

# La qualité biologique des sols



Enjeux, connaître,  
mesurer, améliorer



# Un nouveau paradigme

**F**in XIX<sup>e</sup>, la physique, la chimie et la biologie des sols sont très étudiées. C'est l'époque des naturalistes avec Charles Darwin.

Après la seconde guerre mondiale, l'évolution des techniques est considérable en matière de fertilisation, de mécanisation et de protection phytosanitaire. Mais l'approche agronomique (le bon sens paysan) reste prépondérante. En jouant sur les deux tableaux agronomie + technologie, les progrès sont spectaculaires et les mentalités évoluent.

À cette époque, on maîtrise l'énergie de l'atome, on découvre le secret de la vie avec l'ADN et on s'apprête à marcher sur la Lune. Tout ceci donne le sentiment de pouvoir s'affranchir des lois de la nature.

En agriculture, les progrès de l'agrochimie et de la génétique apportent des solutions radicales à de nombreux fléaux (hannetons, taupins, doryphores, rouille noire et autres mauvaises herbes).

Revers du succès, la biologie des sols devient une moindre préoccupation. Certains agronomes pensent qu'il serait plus facile de contrôler la fertilisation et les bioagresseurs dans un sol peu actif jouant juste le rôle de support inerte.

D'autres imaginent les risques d'un excès de confiance technologique face à la complexité du vivant. C'est d'ailleurs sur cette divergence que naît le concept d'agriculture biologique dans les années 60.

Il faut toutefois attendre la fin du XX<sup>e</sup> siècle pour percevoir les premiers signes tangibles des menaces pesant sur les ressources (érosion, eau, biodiversité, phosphore...) et cela dans un contexte démographique et de changement climatique sans précédent.

Nous entrons dans une nouvelle ère : l'anthropocène, avec un monde fini à préserver et non plus à conquérir, réclamant plus de biens à produire avec

moins de ressources, ou bien renouvelables.

La première ressource limitée pour l'agriculture, c'est la terre. À l'échelle mondiale, il faudra produire plus, à surface quasi-constante, dans 3 types de situations :

- des terres à potentiel élevé sous-valorisées par la difficulté d'accès aux moyens de production modernes (agriculture vivrière) ou de logistique (Europe de l'Est).
- des terres à potentiel limité avec une bonne rentabilité par UTH sur des exploitations de grande taille (Australie, USA...).
- enfin, des terres à potentiel élevé bien valorisées sur des surfaces moyennes (Europe de l'Ouest).

En Picardie, les potentiels de production sont élevés, réguliers et en hausse quasiment tout au long du XX<sup>e</sup> siècle. Mais, depuis une décennie, les rendements stagnent ou diminuent (sauf betteraves notamment).

La dégradation de la qualité biologique des sols est un des facteurs explicatifs. Les sols ne sont pas morts, mais ils sont manifestement malades et on ne sait pas jusqu'à quel point.

Or, toutes les civilisations qui ont vu leurs sols se dégrader ont disparu.

Au-delà de la production agricole, les sols sont également le filtre par lequel passe l'essentiel de l'eau qui alimente les nappes et les cours d'eau. Quand le filtre n'assure plus sa fonction ou quand l'eau ne le traverse plus (ruissellement), la qualité des masses d'eau se dégrade.

Ce document n'a pas d'ambition scientifique, mais permettra à chacun de percevoir la révolution des sciences du sol en cours.

Les références citées vous permettront d'aller plus loin en les utilisant dans un moteur de recherche.

## Sommaire

Enjeux .....	3
Connaître .....	8
Mesurer .....	11
Améliorer .....	14

# Quelques notions pour percevoir les enjeux

*Attention, nous vous emmenons dans un monde inconnu voire inquiétant, complexe, impitoyable pour ceux qui l'habitent ; extraordinaire, fascinant, gluant, grouillant, beau... pour qui prend le temps de l'observer. Ce monde n'est pas sur terre, mais DANS la terre.*

## Le sol est plus que vivant : c'est la base de la vie

Le sol est un milieu de vie extraordinaire et pourtant, sa connaissance se résume souvent à la texture, la teneur en éléments minéraux, le pH, éventuellement la structure. Mais savoir de quoi et comment le sol est fait ne permet pas de savoir s'il est en bonne santé. Une multitude d'organismes foisonnent dans le sol. Ils sont en interaction, y compris avec les plantes cultivées ou sauvages, dans des relations de compétition, parasitisme, prédation ou symbiose. La plus grande part de la biomasse visible à l'œil nu est constituée :

- des racines qui colonisent un grand volume de sol, de quelques décimètres à plusieurs mètres de profondeur
- des vers de terre considérés comme les architectes du sol avec leur action sur l'incorporation des matières organiques et l'aération du profil cultural. Ils constituent la première biomasse animale des terres émergées tempérées (Bouché, 1972).

Le reste de la faune est plus ou moins connu. On pense éventuellement aux carabes, aux araignées, moins souvent aux collemboles ou aux acariens, par

exemple, qui jouent pourtant un grand rôle dans la décomposition des matières organiques.

Mais, en réalité, la plus grande part de la biomasse des terres émergées en zone tempérée est constituée de bactéries. On peine à se représenter leur multitude, avec jusqu'à 100 mille milliards de bactéries par m<sup>2</sup> (10<sup>14</sup>) ou 1 milliard par gramme de sol (10<sup>9</sup>).

Compte tenu de leur taille moyenne de l'ordre du micromètre, sur 1 m<sup>2</sup>, on obtiendrait un fil de 100.000 kilomètres en les mettant bout à bout (soit 2,5 fois le tour de la Terre) !

L'Oise présente des biomasses microbiennes qui peuvent être considérées comme moyennes (plus faibles dans le Vexin). La situation est plus favorable dans le Nord-Ouest et le Nord-Est du département ou dans la Somme et en Thiérache, en lien avec la présence d'élevage plus fréquent ou récent.

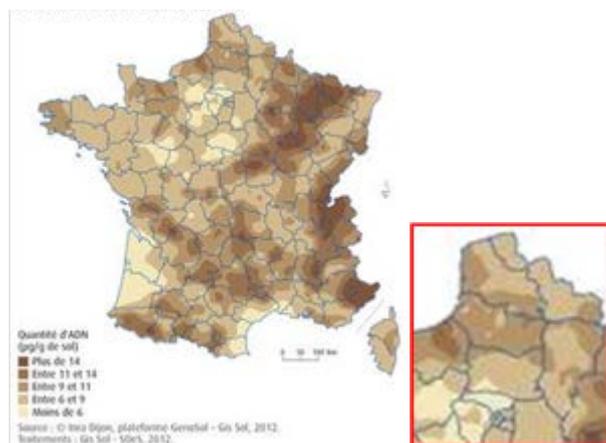
Si le climat et les textures de sol expliquent les grandes variations de biomasse microbienne (ex. le sable des Landes), l'impact des pratiques et des systèmes d'exploitation est également à considérer.

## La biodiversité est dans le sol

Quand on évoque la biodiversité, notre perception repose avant tout sur des espèces de taille relativement grande et facilement observables, notamment les vertébrés (mammifères, oiseaux, éventuellement les reptiles, plus rarement les poissons...) et parfois les insectes. Mais ces animaux constituent plutôt l'exception au sein du vivant.

On découvre environ 10.000 nouvelles espèces par an et on estime aujourd'hui connaître 15 %, voire moins, des 10 à 50 millions d'espèces d'organismes pluricellulaires. À ce rythme, si l'on prend une hypothèse basse de seulement 10 millions d'espèces, l'inventaire sera terminé en l'an 2830 (Bielsa et al., 2009).

Pourtant, l'essentiel de la biodiversité est constitué d'organismes unicellulaires présents dans les sols,



La biomasse microbienne des sols.



en particulier les bactéries, dont on ne sait en réalité presque rien. Le nombre d'espèces bactériennes pourrait être 100 fois supérieur à celui des espèces pluricellulaires (Doré et al., 2008). Dans un gramme de sol, on peut trouver jusqu'à 1.000.000 espèces de bactéries et 100.000 espèces de champignons.

C'est 1.000 fois plus que le nombre d'espèces d'invertébrés que l'on peut trouver, non pas dans un gramme de sol, mais sur 1 m<sup>2</sup> !

### Quelques ordres de grandeur

En évoquant la vie du sol, nous parlons ici de la part vivante du sol qui ne représente schématiquement que de l'ordre de 1 % du carbone total du sol. Pourtant, le sol abrite l'essentiel de la biodiversité, non seulement en terme de nombre d'espèces, mais aussi en terme de biomasse.

Sur 1 ha de terre dans le monde, on trouve en moyenne : 6 t de racines, 1 à 5 t d'animaux hors protozoaires, 250 kg de protozoaires, jusqu'à 1 t d'algues, 3,5 t de champignons et 1,5 t de bactéries (à 2,5 t selon les sources), soit un total de l'ordre de 12 t (Gobat et al., 2003).

En comparaison, les vers de terre, mieux connus,

représentent une biomasse de l'ordre de la tonne (Chaussod, 1996), soit moins de 10 % de la biomasse du sol.

De surcroît, à poids égal, les micro-organismes et notamment les bactéries présentent des niveaux d'activités métaboliques potentiels énormes comme l'illustrent Gobat et al. (2003). Les 10<sup>9</sup> germes présents dans un seul gramme de sol représentent en effet une surface biologique active d'environ 50 cm<sup>2</sup> (la surface d'une carte de crédit), soit 1.700 m<sup>2</sup> de surface biologique par m<sup>2</sup> ! Les micro-organismes présents sous la surface d'une vache au pâturage ont ainsi une activité métabolique 10 fois supérieure à celle-ci (Gobat et al., 2003). Autrement dit, vu du sol, la surface de la prairie est un désert !

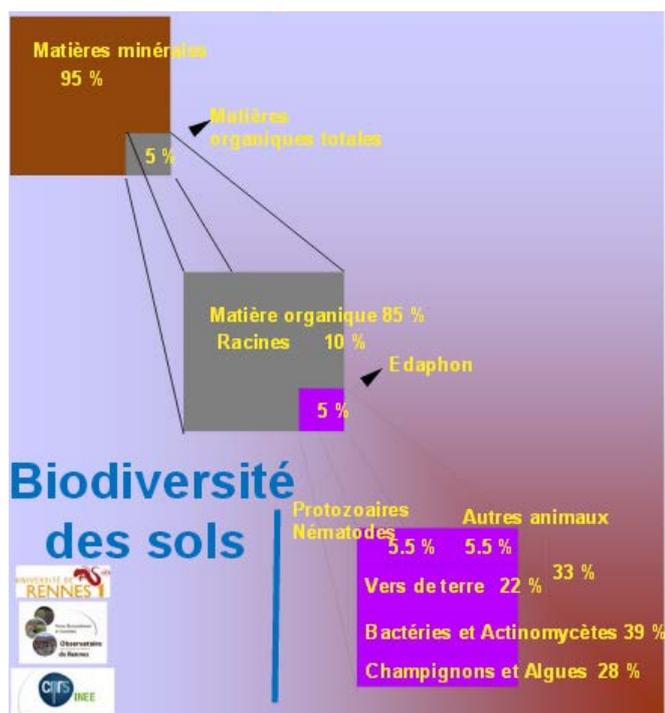
Il est également nécessaire d'appréhender le pouvoir de colonisation des bactéries pour comprendre le sol. Sans contrainte de milieu, une seule *Escherichia coli*, qui double sa biomasse toutes les 20 minutes et se divise en 2, générerait 2.360 tonnes de bactéries filles au bout d'une journée, une masse égale à celle de notre planète au bout de 2 jours et au bout de 4 jours, la masse de bactéries occuperait le volume de notre galaxie !

Quand on sait qu'il n'y a pas une bactérie, mais environ un million (10<sup>6</sup>) à un milliard (10<sup>9</sup>) de germes par gramme de sol... Calcul théorique bien sûr ! Les contraintes dimensionnelles, la compétition pour les ressources et la prédation régulent ce potentiel. Mais ce calcul illustre le phénoménal pouvoir de colonisation des micro-organismes si les conditions s'y prêtent. Il aidera à identifier plus loin les pistes les plus prometteuses pour améliorer la qualité biologique des sols.

### Le sol : patrimoine de l'humanité

Il faut commencer par souligner qu'en France, la première cause de disparition des sols est l'imperméabilisation et l'urbanisation. Tous les 10 ans, une surface agricole équivalente à un département est perdue, phénomène ahurissant que la loi (SRU) tente de freiner. À l'échelle mondiale, l'agriculture est l'activité humaine qui utilise le plus le sol et contribue également à le dégrader, avec une responsabilité sur 1/3 des fortes dégradations (Doré et al., 2008).

Côté politique, la prise de conscience de cette fragilité et du caractère non renouvelable du sol est récente. Les premiers débats européens ne datent que





de 2002 et la directive cadre sur la protection des sols n'a été adoptée en première lecture qu'en novembre 2007, alors que l'eau et l'air bénéficiaient déjà de mesures législatives de protection. La Commission estime que la dégradation des sols est préoccupante et rapide avec une incidence directe sur l'eau, l'air, la biodiversité, le changement climatique, la santé de l'Homme et des animaux et sur la sécurité alimentaire en raison de la perte de fertilité et de biodiversité.

### Multifonctionnalité du sol

#### Pour la société

Pour J. Mamy, directeur scientifique de l'Inra (1993), «la qualité des sols ne peut être définie que par rapport à leur contribution à la satisfaction de la demande socio-économique».

Les sols sont désormais considérés comme une ressource non renouvelable et un écosystème à préserver qui fait la richesse de l'Europe. De leur qualité, dépendent entre autres notre approvisionnement en nourriture et notre l'approvisionnement quantitatif et qualitatif en eau potable.

Un sol où l'eau s'infiltré bien tout en étant bien retenue limite le recours à l'irrigation, les phénomènes de ruissellement et d'érosion, tout en favorisant la recharge des nappes. Un sol vivant est également efficace pour retenir et biodégrader plus efficacement de nombreux polluants et pas uniquement d'origine agricole. Un sol vivant est également nécessaire pour une occupation durable du territoire, les paysages et la biodiversité. Le sol abrite en effet les tous premiers maillons de la chaîne alimentaire terrestre. Les

plantes autotrophes qu'il porte et les bactéries fixatrices d'azote qui y vivent sont les portes d'entrée des substances carbonées et azotées nécessaires au fonctionnement des écosystèmes. Le carbone stocké dans les sols contribue en outre à limiter les teneurs dans l'atmosphère, mais sur le dernier siècle, la tendance a malheureusement été au déstockage.

Pour amener les agriculteurs à gérer leur sol d'une façon qui satisfasse à la fois leurs propres besoins et les besoins de la société, il faudrait pouvoir donner une valeur à ces besoins, exprimée dans une même unité. Pour l'ancien sénateur R. Trégouet (2009), «donner un prix à la nature (est) un défi économique et une nécessité politique».

#### Pour l'agriculteur

Les fonctions du sol d'intérêt agronomique pour l'agriculteur sont (Waid, 1984) :

- la décomposition des résidus végétaux
- la formation et décomposition de la biomasse microbienne et animale
- la synthèse d'enzymes extracellulaires
- la résistance aux maladies, moins souvent évoquée et pourtant fondamentale et bien visible dans les systèmes de type biologique, agriculture de conservation, protection intégrée, agriculture écologiquement intensive...

L'agriculteur a donc tout intérêt à considérer l'activité biologique du sol et les fonctionnalités qu'elle peut lui procurer comme une source de gain de compétitivité. Reste à faire la part des choses pour identifier ce qui est rationnellement possible et avantageux.

### Une banque de sol



**Le Conservatoire des sols est géré par l'unité InfoSol de l'Inra d'Orléans. Il a été créé pour accueillir, préparer, gérer, stocker et distribuer les échantillons de sols issus de différents programmes nationaux et européens d'inventaire et de surveillance de la qualité des sols.**

**Nous ne savons pas aujourd'hui quelles seront les problématiques de demain. Les échantillons conservés nous donnent la possibilité d'analyser des éléments qui ne présentent pas d'intérêt aujourd'hui ou bien que les techniques d'analyses ne permettent pas de doser actuellement.**



### Pour l'avenir

L'activité biologique des sols est un facteur de résistance aux aléas externes et de protection des sols, alors que le changement climatique crée de l'incertitude pour leur devenir. Il faut donc chercher à améliorer leur résilience. La résilience résulte entre autres de la disproportion qui existe entre le nombre de fonctions assurées par les organismes du sol et le nombre d'espèces assurant ces fonctions. Idéalement, une même fonction est donc assurée par plusieurs espèces. Que l'une disparaisse, les autres prennent le relais dans un sol qui présente une biodiversité importante. C'est le concept de redondance fonctionnelle.

Cette réserve de biodiversité est également un vivier de microorganismes qui peuvent avoir des aptitudes intéressantes pour des applications futures : biosynthèse de produits pharmaceutiques, de bioma-

tériaux, etc.

### Stagnation des rendements

#### Le changement climatique ?

Le réchauffement est bien réel, mais en faire la cause de la stagnation des rendements est peu convaincant. Le climat reste favorable et l'on n'observe pas plus de volatilité des rendements. Or, des événements climatiques plus extrêmes devraient générer des rendements plus aléatoires, ce qui n'est pas le cas, même si la récolte 2011 dans l'Oise peut accréditer localement cette idée. De plus, le climat a cessé de se réchauffer depuis un peu plus de 10 ans (sauf en 2014). Or, les rendements augmentaient avec la hausse des températures lors des décennies précédentes et plafonnent depuis. À proximité des grands centres urbains, la pollution à l'ozone aurait par contre un rôle à jouer.

#### La désintensification ?

Hypothèse peu convaincante également : de nombreuses solutions chimiques voient leur efficacité diminuer, fait justement lié à leur usage répétitif (les produits ne s'usent que si l'on s'en sert !). L'efficacité globale du panel de solutions disponibles s'est amélioré jusqu'au début des années 2000. Mais depuis, la réglementation qui freine l'innovation et le développement des résistances ont commencé à réduire la palette des solutions à disposition.

Si les tonnages ont diminué, c'est que les pondéreux ont été remplacés par des produits à grammage plus faible, mais le recours aux produits ne baisse globalement pas (première baisse du NODU national observée en 2012), il a même été record en 2013

### Exemple de la fusariose : vers de terre ou labour ?

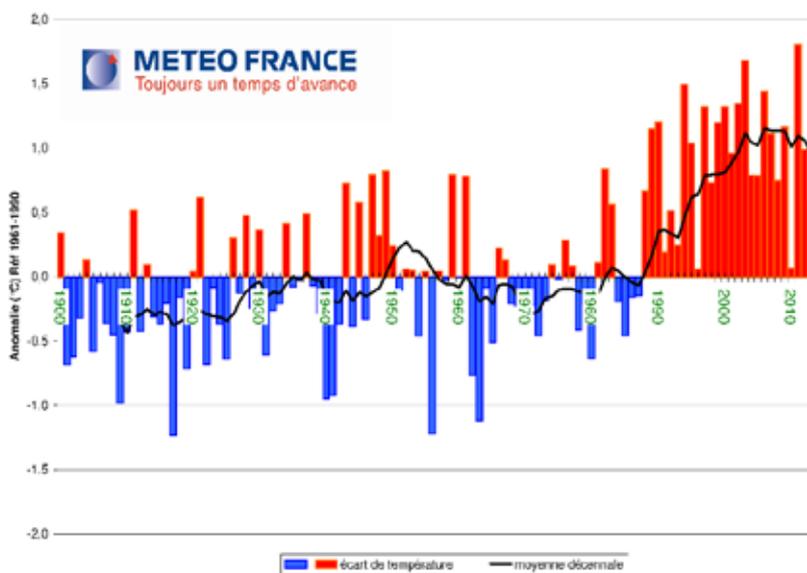
**Les systèmes TCS (techniques de culture simplifiées), SD (semis direct) ou bio sont souvent présentés comme favorables aux fusarium toxigènes (DON notamment). Pourtant, on constate l'inverse, grâce à la dégradation rapide des résidus et à la concurrence des autres champignons du sol vis-à-vis des pathogènes.**

**Le risque fusariose est en effet plus lié à la vitesse de dégradation des résidus qu'à leur positionnement dans le sol. Tout ce qui perturbe le sol et ralentit la dégradation des résidus est donc favorable au risque fusariose.**

**Une équipe allemande (Oldenburg, 2011) a même montré que non seulement les vers de terre (*L. terrestris* et *A. caliginosa*) accélèrent la disparition des résidus, mais qu'ils consomment de préférence les résidus contaminés, peut-être plus appétants. L'équipe estime que l'effet sur l'inoculum est plus fort qu'un labour, ce qui contribue à expliquer le peu de fusariose en bio, TCS, SD, PI (protection intégrée), AC (agriculture de conservation)...**

### Résilience ou effet domino ?

**La vie du sol se caractérise par de très nombreuses interactions incroyablement complexes à comprendre. Cette complexité est certainement un atout qui procure une forte résilience face aux agressions, mais c'est aussi le risque de possibles réactions en chaîne ou effet domino. La prise de conscience de l'importance de la dimension biologique de la qualité des sols sur le plan fonctionnel et patrimonial amènera donc la question de l'impact des pratiques.**



(+ 9,2 %/2012) et on ne s'attend pas à une baisse en 2014. Du côté fertilisation de fond, il y a plutôt encore des économies à faire (sauf sur le chaulage). Concernant l'azote, des doses limitantes impactent plus fortement les teneurs en protéines que les rendements.

### Progrès génétique en panne ?

Les variétés récentes sont plus productives que les plus anciennes comme le montrent les essais variétés. Le progrès de l'ordre de 1 q par an suggère d'ailleurs que si les rendements plafonnent, c'est que :

- soit le potentiel pédo-climatique des champs diminue de 1 q par an, compensé par la génétique
- soit les pratiques ont changé et impactent les potentiels (rotations courtes, bioagresseurs plus virulents, produits moins efficaces...).

Notons aussi que l'urbanisation concerne souvent les terres parmi les plus productives (les lotissements poussent mieux dans les bonnes parcelles à plat autour du village que dans les coteaux

crayeux ou les vallées inondables sableuses ou argileuses).

### Le contre-exemple des betteraves ?

Les rendements augmentent, mais il faut tenir compte de l'arrêt de culture dans les terres les moins adaptées (séchantes, montées, nématodes...). Si l'on cultivait le blé avec le même soin, on gagnerait un peu de productivité.

Par ailleurs, le blé tire bénéfice de la mycorhization, contrairement à la betterave qui fait partie des exceptions ne mycorhizant pas (chénopodiacées, brassicacées, joncacées, saxifragacées, certaines plantes aquatiques). Or, la mycorhization est très liée à la qualité biologique des sols. En sol dégradé, de limon battant à faible activité biologique, le blé serait ainsi plus pénalisé que la betterave.

### Et si on regardait sous nos pieds ?

L'agronomie est souvent définie comme l'étude de la relation

sol-plante-climat. En observant les champs et les résultats d'agriculteurs qui ont relancé l'activité biologique des sols, il apparaît que l'enjeu de l'agronomie du XXI<sup>e</sup> siècle sera d'étudier les relations sol-plante-climat-écosystème. Ce qui se passe au dessus du sol est de plus en plus étudié dans des programmes tels qu'Auximore et Auxiprod.

Dans le sol, les choses sont encore plus complexes et ne sont étudiées que depuis plus récemment (ex. Observatoire participatif des vers de terre ou CasDar AgrInnov auquel participent les groupes Déphy de Picardie).

*Le mystère des cailloux qui flottent résolu depuis un siècle et demi*

**Les agriculteurs se plaignent souvent des cailloux qui remontent ! Les archéologues en seraient bien dépités ! Pour remonter, un caillou devrait flotter sur le sol, c'est-à-dire avoir une masse volumique inférieure au sol. Hormis pour la pierre ponce ou la pouzzolane, heureusement, la densité des sols, même bien tassés, est bien inférieure à celle des cailloux ! Darwin observait que grâce aux vers de terres, les pierres s'enfoncent alors que le sol meuble vient en surface. Si les pierres remontent, c'est qu'on les a aidées, ou que le sol s'en va et que les vers de terre ne compensent pas !**



# Nature et rôle des principaux organismes du sol

*Décrire de façon exhaustive tous les organismes du sol est impossible et pas forcément nécessaire pour appréhender les bases du fonctionnement biologique des sols. Nous décrivons les principaux en restant très global à l'échelle du règne (bactérie, champignons), de l'embranchement (nématode, arthropodes) ou de la classe (vers de terre).*

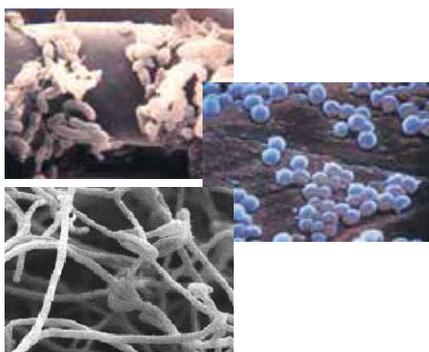
## Les bactéries

### Nature

Ce sont des êtres unicellulaires, caractérisés par leur petite taille, leur nombre, le nombre d'espèces et leur infinie variabilité et plasticité génétique. Ces caractères leur confèrent un énorme potentiel métabolique en terme quantitatif et qualitatif et une très grande capacité d'adaptation aux variations du milieu. À l'échelle humaine, on pense à des variations telles que changement d'usage du sol, sécheresse, etc. mais à l'échelle bactérienne, on raisonne au micron. Une bactérie aérobie peut ainsi vivre à une fraction de millimètre d'une bactérie anaérobie tant le sol est hétérogène jusqu'au niveau micro-métrique.

### Rôles

Les bactéries synthétisent de



Différentes bactéries et champignons.

nombreux composants, notamment l'humine microbienne qui participe à la formation des micro-agrégats. Elles peuvent également fixer l'azote atmosphérique mais surtout, elles ont une fonction dans la minéralisation de la matière organique, l'oxydation ou la réduction de composés inorganiques, c'est-à-dire qu'elles interviennent dans le cycle de nombreux éléments comme l'azote par exemple.

Elles sécrètent également des facteurs de croissance et des antibiotiques qui influent sur la vie du sol et des stimulateurs de défenses naturels des plantes.

Leur rôle sur la résistance du sol à certaines maladies telluriques a été démontré de nombreuses fois (Alabouvette, 2005). L'exemple le plus étudié porte sur le piétin échaudage et le rôle des bactéries dans la résistance des sols (notamment certains *Pseudomonas* fluorescents) qui explique effectivement bien le comportement de la maladie observé par les agriculteurs.

## Les mycorhizes

### Nature

Ce sont des champignons microscopiques qui vivent en symbiose avec les plantes. Les mycorhizes contribuent à l'alimentation hydrique et minérale de la plante en démultipliant le pouvoir explo-

ratoire de son système racinaire (1.000 m de filaments mycéliens pour 1 m de racine en forêt).

De son côté, la plante fournit au champignon les ressources énergétiques carbonées dont il a besoin. Les symbioses sont très spécifiques : telle espèce de mycorhize entre en symbiose avec telle espèce végétale et de surcroît, souvent dans des conditions de milieu particulières. La mycorhization est toutefois sensible à de nombreux facteurs tels que la sécheresse, l'excès d'eau, les températures trop élevées, l'excès d'azote et de phosphore, la toxicité des fongicides...

### Rôles

Les mycorhizes jouent un rôle important ou indispensable, selon les plantes, dans l'assimilation de certains éléments peu mobiles dans le sol (phosphore en particulier, mais aussi cuivre, zinc) et de certaines formes d'azote.

Certaines plantes telles que la carotte en particulier, mais aussi les légumineuses, sont très, voire complètement dépendantes des mycorhizes pour se développer, quelle que soit la teneur en phosphore du sol. À l'inverse, d'autres plantes ne mycorhizent pas du tout, tels la betterave ou le colza.

Les céréales ont un comportement intermédiaire et peuvent



tirer un bénéfice de la mycorhization en-dessous de 50 ppm de phosphore Olsen disponible.

Les mycorhizes améliorent également l'alimentation hydrique des plantes et certaines produisent des substances de croissance (auxines, cytokinines, vitamines...) nécessaires ou utiles. Enfin, certaines améliorent la résistance des plantes aux bioagresseurs (les champignons notamment) ou peuvent pallier l'excès de calcaire actif.

Ces dernières années, de nombreux travaux ont démontré l'intérêt pratique de ces symbioses et parfois leur nécessité. Pourtant, ces phénomènes sont souvent mal compris ou ignorés des praticiens.

On peut citer l'exemple, exotique mais révélateur, des arganiers dont les tentatives de replantation au Maroc échouaient jusqu'à ce que Chaussod et Nouaïm (Inra Dijon) aient mis en évidence le rôle indispensable des mycorhizes.

## Vers de terre

### Nature

Les vers de terre sont des annélides (ils ne muent pas, à la différence des nématodes) oligochètes (4 paires de soies par segment) et hermaphrodites (chaque individu possède des organes génitaux mâle et femelle). Chez toutes les espèces, on reconnaît les adultes à la présence du clitellum (anneau).

Ils pondent une douzaine à une centaine de cocons par an qui mettent 45 jours à 9 mois pour parvenir à terme.

On dénombre une centaine d'espèces en France, que l'on répartit en trois catégories écologiques :

- les épigés, qui mesurent 1 à 5 cm, vivent en surface dans les amas organiques ou la litière et sont généralement rouge sombre du fait de leur exposition à la lumière. Ils participent au fractionnement de la matière organique, mais ingèrent peu de matière mi-



F. DUMOULIN

Endogé.

F. DUMOULIN



Turricules de vers de terre.

nérale et creusent peu ou pas de galeries. Ils ont donc peu d'effet sur la circulation des fluides dans le sol

- les endogés, qui mesurent 1 à 20 cm, vivent dans les premiers décimètres du sol, ne remontent presque jamais à la surface et sont donc peu pigmentés (souvent rose à gris clair). Se nourrissant de matière organique plus ou moins décomposée, ils creusent des galeries plutôt horizontales, très ramifiées et temporaires.

- les anéciques sont les plus gros, mesurant 10 à 110 cm. De couleur rouge, gris clair ou brun, les deux espèces les plus fréquentes dans notre région sont surtout *Lombricus terrestris* (tête rouge), mais aussi *Aporrectodea giardi* (tête noire). Ils circulent entre la surface du sol où ils se nourrissent de matière organique fraîche et les profondeurs du sous-sol (jusqu'à 3 m sous nos latitudes, selon Cluzeau) où ils se réfugient quand les conditions ne sont pas favorables.

Ils creusent des galeries permanentes qui peuvent persister jusqu'à 8 ans (Pérès, 2003), d'orientation plutôt verticale et ouvertes en surface (plus grosses et moins ramifiées pour *L. terrestris*). Ils mélangent la matière minérale et organique qu'ils absorbent pour les rejeter en surface sous forme de turricules.

### Rôles

On a mesuré (Pérès, 2003) qu'une tonne de lombrics en prairie génère environ 5 % de porosité dans le sol. Ils ont donc des effets très variables, mais importants sur la circulation de l'air et la capacité d'infiltrer et de retenir l'eau dans les sols.

Les turricules et les middens (amas de débris appelés cabanes au Québec) augmentent la rugosité de surface qui réduit la battance et l'érosion. Les galeries permettent l'infiltration rapide des eaux de pluies. On accuse d'ailleurs parfois les anéciques de favoriser l'entraînement de micropolluants vers les profondeurs.

Kersanté (2003) a effectivement constaté que les



lombrics affectaient la dynamique de l'atrazine. Mais plusieurs mécanismes entrent en jeu : si les galeries favorisent le transfert de l'eau vers le sous-sol, les lombrics favorisent la formation de microsites qui retiennent la molécule, en particulier dans la drilosphère : il s'agit de la couche de terre tapissant la paroi des galeries et biologiquement très active, avec une fonction de biodégradation élevée.

Les lombrics favorisent également l'incorporation de la matière organique dans le profil, ce qui est favorable au fonctionnement du sol. Cluzeau et al. (1987), cités par Pérès (2003), ont ainsi observé une relation positive entre biomasse microbienne et biomasse lombricienne.

Leur action est limitée par de longues périodes de vie au repos (Bouché, 1972), mais on estime qu'une tonne de vers produit 280 t de déjections par an (30 t visibles en surface et 250 t dans le sol), soit près de 10 % des 3.000 t de terre/ha sur 25 cm.

### Les arthropodes

#### Nature

\* La mésofaune (0,2 à 2 mm)

Les acariens et les collemboles notamment appartiennent à cette catégorie basée sur la taille. Ils vivent dans et sur le sol et leur



Collembole.

F. DUMOULIN



Grand carabe genre *carabus*.

morphologie est un indicateur de leur zone de vie préférentielle.

Les collemboles sont des insectes primitifs (pièces buccales invaginées).

\* *La macrofaune* du sol (plus de 2 mm)

On peut citer les staphylins, pseudo-scorpions, cloportes, mais surtout en grandes cultures, les araignées (ex. *Pardosa agrestis*) et bien sûr les carabes. On observe généralement une quarantaine d'espèces de carabes en grande culture (Viaux, 2004 - Waligora, 2005 - Diwo-Alain, 2005).

Parmi les espèces les plus fréquemment rencontrées, on peut citer *Ptérotichus melanarius* (= *Platysma vulgare*), une espèce pionnière souvent dominante dans les systèmes de culture intensifs.

Par leur mode de vie, les carabes sont en effet très exposés aux pratiques culturales auxquelles ils sont sensibles, si bien que certaines

F. DUMOULIN



*Ptérotichus melanarius*.

espèces ont fortement régressé depuis un siècle, remplacées par cette espèce pionnière plus résistante et agressive.

#### Rôle

Les acariens sont consommateurs de litière (les oribates) avec des organes buccaux peu visibles, ou prédateurs (les gamasides) avec des organes buccaux plus proéminents et bien visibles.

Les collemboles fractionnent les débris végétaux. Ils auraient également un rôle dans le transport des spores de champignons et jouent donc un double rôle sur la décomposition de la matière organique.

Les carabes sont majoritairement prédateurs et occupent donc une place particulière dans la chaîne alimentaire : en bout de chaîne dans le sol où ils sont généralement considérés comme des auxiliaires, et en début de chaîne sur le sol où ils sont la proie de l'agrifaune.

Les araignées sont des prédateurs, en particulier d'insectes, et sont également en bout de chaîne alimentaire de la pédofaune. Elles chassent à la toile ou à l'affût. Ces diverses techniques de chasse leur permettent une bonne adaptation au milieu. On classe d'ailleurs de nombreuses espèces parmi les espèces pionnières qui recolonisent rapidement les milieux perturbés.

F. DUMOULIN



Arachnide.

# Principaux facteurs de variation de la qualité biologique des sols (hors pratiques)

*Quand on cherche à évaluer la qualité biologique d'un sol, c'est souvent pour évaluer l'impact des pratiques. Or, l'activité biologique est très dépendante du milieu. La méthode doit donc permettre de distinguer l'effet du milieu de l'effet des pratiques, souvent moins important de surcroît.*

## Les caractéristiques physico-chimiques du sol, premier facteur de variation

La nature physico-chimique du sol impacte très fortement son activité biologique. Toutes les méthodes d'évaluation doivent donc se rapporter à un référentiel.

Les argiles, en particulier la montmorillonite, favorisent l'activité biologique du sol en favorisant notamment les champignons et les bactéries.

Cet effet est significatif puisque Amir et Alabouvette (1993), cités par Davet (1996), ont montré qu'en ajoutant 25 % de montmorillonite à un sol sableux, un apport de glucose provoque un dégagement de CO<sub>2</sub> deux fois plus intense au bout de 21 heures.

De leur côté, les sables qui sont abrasifs, peu stables et souvent pauvres en matières organiques, sont peu favorables aux lombrics.

Le pH joue également un rôle important. Les bactéries prédominent en sol neutre ou légèrement alcalin, alors que les champignons se développent en sols acides grâce à la moindre concurrence de bactéries en dessous de pH 6,5 (Davet, 1996). Ceci n'est toutefois qu'une tendance générale.

## Influence de la météo du moment

Les conditions météorologiques

agissent principalement sur l'état hydrique et thermique du sol. L'eau, indispensable au métabolisme des organismes du sol, augmente la disponibilité des éléments solubles et favorise le déplacement des micro-organismes (ou de leurs spores et autres) et des micro-nutriments. Par contre, en occupant une partie de la porosité, l'eau limite les échanges gazeux (hydromorphie pouvant conduire à l'anoxie).

Les organismes du sol ont des stratégies de fuite ou de résistance face au stress hydrique, mais la dessiccation a un impact très fort sur l'activité biologique du sol.

La température agit sur la vitesse des réactions métaboliques. Sous nos latitudes, les températures élevées sont peu limitantes. Quand la température du sol pourrait être trop élevée, l'eau est souvent déjà un facteur limitant.

On peut donc considérer qu'en sol humide et ressuyé, l'activité du sol est d'autant plus forte que la température est élevée.

## Influence de la saison

Compte tenu des effets de l'eau et de la température sur l'activité biologique, le printemps et l'automne sont généralement les périodes où l'activité du sol est la plus importante et la plus facile à étudier.

Même si la météo du moment

paraît favorable en plein été par exemple, il faut rester vigilant sur l'interprétation de résultats.

Les bactéries reprennent rapidement leur activité quand les conditions redeviennent favorables et même de façon plus intense. Orchard et Cook (1983), cités par Davet (1996), ont en effet montré qu'après réhumectation d'un échantillon de sol sec, la vitesse d'émission de CO<sub>2</sub> peut être temporairement 40 fois supérieure à ce qu'elle est dans un échantillon du même sol maintenu constamment humide.

Il faut ensuite attendre 2 à 3 semaines pour que la vitesse d'émission de CO<sub>2</sub> de l'échantillon réhumecté rejoigne celle de l'échantillon de référence.

À l'inverse, en été, certains lombrics s'enfoncent profondément dans le sol ou entrent en diapause selon les espèces. Lorsque les conditions redeviennent temporairement favorables, les répercussions ne se font pas forcément sentir dans la profondeur du sol.

Quant à la diapause, elle est sous contrôle endocrinien et n'est pas levée par le retour de conditions temporairement favorables à une activité des vers. L'hiver et l'été, l'activité biologique des sols est donc de toute façon ralentie quelles que soient les conditions climatiques.



## Quelques méthodes d'évaluation

*Le sol est d'une complexité telle qu'il est impossible d'appréhender directement sa qualité biologique. On utilise donc des méthodes d'observation basées sur des indicateurs jugés pertinents pour extrapoler et conclure.*

### Choix des indicateurs

Deux approches sont possibles. L'une repose sur les effets de l'activité biologique sur l'état et le comportement du sol (on mesure la battance, la capacité d'infiltration, le potentiel de minéralisation...).

La seconde approche, privilégiée ici, repose sur des mesures directes de l'activité biologique en considérant que si l'activité biologique est forte, les effets attendus seront forts également.

On cherche à mettre en évidence des différences d'activité biologique en mesurant directement quelques caractéristiques.

Contrairement à la première méthode, il faut ensuite extrapoler pour juger si ce qui est observé est suffisant pour supposer un bénéfice fonctionnel.

Un bon indicateur doit être :

- pertinent par rapport à la composante de la qualité du sol considérée et pas simplement corrélé sans relation de cause à effet

- mesurable de façon juste (le reflet de la réalité), sensible (capacité à mesurer de petites variations), fidèle (deux mesures du même objet dans les mêmes conditions donnent le même résultat) et cela, pour un coût humain et monétaire faible

- interprétable. Pour cela, il faut disposer d'un référentiel ou d'une base de comparaison.

### La biomasse microbienne

C'est la matière organique vivante (MOV). Cet indicateur détermine la masse des micro-organismes qui représentent la plus grande part de la matière vivante du sol et génèrent la plus grande part de l'activité biologique.

Un inventaire exhaustif étant bien sûr impossible, il faut se contenter d'une méthode plus globale, quantitative.

De nouvelles méthodes d'analyse permettent toutefois de commencer à voir de quoi sont constituées

F. DUMOULIN



Comptage de vers de terre.

les populations microbiennes.

On dose également la quantité de métabolites ou matière organique labile (MOL). Ce compartiment est le plus important pour apprécier le fonctionnement du sol car il évolue vite.

En prélevant dans les mêmes conditions à la même saison, on peut suivre en instantané l'évolution du sol soumis à une modification de pratique.

### Les vers de terre

Sous nos latitudes, ils sont présents dans pratiquement tous les sols et constituent la part la plus importante de la faune du sol en poids. Leur effet est important sur la macro-structure du sol, sur les populations bactériennes, etc.

Ils contribuent donc au bon fonctionnement du sol, mais sont sensibles aux agressions plus ou moins intenses que leur font subir les systèmes de culture (travail du sol, engrais, pesticides, polluants...). Leur niveau d'activité est donc un bon indicateur de la qua-

**Une biomasse microbienne élevée n'est pas suffisante pour considérer qu'un sol fonctionne bien. Il faut vérifier qu'il remplit ses principales fonctions : minéralisation, nitrification, etc. On estimait que les deux étaient corrélés comme l'ont montré Chaussod et Houot (1993). Mais, désormais, des méthodes d'analyse de l'ADN du sol (PCR) permettent de savoir, fonction par fonction, si les micro-organismes concernés sont bien présents. Ces analyses ne sont pas encore proposées en routine, mais les groupes DEPHY vont en bénéficier en 2014 dans le cadre du programme AgrInnov et une formation sera proposée en hiver 2014-15 pour que les agriculteurs intéressés puissent reproduire la démarche chez eux.**

lité biologique des sols.

### Les arthropodes

Ils sont souvent prédateurs (les arachnides, 80 % des carabes au stade adulte, 90 % des carabes au stade larvaire) et vivent dans les premiers cm du sol ou en surface. C'est là qu'ils trouvent la plupart de leurs proies (plus rarement dans la végétation, sauf pour les arachnides).

Ils sont donc à l'interface entre le sol où ils occupent le haut de la chaîne alimentaire, et la surface où ils occupent la base de la chaîne alimentaire en servant de proie à la l'agrifaune (oiseaux notamment, musaraignes, etc).

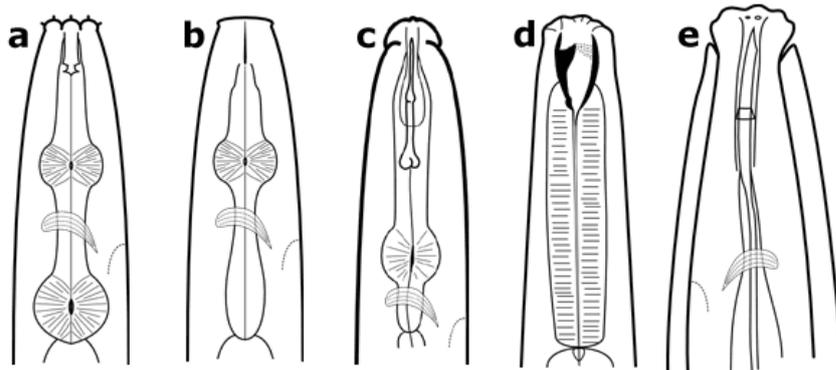


F. DUBOULON

Piège Barber.

Sous microscope, les nématodes peuvent être classés en groupes d'alimentation selon la structure de leurs pièces buccales : (a) bactéries, (b) mycelium, (c) végétaux, (d) animaux (e) omnivore.

Seuls quelques nématodes du type C sont ravageurs des cultures. (Crédit image : Ed Zaborski, Univ. de l'Illinois). En (c), on observe le stylet



On peut donc supposer qu'un sol qui fonctionne bien peut abriter davantage d'arthropodes qui contribuent au maintien de la biodiversité. Mais tout n'est pas si simple.

*Pterostichus melanarius* est plutôt considéré comme une espèce pionnière qui re-colonise les milieux perturbés. Il est donc préférable d'observer une diversité d'espèces plutôt qu'une grande quantité de ce carabe.

### Nématofaune

Dans l'esprit des agriculteurs, nématodes évoque plutôt bioagresseurs que auxiliaires.

Quand ils sont parasites, on peut envisager un déséquilibre du sol. En effet, la plupart ont plutôt un rôle dans la régulation des micro-organismes du sol.

Ce sont des vers microscopiques (de l'ordre d'1 millimètre de longueur) dont les caractéristiques en font de bons bio-indicateurs :

- ils sont présents dans tous les milieux
- ils sont abondants (de l'ordre de 1 million de nématodes par m<sup>2</sup>)
- ils présentent de nombreuses espèces (70 principales) avec une capacité à coloniser des milieux très divers grâce à des régimes alimentaires variés
- ils sont sensibles aux conditions de milieu et à ses perturbations physico-chimiques et biologiques.

Ainsi, la présence de phytophages renseigne sur la nature du couvert et le risque de perte de rendement, mais les microbivores renseignent sur l'état microbien du sol, la dynamique de la matière organique et le recyclage des nutriments.

Les omnivores et carnivores reflètent eux les perturbations physico-chimiques du milieu.



## Le gîte et le couvert dans un environnement sain

*Avant de penser à acheter de coûteux produits aux effets hypothétiques ou limités et éphémères, un certain nombre de pratiques peu coûteuses, voire sources d'économies, permettent de redonner une nouvelle santé à vos sols. Le principe est tout simplement d'offrir le gîte et le couvert à la vie du sol sans l'intoxiquer.*

### Limitier le recours aux produits phytosanitaires

#### Effets non intentionnels directs

Les produits phytosanitaires sont des biocides ; en cela, ils ont des effets délétères sur les organismes du sol. Si l'on considère que les quantités de matières actives apportées sont de l'ordre de 0,5 à 5 kg/ha et que ces produits se répartissent uniformément sur les 10 premiers centimètres de sol par exemple, on obtient des concentrations de l'ordre de 0,5 à 5 mg par litre de sol, c'est-à-dire des concentrations qui sont à peu près dans le domaine d'activité de ces matières actives ! (Davet 1996).

Or, malgré les études de plus en plus poussées et coûteuses demandées aux firmes phytosanitaires pour homologuer les substances proposées, on connaît très mal leurs effets sur les microorganismes du sol et au mieux de façon fragmentaire sur la pédofaune.

On peut citer quelques exemples de produits autorisés en France et utilisés couramment, pour lesquels certains effets ont été mis en évidence : la forte toxicité du chlorothalonil sur *Beauveria bassiana* (un Champignon entomopathogène) et sa toxicité sur *Hebeloma crustuliniforme* (un champignon myco-

rhizien), la toxicité de la deltaméthrine sur *Bembidion obtusum* (un carabe prédateur), la toxicité du glyphosate sur de nombreuses bactéries du genre *rhizobium* (fixatrices d'azote), la toxicité ou forte toxicité de la cyperméthrine sur de très nombreux prédateurs (araignées, acariens, carabes, cécidomyies, coccinelles, coléoptères, mouches, névroptères, punaises) et parasitoïdes (hyménoptères, microhyménoptères).

Ce ne sont que quelques exemples des effets répertoriés dans la base e-phy.

Les mycorhizes peuvent également être atteintes par certains fongicides, notamment quand ils sont appliqués sur les semences ou en végétation (azoxystrobine sur piétin échaudage non autorisé en France) ou pour traiter le sol (azoxystrobine sur pommes de terre).

Les vers de terre et notamment les endogés sont relativement épargnés par la plupart des produits phytosanitaires autorisés en France. Le cuivre est peu utilisé hormis en vigne (Sud de l'Aisne) et pommes de terre bio.

### Exemple de l'azoxystrobine

**Ce fongicide utilisé sur blé depuis 1997 a plutôt bonne réputation puisque présenté comme proche d'une molécule naturelle, et supposé rester dans les premiers mm de sol en s'y dégradant rapidement. En réalité, ce fongicide est utilisé dans certains pays pour lutter contre le piétin échaudage au stade épis 1cm. Il est évident que le fongicide ne descend pas aux racines via les feuilles, c'est bien le sol que l'on traite avec les dégâts collatéraux que l'on imagine compte tenu du très large spectre de ce fongicide. Le pire, c'est que le sol perturbé sera encore plus favorable aux attaques de piétin échaudage sur le prochain blé. C'est très précisément ce qui se passe en pommes de terre. L'azoxystrobine est homologuée à 3l/ha pour les traitements en localisé à la plantation contre le rhizoctone. Ceci constitue déjà une dose très élevée, et pourtant il faut progressivement augmenter la dose pour contrôler la maladie qui n'est plus concurrencée par les autres microorganismes du sol.**



De nombreuses substances qui présentaient des effets non intentionnels importants, comme le carbendazime, ont été interdits.

Les épigés sont plus exposés, mais peu fréquents en grandes cultures, hormis en semis direct sous couvert permanent. Les anéciques s'exposent la nuit quand ils émergent de leurs galeries.

Les effets les plus délétères sont provoqués par les antilimaces à base de méthiocarbe (*MesuroI*), autrement dit de mercaptodiméthure un puissant insecticide à la formulation attrayante quand il n'y a pas d'autres ressources alimentaires.

### Effets à long terme

Les phénomènes de biodégradation accélérée (carbamates, atrazine, chlortoluron, pour ne citer que quelques exemples très connus)

ont montré que les produits phytosanitaires pouvaient avoir un effet sur la nature des populations bactériennes.

L'application répétée d'une substance permet en effet à certaines populations d'utiliser le substrat carboné ou azoté que constitue la matière active apportée (Davet, 1996).

Les biocides ont également des effets indirects qui peuvent se révéler à long terme. Chaque espèce, selon la spécificité de son régime alimentaire, peut se maintenir dans les parcelles, même si les ressources diminuent.

Mais à la longue, les interventions phytosanitaires répétées peuvent diminuer l'abondance des proies ou des prédateurs. Elles peuvent également rendre les proies plus vulnérables ou les prédateurs moins efficaces, diminuer

l'abondance des compétiteurs ou modifier l'habitat (herbicides).

Ne s'agissant pas d'effets directs et immédiats, l'impact des pesticides est difficile à évaluer et n'est donc généralement pas étudié dans les dossiers d'homologation (on se contente de la DL 50).

### Limiter ou raisonner le travail du sol

#### Effet du labour

Le labour fragmente le sol et le retourne (plus ou moins selon l'effet recherché). Même s'il a un effet sur la décompaction du sol plutôt favorable aux lombrics, la fragmentation induite leur est néfaste. Ils peuvent être sectionnés ou écrasés au moment du passage de l'outil (surtout les endogés) et leurs galeries se trouvent en grande partie détruites (endogés) ou coupés de la surface (anéciques).

De plus, le retournement expose davantage les endogés aux prédateurs. Le semis direct est donc globalement favorable au développement des populations lombriciennes et notamment des anéciques, ce qui a par exemple été observé dans des essais tels que ceux de La Cage de Versailles (Inra) ou Boigneville (Arvalis) (Babalane et al., 2005).

Le reste de la faune est également perturbé par l'enfouissement qui en tue une grande partie ou les expose aux prédateurs. Dans un réseau de parcelles suivies dans le Calvados de 1989 à 1995, Chabert (2005) indique que le labour a surtout perturbé les populations d'araignées et, dans une moindre mesure, celles de carabes tout en favorisant les staphylins.

Par contre, Waligora (2005) rapporte qu'un réseau de parcelles de

### Thierry Ghéwy (réseau DEPHY herbicides)

*La connaissance du sol repose sur trois piliers : physique, chimique et biologique. L'agriculture d'aujourd'hui fait la part belle à une utilisation importante de produits phytosanitaires. En 2001, j'ai voulu reconsidérer une agriculture plus respectueuse de l'environnement et de ses équilibres naturels en introduisant les TCS sous son angle agriculture de conservation. Mais redynamiser ses sols nécessite moins de chimie, j'ai donc naturellement évolué vers la protection intégrée.*

*Mon objectif est de respecter au mieux les équilibres naturels, prêter attention à la vie du sol (son principal indicateur étant sa colonisation par les vers de terre), favoriser les auxiliaires, perturber le moins possible l'action positive des champignons rhizosphériques pour privilégier les fragiles équilibres naturels et tendre vers un système le plus « auto-fertile » possible.*

*Pour cela il faut par exemple savoir se passer d'antilimaces (destructeur des lombrics), des insecticides (destructeurs des auxiliaires), réduire l'utilisation des fongicides (destructeurs des champignons utiles à la décomposition des pailles et résidus notamment) et des régulateurs en réintroduisant de l'agronomie et de l'observation dans nos exploitations.*



F. DUBOULIN



Touraine en non labour et couvert permanent avait vu le nombre de carabes piégés multiplié par 5 avec une diversité d'espèces plus importante. Le retour d'espèces réputées sensibles aux pratiques culturales a également été observé, parfois aux dépens des espèces pionnières telles que *Platysma vulgare*.

La fragmentation affecte peu les microorganismes en raison de leur petite taille. Par contre, le retournement les affecte fortement en raison de leur incapacité à migrer vers les horizons qui leur sont favorables. On considère toutefois que la différence entre labour et non labour est faible, bien que légèrement en faveur du non labour (Doré et al., 2006).

#### Effet du non labour

Le non labour concentre l'activité microbienne en surface, ce qui a généralement un effet très positif sur la résistance à la battance par exemple ou sur une meilleure humification de la matière organique. Sur l'essai systèmes de Boigneville (Arvalis), Balabane et al. (2005) ont mis en évidence une augmentation de la biomasse microbienne entre 0 et 5 cm sous semis direct et travail simplifié (multipliée par 1,6 et 1,4 respectivement), mais pas de différence sur 0 à 30 cm.

Nous avons obtenu les mêmes résultats lors de mesures réalisées en 2010 à l'occasion de la rédaction de la note technique *Le semis direct, une technique à cultiver dans l'Oise ?*.

Par contre, la biomasse fongique augmente fortement en non labour comme cela a été mesuré sur l'essai de La Cage à Versailles (multipliée par 4 en 5 ans sous couverture végétale permanente par rapport au sol labouré) et à Boigneville (Citeau, 2008).

Il en est de même pour les populations mycorhiziennes perturbées par le labour.

En effet, contrairement aux bactéries, les champignons forment des filaments qui résistent moins bien au travail du sol, même s'il peut y avoir un effet bouillage.

#### Remarque

**Un labour d'hiver est réputé moins impactant qu'un labour de printemps car il est souvent plus dressé et le sol a plus de temps pour retrouver son équilibre avant le semis de printemps.**

#### Hubert Compère (réseau DEPHY Herbicides)



F. DUMOUJIN

*J'ai commencé à cesser de labourer simplement pour des raisons économiques, en gagnant du temps et du carburant. Mais 5 ans après, je me suis rendu compte que la surface du sol était devenue plus stable avec moins de battance et plus poreuse grâce à l'action des vers de terre. Du coup, je n'observe plus de phénomène d'érosion massif et de profondes rigoles qui se formaient au fond des talwegs au printemps ou lors des orages d'été. Par ailleurs, mes sols semblent être moins séchants pour les cultures, tout en ressuyant plus vite et en étant plus portants. J'ai aussi remarqué que mes cultures étaient moins touchées par les maladies et les ravageurs, ce qui m'a incité à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires*

#### Nourrir son sol

##### Avec des engrais verts

En plus d'être de formidables extracteurs et recycleurs d'éléments minéraux, les couverts alimentent toute la faune du sol et les microorganismes grâce aux exsudats racinaires qui contiennent entre autres des sucres issus de la photosynthèse. C'est ce qui motive d'avoir au maximum un couvert en place en permanence au-delà de la protection physique du sol et de l'alimentation des vers de terre.



C. GUEULLE

Semis sous couvert.



E. DUMOULIN

## Compost.

### Avec les résidus de culture

La première source de matière organique à utiliser pour nourrir son sol est celle produite sur place, c'est-à-dire les résidus de culture, qu'elle soit de vente ou intermédiaire. Le choix d'exporter ou non les pailles ne peut reposer uniquement sur un calcul considérant les coûts d'éléments fertilisants, de transports ou autre.

Attention aux sols pauvres en matière organique : le taux étant plus faible, la quantité minéralisée chaque année est faible. Dans ces situations, il faut donc moins de restitutions pour équilibrer et l'on conclut plus facilement que les résidus peuvent être exportés de temps à autre. Mais faut-il se satisfaire d'une faible teneur sous prétexte qu'elle est stable ?

### Avec des amendements organiques

Les apports organiques stimulent l'activité biologique du sol, avec des réserves selon la nature des apports. Ils sont notamment une source de carbone dont les lombriciens, les bactéries et les champignons ont besoin.

Dans le sol, il fait noir, la lumière n'y pénètre pas. Incorporer de la matière organique dans le sol s'est

injecter de l'énergie solaire sous forme organique. Or, l'énergie est indispensable à la vie.

Néanmoins, tous les amendements organiques ne présentent pas le même intérêt. Les fumiers frais sont très intéressants. Compostés, une partie des processus biologiques intéressants a déjà eu lieu quand ils arrivent au sol. L'idéal est le compostage de surface consistant à incorporer très superficiellement.

Les composts de déchets verts présentent l'intérêt de faire entrer de la matière organique extérieure à l'exploitation, mais la qualité est très variable. Beaucoup de composts riches en résineux (thuyas) ont en réalité un effet plutôt bloquant sur l'activité biologique du sol.

### Diversifier les rotations

L'importance des populations bactériennes dépend avant tout de l'abondance de ressources énergétiques carbonées et azotées restituées au sol (Chaussod, 1996). Ainsi, les rotations incluant des cultures restituant de grandes quantités de biomasse (céréales à paille, maïs...) ou de la biomasse azotée (légumineuses) sont favorables et d'autant plus si l'interculture est couverte.

Les monocultures sont également un facteur de régression de la capacité du sol à mycorhizer car les mycorhizes sont des symbiotes obligatoires. Il faut donc diversifier les cultures pour re-dynamiser régulièrement le potentiel de mycorhization de diverses espèces.

Sur les arthropodes, la diversité des cultures dans la rotation pourrait être un facteur de perturbation qui empêche l'installation durable de certaines espèces. Mais globa-

lement, il est reconnu qu'une rotation diversifiée a un effet favorable. Les espèces présentes sont tour à tour favorisées et elles réussissent à se maintenir temporairement même si une culture leur est peu favorable, pour mieux recoloniser le milieu ensuite.

Reboulet (1999) confirme d'ailleurs que la diversité botanique et la diversité des cultures sont des facteurs de richesse et de stabilité des populations d'auxiliaires qui favorisent leur activité.

### Choisir et doser les engrais Phosphore

La fertilisation phosphatée ou plutôt la teneur du sol en phosphore soluble disponible qui en résulte, a une incidence importante sur la mycorhization.

À l'image des sols riches en azote dans lesquels les légumineuses ne font pas de nodosités, dans les sols riches en phosphore (environ plus de 100 ppm Olsen selon l'espèce), les plantes s'alimentent préférentiellement dans la solution du sol et ne mycorhizent pas, ce qui diminue à terme la capacité du sol à mycorhizer.

### Azote

La fertilisation azotée a un effet indirect sur l'activité biologique du sol en augmentant la quantité de biomasse produite. Les organismes parasites des cultures sont également souvent favorisés car ils se nourrissent de végétaux plus riches en matières azotées favorables à leur développement.

En revanche, les sols riches en azote sont peu favorables aux bactéries fixatrices d'azote. Certaines formes d'engrais azotés ont également un effet indirect en acidifiant le sol (solution azotée), ou en y ap-



portant brusquement de grandes quantités d'ammoniaque ou d'urée (solution azotée, urée...).

### Chlorures

Le chlorure de potassium (KCl) est un sel, il a d'ailleurs la saveur salée du sel de cuisine (NaCl) avec une amertume en plus. Le chlorure de potassium a donc un effet salinisant sur le sol, peu favorable à la vie du sol et au maintien de la stabilité structurale.

### Système de culture

Le système de culture englobe toutes les techniques décrites précédemment et le niveau d'activité biologique du sol résulte de la combinaison de leurs effets (complémentarités, synergies, antagonismes...).

Pérès (2003) a confirmé le rôle prépondérant du système de cultures sur le peuplement lombricien. L'étude portait toutefois sur deux systèmes très différents (prairies permanentes vs monoculture de maïs) ce qui, pour un agriculteur, situe plutôt la comparaison à l'échelle du système d'exploitation.

Sur l'essai système longue durée de La Cage à Versailles (Inra), la biomasse de lombrics est importante en non labour (plus de 500 à 600 kg/ha), que ce soit en système biologique ou intégré.

Par contre, elle n'est que de l'ordre de 150 kg/ha en labour, que ce soit en intégré ou conventionnel. Entre l'intégré et l'intensif, les écarts sont un peu plus importants en nombre d'individus, avec environ 45 endogés en intégré contre moins de 30 en intensif.

Ce résultat suggère que les différences attendues entre nos systèmes intégrés de Picardie et des systèmes conventionnels ne devraient pas être très im-

portantes sur ce critère.

Concernant les carabes, Diwo-Allain (2003) rapporte les résultats d'une étude réalisée de 1997 à 2003 en région Centre montrant l'effet du système de culture, mais aussi de l'aménagement du territoire sur la diversité des espèces plus que sur la quantité.

### Les « activateurs » biologiques

De nombreux produits commencent à apparaître sur le marché, portés par la vague d'inquiétude des agriculteurs qui commencent à se préoccuper de la bonne santé et de la performance de leur principal outil de production !

Et en affaires, l'inquiétude est souvent mauvaise conseillère.

Il ne s'agit pas ici de condamner définitivement ces produits. Il y a un grand besoin d'expérimentation et d'évaluation pour séparer le bon grain de l'ivraie. Il est toutefois possible d'avancer quelques grands principes que soupçonnent les biologistes des sols sur la base des indices qui s'accumulent.

### Les raisons d'être prudent

Introduire un organisme dans un biotope pour corriger un dysfonctionnement, ce n'est pas nouveau. C'est l'origine du développement de la coccinelle asiatique qui supplante au moins partiellement nos coccinelles indigènes. Le même type de risque n'est pas à exclure dans les sols.

Mais la principale réserve est d'ailleurs. En effet on considère généralement que, de deux choses l'une :

- soit le sol est favorable à l'activité biologique et dans ce cas, il n'y a pas de raison qu'elle ne se développe pas compte tenu du pouvoir de colonisation phénoménal de la plupart des choses qui vivent dans le sol. Apporter quelques litres ou kilo de produit à  $10^9$  germes/millilitre ou par gramme (la concentration rencontrée dans un bon sol), dilué dans 4.000 t de terre, ne changera pas grand chose

- soit le sol est défavorable à l'activité biologique, et dans ce cas, il n'y a pas de raison que les germes sortis de l'incubateur d'une usine et apportés au sol s'y implantent et le colonisent mieux que les souches autochtones pourtant *a priori* mieux adaptées au milieu.

### Les raisons de s'y intéresser

Les activateurs pourraient toutefois s'envisager en phase de reconquête de la qualité biologique des sols. Comme en médecine, face à un sol malade, il faudra :



F. DUMOUIN

Comptage de vers de terre sur sols compactés.



- soigner la maladie : apporter plus de matière organique (résidus, apports extérieurs, engrais verts...) réduire l'effet néfaste des intrants (produits phytosanitaires, chlorures, solution azotée...), réduire les tassements, moins labourer (moins souvent et moins profond), couvrir les sols etc.

- traiter les symptômes : quand on supprime les causes d'une mauvaise activité biologique des sols, les choses doivent assez rapidement s'améliorer, mais certains activateurs biologiques pourraient permettre d'accélérer les choses.

Les progrès en la matière sont tels que l'on peut désormais identifier de nombreuses souches microbiennes ayant des fonctions particulières dans le sol et donc identifier les fonctions déficientes pour apporter des souches spécifiques afin d'y remédier.

Il est toutefois probable que les apports devront être répétés année après année. C'est donc une piste à creuser, même s'il ne faut pas retomber dans le travers consistant à soigner le symptôme plutôt que la cause du mal.

### L'illustration du soja

**Historiquement, le soja n'est pas présent dans notre région. Les bactéries très spécifiques qui réalisent la nodulation n'ont donc pas de raison d'être présentes dans nos sols. C'est pourquoi il est nécessaire d'inoculer le soja. L'inoculum est appliqué sur la semence, pour être au plus près des futures racines, mais aussi parce qu'inoculer le sol serait difficile et coûteux.**

**Il faudrait apporter des quantités phénoménales d'inoculum car celui-ci a du mal à coloniser le sol en absence de soja. Il a d'ailleurs également du mal à s'y maintenir puisque l'inoculation est à répéter chaque année pour un délai de retour du soja supérieur à 2 ans.**



CABO

## Pour conclure

**N**on, les sols cultivés ne sont pas morts, mais ils sont souvent bien malades. Leur niveau d'activité biologique est souvent faible et parfois suffisamment pour commencer à pénaliser les niveaux de production.

*Une démarche agronomique pragmatique peut permettre de retrouver des niveaux d'activité biologique plus satisfaisants en nourrissant son sol (matière organique) sans l'intoxiquer (réduction d'usage et/ou meilleurs choix des intrants), sans le perturber inutilement (moins de labours et moins profonds), tout en préservant son oxygénation (réduction des tassements)...*

*On entre alors dans une spirale vertueuse puisqu'un sol qui fonctionne bien se tasse moins, reste mieux aéré grâce aux vers de terre, détoxifie mieux les produits phytosanitaires dont on a d'ailleurs moins besoin car les processus de régulation fonctionnent mieux, et les labours sont moins nécessaires.*

*Sur l'azote, une étude (Dumoulin, 2009, conduite en Picardie a montré que les sols en protection*

*intégrée avec une meilleure activité biologique présentaient des teneurs en azote supérieures, alors que les bilans apparents (rapport apports sur exportations) étaient plus faibles. On peut donc en déduire que les pertes azotées sont plus faibles (lessivage, dénitrification...) et/ou que les sols fixent plus d'azote (bactéries fixatrices...).*

*In fine, avec un sol plus vivant, non seulement les performances économiques sont améliorées, mais la performance environnementale également avec des impacts positifs sur la biodiversité, la qualité de l'air (polluants, CES...), la gestion quantitative des eaux (ruissellements) et qualitative (sol vivant = filtre biologique).*

«Ce qui est très utile - l'eau, par exemple - n'a pas toujours une grande valeur et tout ce qui a beaucoup de valeur - les diamants par exemple - n'est pas forcément très utile.»

Adam Smith (1776), Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations

**Rédacteur**

**Francois DUMOULIN**  
**Conseiller à la Chambre d'agriculture de l'Oise**  
**Ingénieur réseau fermes DEPHY-herbicides**  
**Tel : 03 44 21 11 75**  
**[www.chambres-agriculture-picardie.fr](http://www.chambres-agriculture-picardie.fr)**

**Conception et mise en page**  
**Dominique Lapeyre-Cavé**

**Crédits photos : Chambre d'agriculture, François Dumoulin, AgrInnov.**  
**Toute reproduction totale ou partielle du document**  
**nécessite l'accord de la Chambre d'agriculture de l'Oise.**

**Ce document technique est édité avec l'aimable**  
**participation financière de l'Agence de l'eau Seine-Normandie.**



**Janvier 2015**