végétales et leur environnement. Un tiers de ce C permet l'élaboration de la biomasse racinaire, un second tiers est respiré par les racines, alors qu'un dernier tiers correspond à la rhizodéposition¹ qui constitue une source d'énergie essentielle pour les microorganismes du sol. Les activités et les structures des communautés mi-



P. Hinsinger

Racines d'une Fabacée (féverole, légumineuse à graine) dans l'horizon superficiel d'un sol (essai INRA Toulouse-Auzeville), montrant très distinctement (i) des nodosités colorées en rose, signe du bon fonctionnement de la fixation symbiotique de l'azote, et (ii) des poils racinaires qui jouent un rôle manifeste dans l'agrégation de petites particules de sol. Il n'est pas possible visuellement de distinguer la rhizosphère du reste du sol X Echelle : diamètre des racines principales environ 1 mm.

robiennes de la rhizosphère sont ainsi considérablement affectées par rapport au reste du sol. Le sol est en effet un milieu contraignant par les faibles disponibilité et accessibilité des ressources, notamment en C. Ainsi, les points d'entrée de matières organiques fraîches que sont les racines et leurs rhizodépôts (notamment les exsudats racinaires) jouent un rôle majeur en écologie microbienne des sols, en stimulant les activités microbiennes et l'ensemble des chaînes trophiques qui en découlent. Par ailleurs, ce processus qui a lieu notamment à l'apex des racines, contribue à injecter des composés carbonés sur l'ensemble du profil de sol colonisé par les racines. Ce processus ne concerne pas seulement le cycle biogéochimique de C puisque les rhizodépôts peuvent contenir des nutriments (azote (N)) ou stimuler la minéralisation de matières organiques du sol et des nutriments (N ou phosphore (P)). La rhizodéposition est un processus pour lequel il manque encore de données quantitatives compte tenu de la difficulté de l'estimer au champ. Il existe de multiples facteurs génétiques et environnementaux de régulation de la rhizodéposition, qui compliquent la prédiction des flux mis en jeu effectivement dans les agro-

écosystèmes et leur contribution à la séquestration de C dans les sols.

Rhizosphère et nutrition des plantes

● **L'absorption d'eau et de nutriments par les racines est le moteur des flux de matière dans la rhizosphère.** Il en résulte un abaissement de la concentration des ions nutritifs (nitrate, ammonium, phosphate, potassium (K)...). Ce phénomène contribue à rendre biodisponibles des fractions supposées non ou peu disponibles telles que le K non échangeable. Ce processus qui se produit à l'échelle millimétrique autour des racines explique la contribution majeure que peut représenter la libération de K non échangeable dans le cycle du K dans les agro-écosystèmes, comme l'ont montré de nombreux essais agronomiques de longue durée. L'abaissement de concentration dans la rhizosphère engendre par ailleurs la diffusion des ions vers la surface des racines. Pour les ions les moins diffusibles tels que le phosphate ou la plupart des micronutriments, la portée de ce processus de diffusion est limitée: dans le cas de P, il s'avère que seuls les ions situés à une distance inférieure à environ 1 mm de la surface des racines sont accessibles. Le volume de la zone d'appauvrissement en ions phosphate d'une plante peut ainsi ne représenter qu'une fraction de l'ordre du pourcent de l'horizon cultivé, d'où l'importance pour les plantes d'augmenter leur surface d'absorption, via la croissance et le développement de racines fines, de poils racinaires et la symbiose mycorhizienne. Cependant, outre ce processus d'abaissement de la concentration en ions, la disponibilité des nutriments peut à l'inverse être augmentée dans la rhizosphère par de multiples processus mettant en jeu les activités des racines et/ou les communautés microbiennes du sol.

● **La modification du pH de la rhizosphère est un processus majeur à ce titre, compte tenu de l'implication du pH dans de nombreuses réactions chimiques et fonctions biologiques.** Elle a pour principale cause l'absorption des nutriments par les plantes: lorsqu'une racine

absorbe plus de cations (K, ammonium, calcium, magnésium) que d'anions (nitrate, phosphate, sulfate, chlorure), elle gère l'excédent de charges positives en excréant des protons dans son environnement, entraînant ainsi une acidification de la rhizosphère. Le processus inverse se produit lorsqu'elle absorbe plus d'anions que de cations. Par ailleurs, la respiration racinaire et microbienne conduit à une augmentation de la pression partielle de CO₂ et à une diminution du pH lorsque la dissociation de l'acide carbonique est significative (dans tous les sols excepté les plus acides). Dans la rhizosphère, les variations de pH peuvent atteindre jusqu'à 2 unités pH en quelques jours à peine. De telles variations de pH modifient les réactions chimiques qui régissent la biodisponibilité de nombreux nutriments dans le sol, particulièrement P, fer (Fe), zinc (Zn) et cuivre. A titre d'exemple, l'acidification de la rhizosphère peut permettre une augmentation de la disponibilité de P lorsqu'il est présent sous la forme de phosphates de calcium tels que dans les phosphates naturels (cf. Encadré 1).

● **La production par les racines et les microorganismes associés de molécules organiques visant à augmenter la biodisponibilité de nutriments est un autre trait majeur de la biogéochimie de la rhizosphère.** Parmi ces molécules figurent des enzymes (protéases, phosphatases...) impliquées dans la minéralisation de composés organiques aboutissant in fine à la libération de nutriments tels que N ou P. Une large part de ces enzymes a une origine microbienne, de sorte que la stimulation des activités microbiennes par la rhizodéposition joue un rôle indirect, mais les racines produisent également de telles enzymes. Par ailleurs, des molécules jouant un rôle de complexant ou chélatant de Fe et Zn peuvent être produites dans la rhizosphère, et contribuer ainsi à une augmentation de la biodisponibilité de ces micronutriments. Les Poacées (graminées) ont ainsi la capacité singulière de sécréter des quantités importantes de phytosidérophores²

qui expliquent leur aptitude à l'acquisition de Fe (et Zn) dans les sols où sa disponibilité est faible, ce qui contribue à leur faible sensibilité à la chlorose ferrique en sols calcaires. De nombreux microorganismes produisent des sidérophores qui ont de plus ou moins fortes capacités de chélater Fe et le rendre ainsi plus biodisponible. Ce processus s'est avéré jouer un rôle important dans la régulation des interactions entre microorganismes au sein des communautés microbiennes de la rhizosphère, avec des retombées sur la santé des plantes.

Rhizosphère et santé des plantes

En libérant massivement des rhizodépôts dans le sol, les racines sont susceptibles d'attirer à la fois des microorganismes bénéfiques et pathogènes. Des travaux récents ont montré la complexité des processus régulant ces équilibres au sein des communautés rhizosphériques, qui passent par l'échange de signaux moléculaires. Ainsi, la production

d'antibiotiques par des bactéries rhizosphériques du genre *Pseudomonas* peut être responsable d'un antagonisme efficace pour réduire les populations de champignons pathogènes du genre *Pythium*, avec des applications potentielles évidentes en lutte biologique contre des maladies telluriques. Le rôle des sidérophores dans les antagonismes entre bactéries et champignons pathogènes de la rhizosphère a pu être démontré dans le cas de maladies telles que la fusariose. Outre ces mécanismes de dialogue moléculaire au sein des communautés microbiennes, des travaux récents ont montré des échanges de signaux entre celles-ci et les plantes; par exemple, l'élicitation de réactions de défense de la plante à l'attaque de microorganismes pathogènes peut en résulter. Certains signaux moléculaires sont des substances volatiles qui ont des impacts à longue distance: il a ainsi été montré que certains génotypes de maïs, en réponse à l'attaque de larves d'insectes parasites de leurs racines, pouvaient

Les légumineuses - synergie entre acquisition d'azote et de phosphore

Un double atout :

Dans un contexte de réduction des intrants fertilisants, la place des Fabacées (légumineuses) en agriculture mérite d'être augmentée à plusieurs titres : en raison de (i) leur aptitude à accéder au réservoir inépuisable d'azote que constitue N₂ atmosphérique, via la fixation symbiotique réalisée par les partenaires bactériens (rhizobium), (ii) l'acidification provoquée par la fixation de N₂, qui augmente la biodisponibilité de formes peu disponibles de P, telles que les phosphates de calcium. Il a été montré une large variabilité génotypique quant à l'aptitude à acidifier la rhizosphère en situation de disponibilité limitante de P chez le haricot et diverses autres espèces.

émettre des molécules attirant des nématodes entomophages situés à plusieurs centimètres des racines, résultant en une réduction de la pression parasitaire.

Des pistes pour la sélection des plantes ou la gestion des peuplements végétaux...

En AB, l'enjeu est d'assurer une gestion durable des ressources minérales, organiques et biologiques des sols en tirant parti de la complexité des réseaux d'acteurs et des processus écologiques qui régulent les flux d'éléments et la biodiversité dans la rhizosphère et au-delà. Parmi ces pistes, les racines étant au cœur du fonctionnement de la rhizosphère, il semble utile de jouer davantage sur ce levier d'action considérable qu'est la plante. Les modalités de la sélection variétale des dernières décennies ont sans doute conduit à contre-sélectionner des traits racinaires intéressants dans le contexte de l'AB. Notre connaissance actuelle de la rhizosphère ouvre des perspectives nouvelles pour la sélection de génotypes mieux adaptés à une agriculture à bas intrants. En outre, mieux exploiter la diversité fonctionnelle caractérisant les peuplements végétaux naturels, dans le cadre de cultures associées ou de l'agroforesterie, devrait permettre l'expression d'interactions positives entre les rhizosphères des espèces associées, qualifiées de facilitation, à l'inverse des processus de compétition qui régissent les peuplements monospécifiques mono-variétaux qui dominent l'agriculture « moderne ».

BIBLIOGRAPHIE

- Dessaux Y., Hinsinger P. & Lemanceau P. (2010) Rhizosphere – Achievements and Challenges, Springer 535pp.
- Hinsinger P., Brauman A., Bernard L., Chotte J.L., Drevon J.J., Gérard F., Jaillard B., Le Cadre E., Plassard C. & Villenave C. (2008) Le sol autour des racines, la rhizosphère, interface vivant/minéral. In : Le Sol (P. Stengel, L. Bruckler & J. Balesdent Eds.), Quae, France, pp. 62-67.
- Hinsinger P., Bengough A.G., Vetterlein D., Young I.M. (2009) Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. Plant and Soil 321, 117-152.
- Hinsinger P., Schneider A. & Dufey J.E. (2005) Le sol, ressource en nutriments et biodisponibilité. In : Sols et Environnement (MC Girard, C Walter, JC Rémy, J Berthelin & J.L. Morel Eds.), Dunod, France, pp. 285-305.
- Jaillard B., Brunel B. & Mousain D. (2005) La rhizosphère, interface entre le sol et la plante. In : Sols et Environnement (MC Girard, C Walter, JC Rémy, J Berthelin & J.L. Morel Eds.), Dunod, France, pp. 306-325.
- Lemanceau P., Le Roux X. & Martin F. (2008) L'écologie microbienne du sol. Vers une approche intégrée. In : Le Sol (P. Stengel, L. Bruckler & J. Balesdent Eds.), Quae, France, pp. 68-73.
- Lemanceau P., Steinberg C. & Alabouvette C. (2008) Santé des plantes et microflore du sol. In : Le Sol (P. Stengel, L. Bruckler & J. Balesdent Eds.), Quae, France, pp. 68-73.
- Mure J.P. (2005) La symbiose mycorhizienne : une association bénéfique entre plantes cultivées et champignons du sol. Alter Agri 69, 25-28.



Journées sol du CEB

Le sol, un milieu structuré et vivant

Par Eddy Montignie (CEB)

Les 27 et 28 janvier derniers, le Centre d'Essais Biologique (CEB-Belgique), en partenariat avec le CRA-W, le laboratoire de Géopédologie de Gembloux Agro Bio Tech (Ulg), le projet Interreg IV Transbiofruit et la D_{GARNE}, organisait à Gembloux un séminaire sur le sol. 130 personnes ont assisté à la présentation d'approches complémentaires : diagnostic de Gérard Ducerf grâce à la méthode des plantes bio-indicatrices, approche du sol d'Yves Hérody via sa méthode bien connue, dynamique des sols... La seconde journée était consacrée aux applications sur le terrain des méthodes et principes présentés la veille.



CEB



CEB

Diagnostic de sol avec les plantes bio-indicatrices

Gérard Ducerf n'a malheureusement pas pu intervenir mais son diagnostic de sol via les plantes bio-indicatrices a été présenté par Eddy Montignies qui l'applique assez régulièrement sur des parcelles agricoles et la met souvent en parallèle avec l'approche Hérody. Après un rappel théorique des bases de cette méthode, quelques cas concrets ont été analysés montrant la pertinence de cet outil comme indicateur de terrain. Cette méthode peut être considérée comme une méthode « parapluie ». Les plantes, en poussant à un endroit et à un moment donné, fournissent des indications sur le sol. Même si notre raisonnement anthropocentrique ne parvient pas à tout interpréter, les relevés effectués pourront toujours servir plus tard ou tout simplement attirer notre attention sur un aspect passé inaperçu à la lumière de nos techniques d'analyse. Avant de conclure, Eddy Montignies a insisté sur la nécessité de définir un lexique des termes couram-

ment utilisés dans les différentes approches. Par exemple, quelle est la réelle signification de « humus stable » et « humus archaïque » ? Il faut rester très vigilant, faute de quoi, des incompréhensions pourraient survenir dans les conseils transmis aux producteurs.

Principes fondamentaux du fonctionnement des sols revus par Yves Hérody

Yves Hérody a pris le relais en rappelant les principes fondamentaux du fonctionnement dynamique des sols, revus et éclairés de façon très pragmatique. La méthode BRDA-Hérody, même si elle repose sur les fondamentaux de l'agronomie, est en constante évolution. Elle s'adapte en fonction du terrain qui prime toujours sur le laboratoire. Le thème de la fertilisation a été largement abordé : fertiliser la terre, pas la culture... une différence de taille ! Le fumier assaini ou compost jeune semble constituer une valeur sûre dans beaucoup de cas.

Retenons aussi quelques notions intéressantes et souvent peu connues du public :

- coefficient de fixation des particules minérales actives (limons et argiles) ;
- saturation du complexe en bases échangeables pour justifier d'éventuels chaulages ;
- stabilité des agrégats ;
- distinction entre plusieurs formes de matière organique (MO fugitive, 3^e fraction, Humus stable et MO ni minéralisée, ni humifiée). Toutes ces formes donnent de précieuses indications sur la

dynamique de transformation de la MO dans le sol ;

- dosage du fer amorphe et de liaison, qui intervient dans la formation du complexe organo-minéral.

Dynamique des sols

Alain Lecat, de la Chambre d'Agriculture du Nord, avait choisi d'expliquer la dynamique des sols au travers des différentes formes de matière organique. Il a mis en place et suit un ensemble de fermes de références en grandes cultures. Il utilise l'approche BRDA-Hérody et les résultats de plusieurs années de suivi ont été discutés. Même si les conclusions n'étaient pas toujours nettes, il ressort que la distinction entre les formes de matières organiques (entre autres) est d'une grande importance pour comprendre la dynamique de fonctionnement des sols.

Application sur le terrain du savoir reçu

Les 60 participants ont pu se rendre compte de l'importance des observations de terrain. Ce sont ces observations qui guident le diagnostic final que les résultats de laboratoire viennent renforcer, confirmer ou préciser.

Des profils dans un champ de céréales, un verger et une serre ont été commentés par les différents intervenants (Yves Hérody, Laurent Bock, Pierre Demarcin, Valérie Genot, Eddy Montignies, ainsi que les différents producteurs qui nous accueillent).

Diagnostic de sol : une approche de terrain pour répondre à des questions de terrain

Interview de Eddy Montignies, coordinateur technique du Centre d'Essais Bio (CEB) en Wallonie (Belgique), qui réalise des diagnostics de sol avec la méthode Hérody à la demande d'agriculteurs mais aussi dans le cadre d'essais, seul ou avec d'autres institutions partenaires.



● **Le CEB intègre depuis peu des diagnostics de sol selon la méthode BRDA-Hérody dans ses différents travaux. Pourquoi cette méthode ?**

Nous avons choisi cette méthode pour diverses raisons :

- Il s'agit d'une approche globale qui postule que le sol n'est pas qu'un ensemble de composés biochimiques mais que l'organisation et la dynamique de fonctionnement de ceux-ci sont aussi très importants à comprendre (le sol est un milieu vivant, un organisme).
- La logique suivie en agriculture biologique est plutôt de type « optimisation ». Il faut travailler en tenant compte de l'hétérogénéité des milieux et des hommes et en tentant de lever les facteurs limitants un à un.
- L'agriculteur souhaite des conseils très personnalisés. Or, cette approche correspond bien à cette demande car le diagnostic final est établi en tenant compte de ses pratiques mais aussi du type de matériel ou des matières orga-

niques qu'il utilise sur ses parcelles.

- Enfin, lorsqu'un essai (quel qu'il soit) est mis en place, il me semble primordial de tenir compte des facteurs inhérents à la station pour pouvoir traiter les résultats de manière objective. Evitons les essais hors sol (par exemple, ne pas incriminer les performances d'une variété alors que c'est le sol qui comporte des facteurs limitants) et développons une politique de synergie avec l'agriculteur : c'est du gagnant – gagnant. Même si c'est parfois un peu moins rigoureux ou plus aléatoire, les résultats correspondent mieux à ce qui se passe dans les fermes

● **Quels sont les éventuels freins à l'application de cette méthode ?**

Le petit bémol parfois soulevé par certains est que cette démarche est assez longue, ce qui justifie un prix plus élevé et demande un investissement en temps important de la part du conseiller.

Le CEB bénéficie de financements (Direction Générale de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement, projets INTERREG VETABIO et TRANSBIOFRUIT) qui prennent en charge un certain nombre d'analyses.

● **A quelles difficultés ou limites êtes vous confronté lors de la réalisation d'un diagnostic avec cette méthode ?**

Pour être à l'aise avec cette approche, il faut en faire beaucoup afin de rencontrer un maximum de situations et créer ainsi son propre référentiel régional.

Les concepts sur lesquels repose la méthode ne sont pas neufs, il s'agit des fondements de l'agronomie, mais ils sont éclairés d'une façon peu habituelle pour la plupart des agronomes. Il faut apprendre à considérer le tout et non la partie... On se retrouve donc parfois avec de grands moments de solitude devant un profil de sol ! L'état actuel de mes connaissances est certainement perfectible. Ceci n'en demeure pas moins intéressant car cela montre qu'il est délicat d'approcher le sol sous un aspect vivant avec le bagage que nous avons reçu en tant qu'ingénieurs du vivant.

● **Combien coûte un diagnostic ?**

Lorsqu'il s'agit d'un bilan sur une ferme et en restant dans un secteur limité, il faut compter une demi journée pour l'approche de terrain, avec la possibilité de réaliser 3 ou 4 profils (environ 250 € HT) et environ 100 € de frais d'analyse par profil.

Attention, il est important de comprendre que le but n'est pas de faire un profil par parcelle, il s'agira avant tout de repérer les situations extrêmes.

● **Comment sont transmis les résultats à l'agriculteur ?**

Je restitue toujours les résultats à l'agriculteur en discutant et en parcourant le rapport avec lui. En terme de vulgarisation, c'est beaucoup plus intéressant, d'autant que certaines questions restées en suspens peuvent alors trouver une réponse.

ARCOUR

Négoce & Courtage
de produits biologiques
Jean Paul PASQUIER

Le marché des céréales biologiques en direct propose aux :

Éleveurs : Vrac ou big bag

Tourteaux de :
soja, colza, tournesol
Luzerne déshydratée
Céréales & protéagineux

**Producteurs et transformateurs
de grains et graines :**

Info des cours
Cotation & valorisation
des productions au jour le jour

La guillauderie F 86240 ITEUIL
Tél. 05 49 41 93 94 Fax 05 49 00 28 86

e-mail : jpp@arcour86.fr
Portable 06 12 33 79 93

Diagnostic des sols d'une ferme

CEB

Cette fiche présente un cas concret de diagnostic des sols d'une ferme située dans la région de Waremme (Belgique), réalisé par Eddy Montignies (CEB) avec la méthode Hérody. Ce diagnostic se base d'abord sur des observations et tests réalisés sur le terrain. Cette première étape essentielle est ensuite complétée par les résultats d'analyses de sol au laboratoire. Ce diagnostic en deux étapes permet de proposer des conseils sur les pratiques à développer pour favoriser le bon fonctionnement du sol.

Par Eddy Montignie (CEB)

La ferme se situe dans la région de Waremme, zone typique de la Hesbaye en moyenne Belgique (120-140 m d'altitude). Le relief y est mollement ondulé. Cette ferme se situe dans un contexte de grandes cultures comprenant des légumes de plein champ (carotte, haricot, pois). Le climat est humide et tempéré. La période de végétation (mai à juillet) est caractérisée par une température moyenne d'environ 15°C et les précipitations annuelles qui atteignent 800 mm sont réparties sur toute l'année. Les sols, développés sur un substrat de loess, sont des sols limono-argileux. Le diagnostic a été réalisé à l'automne 2009.

Première étape : sur le terrain

Après avoir observé le paysage environnant, je décide de réaliser deux sondages : le premier sur le plateau et l'autre en bas de pente, légèrement en retrait de l'exutoire des eaux¹. Seul le profil réalisé en haut de la parcelle est décrit ici.

Sur le plateau, la culture prévue pour la récolte de 2010 est le triticale (précédents froment en 2009 et betteraves sucrières en 2008). Des renseignements relatifs aux façons culturales pour ces différentes cultures sont aussi notés.

● Description du profil

Le protocole utilisé est très bien décrit dans le « guide pour la description de la fertilité des sols destiné aux agronomes et aux agriculteurs » de A. Delaunois².

¹ Exutoire : zone où l'eau se concentre avant de sortir du bloc cultivé

² Guide téléchargeable sur le site de la Chambre d'Agriculture du Tam.

Lors du diagnostic (octobre 2009), le sol est sec.

La paille a été broyée et un déchaumage a été réalisé à l'aide d'un Actisol. Les résidus sont nombreux en surface et un bon nombre d'éteules n'est pas en contact avec le sol. L'incorporation de la paille a été réalisée sur une profondeur de 7 à 10 centimètres.

Les racines de céréales qui se trouvent sous l'horizon travaillé explorent bien toute la couche de sol comprise entre 10 et 30 centimètres. Une fois arrivées à cette profondeur, elles forment une «perruque». Une accumulation de matière organique est observée à ce niveau : il s'agit de feuilles de betteraves non décomposées. Celles-ci reposent sur une semelle de labour bien marquée. Des « descentes de particules fines et lavées » sont observées : elles s'accumulent à certains endroits. Une nette différence de coloration (du

brun à l'orange) est observable sous la semelle de labour. Les racines la franchissent mal et très peu explorent les couches plus profondes alors que vers 40 centimètres de profondeur, le sol est moins compact. Quelques galeries de vers de terre sont présentes dans l'ensemble du profil. Aucune trace d'hydromorphie n'est constatée.

Après cette description du profil, quelques tests simples peuvent être réalisés. Ils donnent des indications importantes sur le comportement du sol.

● Test à l'acide (HCl 10 %) : faudra-t-il chauler?

Quelques gouttes d'acide sont déposées sur des mottes de terre (préalablement imbibées d'eau). En fonction de l'intensité de la réaction (dégagement de CO₂ audible ou visible), une note entre 0 et 3 est attribuée, cette dernière valeur ex-



ITAB

primant une réaction très forte. Ce test indique la nécessité de chauler ou pas. Il ne permet pas de déterminer la forme ni la dose de l'apport à réaliser. Dans ce cas, la valeur est nulle, on parle de carbo 0. Il faudra donc prévoir un chaulage.

Diagnostic à l'issue de la phase de terrain :

- Le sol observé est un sol battant à la structure fragile.
- La dégradation des matières organiques semble poser un problème.
- Il faudra envisager un chaulage (même si le pH semble correct !).
- Des zones compactées (dans ce cas semelle de labour bien marquée) sont constatées.
- Il n'y a, *a priori*, pas de lessivages.

● Test de stabilité des agrégats : quelles pratiques de sol sont adaptées ?

Il s'agit d'observer le comportement des agrégats de terre que l'on agite dans un tube après les avoir détrempés avec de l'eau. Deux cas extrêmes sont observables :

– La stabilité est bonne, on suppose un fonctionnement en complexe organo-minéral. Il faudra tenter de le maintenir par des pratiques adaptées.

– Au contraire, cette stabilité peut être très mauvaise, ce qui signifie que l'agrégation des particules de sol est assurée par l'intermédiaire d'une « colle » organique produite par les microorganismes du sol. Cette « colle », soluble dans l'eau, disparaît et l'agrégat se dégrade plus ou moins rapidement. Ce type de sol nécessitera de favoriser une activité biologique intense. Dans la pratique, un mélange des deux comportements est souvent observé ; il faut donc bien cibler le facteur prépondérant.

Sur ce site, une faible partie des agrégats reste stable alors qu'une forte proportion se désagrège complètement et très rapidement. C'est ce dernier point qui pilotera le fonctionnement de ce type de sol : il faudra favoriser une activité biologique très intense.

A ce stade, un test complémentaire peut être facilement réalisé : l'éva-

luation du pH (H₂O) à l'aide d'une réglette test. Il est proche de 7 pour cette station. On peut également réaliser un test de sédimentation sommaire en laissant décanter la solution dans le récipient et en observant ensuite les différentes strates.

● Test du Fer : y a-t-il lessivage de fer ?

Ce test, réalisé à l'aide de quelques gouttes de KSCN dans une solution de terre, d'HCl et d'eau, sert à estimer s'il y a un lessivage de fer (ferrique) dans le profil.

On compare les colorations pour un échantillon pris en haut du profil et un autre pris en bas.

– Plus rouge en haut qu'en bas : normal, pas de lessivage (c'est le cas pour ce profil).

– Aussi rouge en bas qu'en haut : début de lessivage du fer probable.

– Plus rouge en bas qu'en haut : pas normal, soit lessivage, soit recouvrement.

L'ensemble de ces observations constitue la phase de terrain. Il reste à prélever un échantillon de sol en haut du profil et un second dans le fond de celui-ci. Ce double prélèvement pour une station permet de déceler, entre autres, les phénomènes de lessivage, les différences de fonctionnement entre deux horizons, ...

Deuxième étape : affiner le diagnostic avec le bordereau d'analyse

Les échantillons de sols prélevés dans le profil sont analysés par le laboratoire BRDA-Hérody. Les résultats sont présentés et interprétés ci-dessous.

● Caractérisation physique

	CF	Echelle	% de fines
Horizon A	1.8	0 à 7	14
Horizon B	2.1		20

Interprétation

Le sol à cet endroit a potentiellement un bon pouvoir fixateur. Celui-ci est reflété par la valeur de CF. La texture est limono-argileuse avec un pourcentage moyen d'argiles minéralogiques.

L'horizon profond est plus argileux.

Un lessivage des particules fines semble se produire : lorsqu'elles ne sont pas agrégées, elles sont entraînées par l'eau ou les travaux culturaux dans les couches plus profondes, ce qui provoque un colmatage des interstices. Il faut donc veiller aux tassements et à la circulation air/eau dans le sol.

● Les formes de fer qui lient la MO et les fines

	Fer L	Optimum fer de liaison	Fer A	Optimum fer amorphe
Horizon A	60	80	90	45
Horizon B	40		60	

Interprétation

Le niveau de fer A (amorphe) est suffisant pour avoir la formation de complexe organo-minéral et la valeur du fer L (de liaison) est faible.

● Les bases stabilisantes

Valeur des alcalino-terreux (AT) = Ca + Mg	Opti AT	% de saturation du complexe	% Mg dans AT	Référence
0,55	0,6	92%	10	10-15 %
0,5	0,7	71%	10	

Interprétation

Le sol est légèrement désaturé en bases stabilisantes. Le magnésium est présent mais en quantité tout juste suffisante. Des apports de chaux magnésienne pourront être envisagés pour saturer le sol en bases stabilisantes et amener du magnésium, quel que soit le pH.

● Matières organiques

Il faut bien être conscient que toute la matière organique présente n'est pas synonyme de fertilité. En fonction des conditions climatiques et du travail du sol, l'activité microbienne va gérer les équilibres entre :

- Accumulation : matière organique plutôt inactive ;
- Minéralisation : matière organique assurant la nourriture des microbes (activité biologique intense) ;
- Humification : matière réellement accrochée au complexe organo-minéral (humus vrai) ou au sein d'un agrégat (humus stable).

Cette approche est fondamentale pour raisonner les apports en fonction des stations car elle permet d'identifier le type de fonctionnement du sol.

	Valeur en surface Valeur en profondeur	Référence
MTO = stock de MO utilisable par l'activité biologique. (% de volume du sol)	3,4 1,8	/
MOF = MO fugitive (% de MTO)	8,7 5,5	18 à 20
HS=humus stable	3,1 1,7	2,5
3eF = fraction de MO mise en réserve par les microorganismes du sol	0,5 0,2	0,3-0,6
NiNi= accumulation brute de MO	135 105	<150

Interprétation

D'après nos observations, la matière organique semble présenter un petit souci quant à sa minéralisation.

Bien que les chiffres ne révèlent pas d'accumulation de cette matière organique (NiNi), on constate la présence de formes un peu trop stables (HS) et le manque de MO dite fugitive.

La confrontation de ce constat aux observations de terrain laisse penser que le problème se trouve dans l'aération du sol qui est insuffisante (des feuilles de betteraves sont retrouvées 10 mois après leur enfouissement). En outre, la restitution de paille devrait être accompagnée d'un épandage de matière organique très riche en azote. Soulignons au passage que cette ferme est en reconversion vers l'agriculture biologique : rémanences de fongicides possibles ?

● Divers

	pH FNa	pHKCl	Al	Echelle Réf.	P	K	Mg	Echelle Réf.
Horizon A	8,5	6,5	0	0-5	5	3	2	0-5
Horizon B	8,5	6,5	0,1		3	2	2	

Interprétation

Les valeurs pour l'aluminium sont bonnes, il n'y a aucune toxicité pour les plantes. Les valeurs pour P et K sont bonnes et on peut dire que le sol en est bien pourvu en surface. Ces valeurs sont plus faibles en profondeur. La disponibilité en magnésium est assez faible.

Troisième étape : conseils

● A continuer :

Mise en place d'engrais verts

Des mélanges du type avoine-vesce ou seigle-vesce semblent plus intéressants que la moutarde. Le trèfle d'Alexandrie en interculture peut aussi être une solution mais attention aux législations en vigueur en terme de protection des eaux contre les nitrates.

Une rotation des parcelles avec la mise en place d'une luzerne pendant deux ans au moins permettrait un travail du sous sol assez efficace tout en répondant à un objectif de fertilisation.

● A améliorer :

Travail du sol

Le labour n'est certainement pas à proscrire mais il ne faut en aucun cas descendre aussi bas que maintenant et toujours le faire sur un sol ressuyé. Lorsque des engrais verts devront être détruits, ils le seront quelques temps avant le début du labour. Un broyage suivi d'un léger enfouissement superficiel (léger fanage des végétaux et attaque par les micro-organismes du sol) précèdera idéalement le labour. L'Actisol convient bien. Ce labour ne doit pas être très profond (rester au dessus de 20 cm), les débris végétaux ne seront pas enfouis en fond de raie mais de façon à rester en conditions aérobies (éviter la formation de choucroute !!). Si un sous-solage est envisagé, ce qui ne semble pas prioritaire, il faut le faire sous un couvert végétal (profiter par exemple de l'engrais vert). Actuellement, la cohésion en surface semble un peu faible : les particules fines risquent d'être entraînées trop en profondeur et donc de provoquer l'effet inverse de celui souhaité.

La fertilisation organique.

Un échange paille-fumier avec un éleveur pourrait constituer une bonne solution dans ce cas (contexte de grandes cultures sans élevage). Attention au fumier de cheval qui est souvent très pailleux. L'assainissement (adventices et germes pathogènes) du fumier est permis par un compostage. Toutefois, ce compostage devra être court pour conserver un maximum de nutriments et d'énergie dans le compost, faute de quoi, des compléments sous formes minérales seront nécessaires. L'inclusion dans la rotation d'une luzernière ou d'une prairie temporaire est idéale mais il faut trouver la façon de valoriser les fourrages produits.

Quantités d'amendements et de fertilisants

● Chaulage

Le chaulage envisagé vise simplement à maintenir la saturation en bases. Le but n'est pas de corriger le pH ! Un apport de 600 kg/ha tous les ans de chaux magnésienne est dans ce cas conseillé. La forme tamis 300 semble bien convenir.

● Matières organiques

Nature de la MO	Quantité
Purin	20 m ³ /an
Lisier	25 m ³ , 2 fois par an
Fumier	30t/ha
Compost	20t/ha

Les matières organiques riches en énergie seront favorisées. Il est conseillé d'éviter les composts beaucoup trop mûrs ou lessivés de leurs substances nutritives. Il faut aussi éviter les raisonnements de fertilisation à la culture et avoir une réflexion sur l'ensemble de la rotation (cultures principales et intercultures).