

## LES SOLS BIOLOGIQUES

Par Élie Dunand

À la demande de PRO NATURA, le cabinet Cultures & Sols dirigé par Élie Dunand a réalisé une étude sur la caractérisation biologique des sols auprès d'une quinzaine d'exploitations maraîchères et fruitières en agriculture biologique. Les résultats de cette étude ont été présentés lors d'une conférence organisée le 13 décembre 1999 sur le MIN de Cavaillon. Nous vous en livrons ci-après la synthèse.



Le sol est un milieu vivant qui a une naissance, un développement et une mort.

Alors que certains sols peuvent être améliorés, d'autres au contraire ont de faibles capacités d'amélioration, d'autres encore, victimes de procédés irréversibles, sont définitivement affaiblis.

Un sol biologique est un sol qui doit rester en équilibre grâce au travail de l'agriculteur, à la mise œuvre de méthodes culturales et de fertilisations appropriées, ainsi que par le respect des rotations de cultures. Ces actions doivent permettre au sol de répondre par une livraison progressive de nutriments correspondant aux besoins de la plante.

Quelles que soient la nature et l'importance des matières fertilisantes, les éléments nutritifs apportés doivent être considérés comme disponibles pour l'ensemble de la biomasse vivante du sol, dont les plantes cultivées font partie.

En agriculture biologique, des méthodes culturales appropriées, des fertilisations équilibrées et le respect des rotations de culture doivent être mis en œuvre afin que le sol réponde par une livraison progressive de nutriments pour les besoins de la plante.

En fait, la pratique de la fertilisation va consister à évaluer la dynamique d'échange des différents éléments nutritifs dans le complexe sol/plante par rapport aux besoins de la plante.

Cette cinétique<sup>1</sup> des éléments est très complexe et dépend de l'origine géologique du sol et de facteurs pédologiques, climatiques et biologiques qui interagissent entre eux.

Compte tenu d'une telle complexité, il n'est pas étonnant que les quantités de fertilisants apportés ces trente dernières années aient été calculées délibérément sur la base d'un surdosage en apport d'éléments nutritifs afin de pouvoir assurer (quelles que soient les conditions de milieu), des augmentations de rendement.

Mais, actuellement, des problèmes agronomiques primaires nous interpellent :

- baisse de la qualité et de la stabilité structurale des sols et augmentation des problèmes liés à la compaction des sols.
- augmentation de l'érosion et baisse de capacité d'infiltration des eaux superficielles
- appauvrissement des sols en matière organique stable et baisse de la qualité des agrégats de sol
- réduction de la disponibilité des sols en oligo-éléments et autres éléments majeurs en particulier phosphates.

Comment réajuster au mieux les pratiques culturales afin de maintenir une fertilité durable du sol ?

Sans doute par une meilleure caractérisation du sol, c'est-à-dire une approche globale du diagnostic des sols incluant observations de profils sur le terrain, géologie et climatologie du site, ainsi qu'analyses physico-chimiques et biologiques à différentes couches du sol si besoin. Ce programme d'analyses a été réalisé depuis 1998 auprès des 15 exploitations conventionnées par PRO NATURA.

## ○ SYNTHÈSE ET ANALYSES DE PROFILS DE SOLS PAR KARIM RIMAN



La grande diversité des sols que nous observons aujourd'hui ainsi que leur richesse est due, d'une part à leur origine (magmatique, sédimentaire ou métamorphique) et d'autre part à l'époque de dépôt (jurassique, tertiaire, etc.)

Habituellement, nous classons les sols principalement en deux groupes : les sols nés de roches calcaires et ceux nés de roches non calcaires.

La naissance d'un sol est conditionnée par la roche mère qui peut être tendre ou dure. Celle-ci subit une transformation avec changement de taille et de nature et se traduit par la formation d'argiles minéralogiques, de limons fins et par la libération d'éléments de liens, de nutriments et des « éléments insolubilisateurs » des matières organiques.

Les argiles minéralogiques et les limons fins déterminent la taille du garde manger<sup>2</sup>, et l'optimum à ne pas dépasser.

---

<sup>1</sup> Assimilé à un mouvement

<sup>2</sup> Assimilé à la taille du complexe absorbant

L'époque d'apparition et la nature des dépôts, influent directement sur la richesse des sols et sur la capacité de la roche à donner des argiles en quantité et de bonne qualité.

En ce qui concerne les alluvions, la difficulté reste la détermination de l'origine de la roche mère (pour ce faire, l'observation des sables est indispensable).

La genèse d'un sol dépend également du climat ; la température, la pluviométrie et la durée du jour déterminent la nature de la végétation, les cycles microbiens et le type d'humus.

La matière organique va suivre la voie de la minéralisation ou de l'humification. L'humus tenant lieu de mise en réserve temporaire ; celui-ci sera à son tour dégradé et minéralisé.

Le climat influe directement sur l'intensité du lessivage en relation avec la physionomie du site (le relief et la circulation de l'eau)

La liaison entre les deux mondes minéral (argiles) et organique (humus) est assurée par l'élément fer et stabilisée par les minéraux alcalino-terreux (calcium et magnésium) pour former le complexe organo-minéral.

La formation d'un sol démarre par la libération d'argiles et limons fins et leur invasion par le fer actif qui assure la liaison avec l'humus ; l'ensemble étant momentanément stabilisé par les minéraux alcalino-terreux (Ca et Mg). Ce sol présente la capacité de faire face à l'érosion (perte par minéralisation et ruissellement) afin de maintenir sa stabilité.

Le sol n'est pas immuable mais évolue selon trois phases : formation des liens, puis leur transformation (maturité) et enfin leur destruction (mort du sol).

Trois éléments fondamentaux sont à retenir de l'approche analytique proposée par Yves Hérody : le coefficient de fixation (garde manger), la mesure du fer et des éléments alcalino-terreux, la mesure de la dynamique de la matière organique et la détermination des phénomènes « d'insolubilisation ».

Les observations de terrain en productions pérennes nous renseignent sur le choix des portegriffes, le système d'irrigation et l'itinéraire technique de fertilisation du sol.

Les observations de terrain en maraîchage sont importantes pour le raisonnement du profilage du sol, de la fixation d'azote (assolement idéal), mais aussi sur le choix des espèces et des variétés ainsi que le travail du sol.

## ○ **CARTOGRAPHIE DES COUCHES ARABLES PAR LAURE BASSIGNOT**

La cartographie des couches arables nous permet de caractériser l'homogénéité et l'hétérogénéité des sols des exploitations conventionnées par PRO NATURA.

Celle-ci permet d'apprécier les caractéristiques des sols et ainsi d'anticiper leurs réactions vis-à-vis de la culture qu'ils vont supporter.

Les différents travaux en culture tiendront compte des recommandations spécifiques à leurs propres caractéristiques pédologiques.

La méthode adaptée est la caractérisation des sols en surface par des critères visuels et de toucher, sachant que les sols de la région PACA sont principalement calcaires.

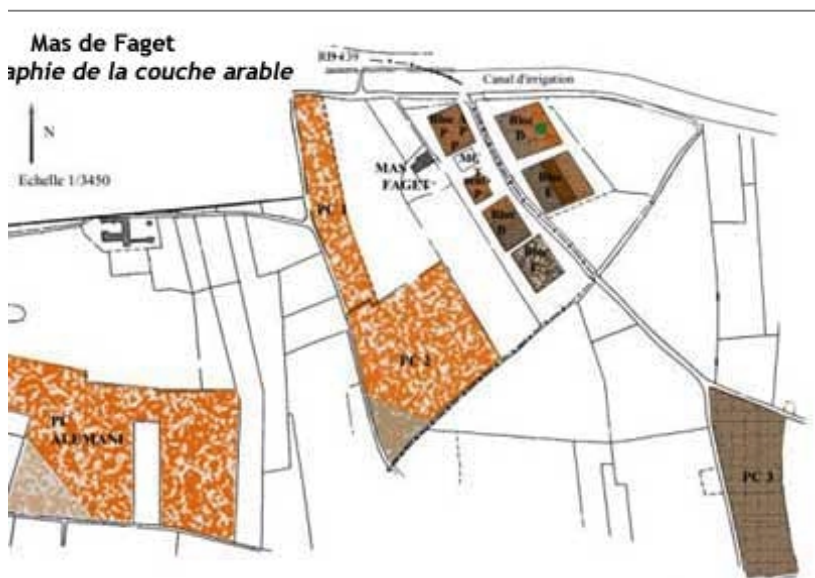
Leur couleur caractérise la richesse du sol en fer et en matières organiques. Ces dernières définissent un potentiel d'éléments nutritifs disponibles pour la plante. Le fer aura pour principale propriété d'assurer le lien entre la matière organique et la fraction minérale du sol.

Leur texture est appréciée au toucher, et révèle la répartition granulométrique entre les sables, les limons et les argiles. Celle-ci traduit le comportement d'un sol dans son organisation physique.

La « pierrosité » (ou teneur en cailloux) nous renseigne sur le pourcentage de graviers et de cailloux que le sol contient et nous apporte une indication sur l'éventuelle aération du sol, sur le drainage et sa capacité de réchauffement.

Selon le vieillissement plus ou moins avancé du sol, la « pierrosité » pourra devenir une source naturelle d'éléments nutritifs par dégradation de la roche.

Voici deux exemples de cartographies réalisées dans le cadre de la caractérisation des sols pour PRO NATURA :

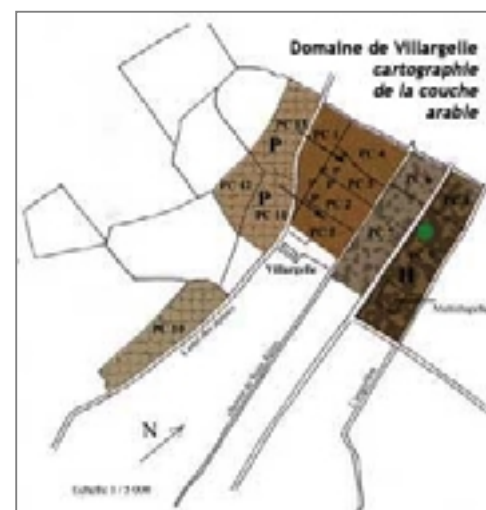


### Exploitation Mas de Faget

Cette exploitation est un exemple d'hétérogénéité des sols tant par leur couleur (concentration en fer et en matières organiques), que par leur texture (argiles limoneuses à limons sablo-argileux). Ces différents types de sols sont très appréciables pour la mise en place d'une diversité importante d'espèces cultivées favorable à la conduite d'une culture biologique.

### Exploitation mas de Méguin (domaine de Villargelle)

Cette exploitation est hétérogène par la composition des sols en fer et en matières organiques, mais également par la répartition de la pierrosité, influencée fortement par une topographie accidentée. Cette situation en pente distingue deux formations de sol : un ensemble « terres froides » composé de sols limoneux riches en matières organiques faiblement caillouteux et un deuxième ensemble « terres chaudes » formé de sols sablonneux avec présence de fer et très caillouteux. Ces différentes expositions permettent un étalement du calendrier de production, plus précoce sur « terres chaudes » et en saison sur « terres froides ».



## ○ SYNTHÈSE DES ANALYSES DE MINÉRALISATION AZOTÉE DES SOLS PAR ELIE DUNAND

Le sol est un milieu très riche en bactéries ; celles-ci dominent l'activité de minéralisation de la matière organique du sol.

Les bactéries libres (*azotobacter* et *clostridium*) et symbiotiques (*rhizobium*) associées aux légumineuses sont majoritairement impliquées dans le processus de minéralisation de l'azote jusqu'à la libération d'azote nitrique dans le sol.

Cette activité de minéralisation peut être contrôlée au moyen de tests nitrates (mesure rapide d'azote nitrique du sol). Ainsi, 435 analyses de nitrates du sol ont été effectuées depuis le dernier trimestre 1998.

Le but de ces contrôles est avant tout d'améliorer les pratiques culturales des agriculteurs et surtout d'éviter tout risque d'excès de minéralisation azotée pouvant entraîner à terme une dégradation de la fertilité biologique globale du sol. De tels excès peuvent provoquer pour la plante un déséquilibre profond dans l'assimilation des nutriments, un accroissement de la sensibilité au parasitisme et une perte de qualité alimentaire du produit.

**Pour l'environnement, ces excès peuvent dans certaines conditions entraîner des pollutions de nappes phréatiques.**

Ces contrôles permettent également un bon ajustement des apports en fonction de l'état organique du sol et du stade de la culture. Ils aident à déterminer le type d'assolement et le plan de rotation idéal incluant si besoin des engrais verts.

En pratique maraîchère, les mesures d'azote nitrique sont utiles en début de cycle mais seulement après implantation de la culture puis à la récolte pour la détermination des reliquats azotés. En culture fruitière, ces mesures sont intéressantes pour le contrôle de la minéralisation azotée au cours de la phase végétative.

Au total, chaque exploitation a pu bénéficier d'une trentaine d'analyses d'azote nitrique depuis le dernier trimestre 98.

## PERSPECTIVES :

### NOUVELLES MÉTHODES DE DIAGNOSTIC BIOLOGIQUE DES SOLS

## ○ LES ANALYSES DE MYCORHIZES PAR KARIM RIMAN

Les mycorhizes font partie du groupe des champignons. Celles-ci ont pour principale particularité de ne pas pouvoir synthétiser les glucides à partir du gaz carbonique et l'eau. Les champignons se composent d'organismes saprophytes se développant aux dépens de la matière organique morte (exemple : Coprin chevelu), de champignons parasites (exemple : *Fusarium oxysporum*) et de champignons symbiotes qui sont une association entre la plante et un champignon (graine : orchidées, racine : mycorhize).



Deux principales catégories de mycorhizes existent :

- Les ectomycorhizes, visibles à l'œil nu ; le champignon entoure la racine d'un manchon mycélien épais et pénètre à l'intérieur de la racine, mais reste entre les cellules formant le réseau de Hartig,
- Les endomycorhizes où le mycélium pénètre dans les racines et colonise l'intérieur des cellules du cortex. Les mycorhizes les plus intéressantes sont les endomycorhizes à vésicules (organe de réserve) et à arbuscules (suçoirs dans la racine).



Le rôle physiologique et l'intérêt des mycorhizes en agriculture peuvent se résumer de la façon suivante : la plante diffuse des composés carbonés et des vitamines au champignon. Ce dernier apporte en échange une amélioration dans l'assimilation des minéraux dont le phosphore, l'eau et les hormones.

Les mycorhizes ont pour autre propriété d'augmenter la tolérance aux métaux lourds et au calcaire, et de réduire les attaques des nématodes (type méloidogyne), ainsi que les attaques bactériennes (type pseudomonas) et certains champignons telluriques (type pythium).

**La dépendance mycorhizienne des plantes est très importante** : plus de 90 % des plantes possèdent des mycorhizes.

Certains végétaux ont une dépendance mycorhizienne plus importante que d'autres ; leur classement dans un ordre décroissant de dépendance est : espèces ligneuses et à bulbes, légumineuses, graminées, carotte, poireau, haricot, maïs doux, tomate et pomme de terre.

Les facteurs qui limitent la formation de mycorhizes sur les racines des plantes sont le tassement excessif du sol, l'excès de la fertilisation phosphorée et azotée, la désinfection du sol ainsi que l'emploi de fongicides dont le cuivre.

De plus, un système axé sur la monoculture incluant exclusivement les crucifères et les chénopodiacées (betterave) est très défavorable à leur maintien.

Leur introduction ainsi que leur développement nécessitent un diagnostic mycorhizien au préalable qui s'obtient par la mesure du taux d'endomycorhization des racines et par l'analyse du pouvoir endomycorhizogène du sol.

En maraîchage, l'inoculation des mycorhizes dans le terreau utilisé dans la fabrication des plants est une technique d'avenir qui devrait se développer sur légumes à haut niveau de dépendance mycorhizienne.

## ○ L'ACTIVITE MACROBIOLOGIQUE DES SOLS : LES LOMBRICIENS PAR LAURE BASSIGNOT

Dans la nature, le sol contient d'ordinaire 3 sortes de vers de terre : Les vers épigés de surface (principalement maintenus dans la litière superficielle du sol), les vers endogés situés uniquement en profondeur et les vers de terre anéciques fouisseurs et migrateurs qui se déplacent de

la litière de surface aux horizons profonds, creusant des galeries dans toute la couche arable du sol.

Les facteurs de développement relatifs à leur milieu sont :

- L'humidité du sol et la température du sol
- La texture et l'oxygénation du sol
- Le pH (acidité) du sol et la nature de la litière

### ➤ **Le rôle des lombriciens dans le maintien d'une fertilité durable**

Les principaux effets de leur digestion et leur défécation sont l'activité enzymatique et biochimique de dégradation de la matière organique puis la stimulation et le réensemencement de la microflore par les fèces. Ceux-ci participent activement à la formation de la structure grumeleuse du sol (agrégats) et au maintien de la stabilité structurale.

Le creusement des galeries sera plus ou moins rapide suivant la texture et la structure du sol. Les vers anéciques contribuent à l'enfouissement de la matière organique de surface et à la remontée de la matière minérale de la profondeur du sol. Ces galeries deviennent un axe préférentiel pour les racines. L'aération et la vitesse d'infiltration de l'eau sont améliorées pour un meilleur drainage interne du sol. De plus, les vers de terre opèrent un brassage mécanique et accélèrent le renouvellement de la surface de contact entre les agrégats de sol et la microflore bactérienne.

En conclusion, la présence de vers de terre dans le sol doit être considérée comme un atout très appréciable pour le maintien d'une fertilité durable du sol. Ceux-ci font partie intégrante d'une chaîne alimentaire de dégradation de la matière organique ; ils contribuent au travail de la terre et interviennent dans tout le bio-cycle du sol.

### ○ **LES NOUVEAUX PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES DES SOLS PAR ELIE DUNAND**

La composante microbiologique des sols est un indicateur très précis du fonctionnement des différents compartiments biologiques du sol. La fertilisation microbienne consiste avant tout à stimuler l'activité de l'ensemble des populations microbiennes, indispensables à la fonction du complexe argilo-humique.

Trois groupes de micro-organismes se distinguent :

- la population liée aux racines des plantes (ou rhizosphérique),
- celle liée à la matière organique,
- celle liée aux minéraux du sol.

**Le maintien de l'ensemble des populations de micro-organismes exige le respect d'un ensemble de pratiques culturelles incluant rotations de culture, apport de matières labiles (ou fermentescibles) et humifiées ainsi que la présence de colloïdes et minéraux en proportion satisfaisante.**

L'analyse microbiologique consiste à décrire l'état organique du sol, quantifier sa biomasse et mesurer son activité, de sorte que les méthodes culturales puissent être corrigées au cas où il y aurait une dérive de l'état organique du sol.

L'analyse microbiologique du sol est en mesure de donner des informations tangibles sur la nature de la matière organique à apporter et sur les techniques culturales de préparation du sol.

Celle-ci est en voie d'apporter une réponse satisfaisante sur la dose d'épandage de la matière organique et sur le moment optimum de complémentation en azote.

Aujourd'hui, le nombre d'analyses effectivement réalisées a permis d'acquérir une meilleure lisibilité du diagnostic microbiologique, même si les normes d'interprétation ne sont pas encore solides pour une visualisation plus précise des paramètres microbiologiques du sol.

## ○ CONCLUSION PAR ELIE DUNAND

Les nouveaux indicateurs de diagnostic biologique viendront d'ici peu compléter les méthodes d'analyse globale de fertilité biologique pour une caractérisation plus fine du sol.

Aujourd'hui, en agriculture biologique, il est temps de bien faire la distinction entre fertilisation organique et fertilisation biologique.

La fertilisation organique privilégie la plante au détriment du sol par une activation bactérienne soutenue dans le but d'une minéralisation importante de la matière organique. La conséquence de cette pratique est une mobilisation rapide des éléments minéraux rendus disponibles pour la plante, mais pouvant induire un déséquilibre profond de fertilité du sol.

À l'inverse, la fertilisation biologique consiste en premier lieu à optimiser le fonctionnement du sol tant au point de vue de son évolution que de sa composante biologique que représente l'ensemble de la biomasse. La pratique de la fertilisation de la plante interviendra dans un programme global susceptible d'apporter des réponses agronomiques pour le maintien d'une fertilité durable du sol