

Evaluer la fertilité des sols

TECHN'ITAB
maraîchage

Le sol est une structure vivante et dynamique, résultat de la transformation d'une roche mère sous l'effet conjugué de l'eau, de l'air, des températures et de la vie (végétale, animale et humaine).

Connaître la fertilité d'un sol ou l'aptitude culturale d'une parcelle, c'est pouvoir diagnostiquer ses propriétés, qu'elles soient physiques, chimiques ou biologiques, afin d'orienter les choix et les pratiques culturales. Il faut donc pouvoir utiliser les outils d'analyse disponibles, tout en connaissant leurs limites, et interpréter les résultats en les resituant par rapport aux potentialités du milieu et du système de culture. La connaissance de la fertilité des sols est une préoccupation particulièrement importante en agriculture biologique, car le sol est le pivot du système.

La fertilité des sols

La fertilité d'un sol dépend de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, les interactions entre ces différentes propriétés donnant au sol sa capacité à nourrir les plantes.

La fertilité physique

La fertilité physique d'un sol est essentiellement déterminée par trois caractères.

- Sa **porosité**, qui détermine les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère et la circulation de l'eau. On distingue la macroporosité, qui doit être suffisante pour éviter les engorgements, et la microporosité, qui doit être assez importante pour assurer une réserve d'eau facilement mobilisable.

- Sa **structure** : un horizon sera d'autant mieux colonisé par les racines et la faune du sol que sa structure est fragmentaire, fine et peu consistante (faible cimentation). Cette structure est favorisée par la présence de

matières organiques, une forte activité biologique (en particulier des vers de terre), un milieu neutre ou légèrement basique et une bonne saturation du complexe adsorbant du sol par le calcium.

- Sa **stabilité structurale**, c'est-à-dire sa résistance à la déstructuration par l'eau. Une bonne stabilité permet de réduire la dégradation de la structure. Une mauvaise stabilité structurale se traduit souvent par l'apparition et la persistance de zones tassées, qui pénalisent la prospection du sol par les racines. On a alors des risques importants de prise en masse et d'apparition de semelles et croûtes de battance.

Les apports de matières organiques, par leur complexe adsorbant et par l'activité biologique qu'ils favorisent, sont le meilleur artisan d'une bonne stabilité.

La **texture**, résultant de la composition granulométrique, est également une composante déterminante de la fertilité physique du sol. Ainsi, par exemple, la prédominance des limons par rapport aux sables et argiles augmente les risques d'instabilité structurale.

La fertilité chimique

Le sol est une réserve de substances nutritives qui proviennent de l'altération de la roche mère, de la décomposition de matières organiques et de l'atmosphère. Les racines puisent dans la solution du sol les éléments majeurs (Ca, N, P, K, Mg...) et les oligo-éléments, la composition de la solution étant régulée par le Complexe Argilo-Humique (CAH) du sol. C'est en effet le CAH du sol, dont l'importance varie en fonction des teneurs en argile et en matières organiques, qui va permettre la mise en réserve ou la libération des éléments nutritifs pour les racines. Tous les raisonnements d'apports éventuels d'éléments nutritifs doivent donc être raisonnés en fonction des besoins de la culture bien sûr, mais aussi en fonction de la taille du CAH du sol, en général mesurée par la Capacité d'Echange Cationique (CEC).

La fertilité biologique

Le sol est un milieu vivant. Il abrite, partiellement ou complètement, de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol. La plupart des réactions ayant lieu dans le sol ne sont pas purement chimiques mais **biochimiques**.

L'activité biologique du sol permet :

- la formation de pores (galeries créées par les racines, vers de terre, taupes, nématodes... logettes d'estivations..) et d'agrégats (dépôts de déjections dans le sol et à la surface du sol),
- la dissolution de minéraux issus de la roche mère (Ca, Mg, Fe, P...) et la fabrication de nouveaux minéraux (calcite, hydroxydes...),

- l'alimentation des plantes en minéralisant les matières organiques,
- l'humification des matières organiques, et ainsi leur transformation en composés stables,
- la fixation d'azote atmosphérique (bactéries libres du sol ou en symbiose avec les légumineuses),
- l'amélioration de la nutrition en eau, en phosphore et en oligo-éléments des plantes grâce à l'activité des mycorhizes (champignons établissant une symbiose au niveau des racines de la plupart des plantes),
- l'amélioration de la capacité de rétention en eau du sol lors de l'action de bioturbation de la faune.

L'activité biologique a donc des conséquences directes sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Bien que largement dépendante des conditions d'aération, d'humidité, de température et de pH, ce qui rend délicat sa quantification, sa caractérisation reste indispensable dans la compréhension du fonctionnement du sol. Les méthodes sont nombreuses et les objectifs souvent complémentaires. L'évolution des connaissances scientifiques et des demandes exprimées sur le terrain conduisent à une adaptation permanente des méthodes ; c'est le cas des analyses organo-biologiques qui s'avèrent particulièrement intéressantes en agriculture biologique.

La fertilité est très largement fonction des caractéristiques physiques du sol, qu'il faut savoir examiner avant de prescrire des analyses de laboratoire et avant d'agir en matière de techniques culturales.

Les études de terrain

Elles sont le préalable indispensable de toute étude sérieuse du sol.

- La connaissance du sol s'appuie d'abord sur les données de la **pédologie**, qui permettent de caractériser la fertilité potentielle : type de sol déterminé par une succession d'horizons de texture, porosité et charge en éléments grossiers variables ; présence de discontinuités texturales ou structurales, migrations et accumulations d'éléments (dépôts de carbonates par exemple), problèmes d'hydromorphie...



Photo de profil sous TCS (Techniques Culturales Simplifiées) avec des galeries sous l'horizon anciennement labouré dans lesquelles il est possible de voir des dépôts de Matières Organiques.

- **Le profil cultural, sensu stricto**, permet de diagnostiquer objectivement l'impact des façons culturales sur la fertilité physique des sols. Cette méthode consiste à décrire les horizons supérieurs en identifiant les états structuraux du sol (structure continue, fragmentaire ou particulière), le mode d'assemblage et l'état interne des mottes. Les descriptions sont repérées dans l'espace en liaison avec les passages d'outils. Le degré de compaction est apprécié par la porosité de l'horizon et des mottes à l'aide d'une nomenclature précise. Le profil cultural permet de déceler l'influence des passages de pneumatiques et des outils de travail du sol, de localiser les zones de lissage et de compaction et de préconiser des mesures curatives le cas échéant.

- **L'activité des vers de terre** est un indicateur biologique intéressant et relativement simple à observer. Le nombre et le type de galeries renseignent sur l'intensité de l'activité. L'étude des vers de terre renseigne

Quelques exemples de plantes bio-indicatrices

Sol riche en azote : ortie, liseron des champs, gaillet gratteron, véronique de Perse, mouron (sous abris)

Sol compacté, en anaérobiose : plantain majeur, Rumex crispus

Sol humide : renouée persicaire, pâturin trivial

Blocage du phosphore : chardon commun

pH basique : crucifères à fleurs jaunes, capselle bourse à Pasteur

des états (humidité, texture, pH, richesse organique ...) et des usages du sol (labour, travail du sol, amendement organique ou minéral, rotations culturales ...). La détermination de l'espèce, qui requiert une formation plus pointue, permet d'améliorer la qualité de l'information et renseigne sur l'état biologique du sol. Les résultats obtenus (nombre et espèces) doivent être interprétés en tenant compte du contexte agro-pédo-climatique et de la période de prélèvement.

- **L'étude des plantes bio-indicatrices** donne des indications sur l'état du milieu à une période donnée et présente l'avantage d'être facilement mise en œuvre pour peu que l'on dispose de compétences botaniques. Le postulat de base de cette méthode est que la plupart des espèces végétales ont besoin de conditions de milieu précises pour assurer la levée de dormance de leurs graines, ces conditions étant connues par l'étude de leur biotope primaire (présence naturelle des plantes, sans intervention de l'homme). La présence de certaines espèces en parcelle cultivée peut donc être révélatrice de conditions telles que : sol calcaire ou tassé, milieu anaérobie ou riche en éléments fertilisants, ...

Les analyses physico-chimiques

Elles fournissent des informations complémentaires aux observations de terrain (valeur du pH, teneur en calcium) ou supplémentaires (teneurs en éléments nutritifs). Elles permettent de tirer des conséquences pratiques sur les techniques à employer (apports d'engrais, d'amendements calciques), mais constituent aussi des points de repère indispensables pour juger de l'évolution des paramètres et donc du résultat des pratiques employées sur une parcelle. Il convient pour ce faire de prendre un échantillon représentatif (15 à 20 prélèvements dans une zone homogène) de la parcelle et de bien noter son emplacement de façon à réaliser les prélèvements au même endroit pour une analyse ultérieure.

Selon le type d'analyse souhaité, et particulièrement pour les analyses organo-biologiques, l'obtention d'un échantillon représentatif n'est pas forcément aisée.

● En analyse «classique», les analyses doivent être réalisées dans le respect des normes AFNOR par un laboratoire agréé. Les prélèvements sont de manière classique pratiqués sur la profondeur de labour, où se concentrent la majeure partie des éléments. Pour une bonne connaissance de la fertilité chimique, il est toutefois intéressant de connaître la teneur des horizons sous-jacents.

Les données intéressantes à obtenir sont au minimum :

- la C.E.C (Capacité d'Echange Cationique) qui est la mesure de la taille du réservoir en éléments nutritifs capables de passer facilement dans la solution du sol. Elle varie en général de 8 (sols sableux, pauvres en M.O) à plus de 20 mmol+ (sols argileux, riches en M.O). Le taux de saturation de la C.E.C indique le remplissage de ce réservoir, qui doit idéalement être supérieur à 80%,
- les teneurs en éléments nutritifs : phosphore assimilable, potassium, magnésium et calcium échangeables, qui doivent être interprétées en fonction du type de sol ou de la CEC et/ou depuis peu en fonction de «l'exigence» de la culture (normes du COMIFER),
- le taux de carbone total et le rapport C/N qui donnent des indications sur la matière organique totale du sol et son évolution,
- l'acidité du sol, mesurée par le pH (pH eau et pH KCl).

Il convient d'être prudent sur les normes d'interprétation qui sont utilisées par le laboratoire.

● L'extrait à l'eau, utilisé en culture sous abri, donne la richesse de la solution du sol au moment du prélèvement. C'est donc un indicateur instantané. Les normes d'interprétation viennent d'être réactualisées par le Ctifl et la chambre d'agriculture du Vaucluse.

● Le test nitrate permet d'obtenir la teneur en azote nitrique du sol à un instant donné. Très facile à mettre en œuvre, cette méthode permet de connaître la disponibilité immédiate de cet élément pour la

culture et d'ajuster ainsi la fertilisation azotée. Le prélèvement doit être réalisé sur la profondeur d'enracinement, l'ion nitrate étant très mobile dans le sol.

● Les analyses de végétal permettent d'apprécier l'état de nutrition de la plante (INN : indice de nutrition azotée) à un stade précis et, par exemple, de confirmer un diagnostic de carence. La méthode est au point pour l'azote pour les cultures telles que le blé, la fraise (en cours d'évaluation), le melon et la tomate.

Les analyses organo-biologiques

La plupart des laboratoires se bornent à doser du carbone organique total pour mesurer le taux de matière organique (MO) : $\%MO = \%C \times \delta$, δ variant de 1,72 à 2. Pourtant la matière organique ne forme pas un ensemble homogène dans le sol : particules d'origines variées, plus ou moins grossières, plus ou moins transformées et plus ou moins liées à la fraction minérale du sol.

Différentes méthodes développées dans certains laboratoires (INRA, Alma Terra) permettent de préciser les propriétés organo-biologiques du sol en caractérisant un «statut orga-



Profil de sol : sol lessivé à engorgement superficiel temporaire sur limon de plateau humide

nique» et ses conséquences en terme de fournitures d'azote.

● Les fractionnements physiques granulométriques permettent de séparer les MO figurées dites « MO libres », de taille supérieure à 50 μm , dont le renouvellement est rapide et les MO plus fines dites « MO liées », de taille inférieure à 50 μm , qui sont plus intimement liées à la fraction minérale du sol.

Ces techniques permettent donc de préciser la nature et le niveau de stabilité des matières organiques dans le sol.

● Les mesures biologiques et biochimiques permettent d'obtenir :

- la mesure de la biomasse microbienne (ensemble des micro-organismes du sol), qui quantifie la présence des principaux agents de transformation du sol,
- la mesure des minéralisations du carbone et de l'azote, qui traduisent l'activité globale de la biomasse microbienne et qui permettent d'estimer un potentiel de minéralisation. Cette mesure est intéressante pour essayer de quantifier le pouvoir alimentaire d'un sol en azote.

Ces déterminations permettent de compléter la caractérisation d'échantillons de sol. Elles ne sont toutefois pas toujours aisées à interpréter en termes agronomiques car elles varient en fonction du type de sol, du système de culture et des pratiques culturales. En attendant de voir se constituer des référentiels, leur intérêt principal est donc surtout expérimental pour comparer l'effet de traitements différents sur un même site.

La méthode BRDA-HERODY

Cette méthode combine systématiquement les approches pédologiques et agronomiques, à la fois sur le terrain et au laboratoire.

Elle s'appuie sur des observations de profils, analogues à celles pratiquées par les agropédologues, sur des données géologiques et sur des tests chimiques, non normalisés. Sont ainsi caractérisés :

Les compartiments de matières organiques (MO) de la méthode BRDA-Hérody

MO actives	MOF HS 3F	MO fugitives, petites particules facilement minéralisables Humus stable, lié à la fraction minérale 3ème fraction, molécules réorganisées mais non liées à la fraction minérale
MO passives	Ni-Ni	Molécules ni minéralisées ni humifiées qui s'accumulent dans le sol

- le Coefficient de Fixation (CF) qui donne la mesure de la proportion et de la qualité des argiles minéralogiques. L'interprétation des autres paramètres (Ca, Mg, acidité...) et les préconisations d'apport sont ajustées en fonction du CF,
- les liaisons Fer et Calcium qui assurent la liaison entre les éléments organiques et particules minérales fines du sol et ainsi la formation du complexe organo-minéral (COM),
- les teneurs en éléments fertilisants (P, K, Mg),
- plusieurs compartiments de matières organiques, actives ou passives.

Cette méthode est complète mais son interprétation est assez peu aisée car les normes sont souvent peu transparentes. Les résultats de teneurs en éléments minéraux sont en général cohérents avec ceux obtenus par les analyses chimiques classiques, mais ce n'est pas toujours le cas des autres paramètres.



Daniel CLUZEAU / Université de Rennes 1

Photo de ver de terre de l'espèce anéctique *Necodrillus giardi* qui fait des « mottes » à la surface du sol et se déplace dans le sol en faisant des galeries dans lesquelles il est possible de voir des dépôts de matières organiques.

Choisir une méthode

Parmi les outils disponibles dont nous venons de présenter succinctement les principes, le choix devra s'orienter en fonction du diagnostic souhaité :

● Outils utilisables à pas de temps large :

ils permettent de faire le point sur une parcelle et d'orienter les choix de techniques culturales pour plusieurs années. C'est le cas du profil pédologique, des analyses « classiques » (4-5 ans), des analyses organo-biologiques (2-3 ans), de la méthode du BRDA-Hérody.

● Outils utilisables à pas de temps court :

ils permettent d'affiner le diagnostic à l'échelle de la culture : profil cultural pour déceler les problèmes d'enracinement et outils de pilotage de la fertilisation (extrait à l'eau, test nitrate, analyses de végétal).

Bibliographie

- Baize D., Jabiol B., 1995. «Guide pour la description des sols», Ed. INRA.
- Baize D., 2000. «Guide des analyses en pédologie». 2ème édition revue et augmentée, Ed. INRA.
- Berry D. et al, 2001. «Entretien et améliorer la fertilité des sols maraîchers» in Forum national des fruits et légumes biologiques GRAB-ITAB, pp 127-132.
- Chaussod R., Nouaïm R., 2001. «Relations entre matières organiques, activités biologiques et fertilité» in Forum national des fruits et légumes biologiques GRAB-ITAB, pp 133-136.
- CTIFL Ferti Med. A paraître en mars 2003. «Nouvelles normes d'interprétation des extraits à l'eau».
- COMIFER. Plusieurs publications sur la fertilisation raisonnée.
- FNCIVAM, 1999. «Pratiquer la fertilisation bio», 32pp.
- Gautronneau Y., Manichon H., 1987. «Guide méthodologique du profil cultural». CEREF-ISARA, GEARA.
www.isara.fr/profilcultural
- Leclerc B., 2001. «Guide des Matières Organiques», ITAB, 238 pp.
- Massenot D., 2001. «La méthode BRDA-Hérody : un outil de diagnostic de la fertilité» in Forum national des fruits et légumes biologiques GRAB-ITAB, pp 137-140
- Penel JP, 2002. «Etude de sols viticoles en région PACA». Rapport final 43pp. Chambre d'Agriculture de Vaucluse.
- Pérès G., Prat P., Hardy Y., Rivière JM, Suire M., Cluzeau D. - Les méthodes de diagnostics agro-pédologiques. Complémentarité de l'approche "Hérody" et des approches classiques". *Les Cahiers du Bioger*, Vol 2, 128 pp,
- Ruellan A., Dosso M., 1993. «Regards sur le sol», 192 pp.
- Salducci X., 2001. «Fonctionnement biologique des sols : une nouvelle génération d'analyses de terre, l'analyse biologique» in Forum national des fruits et légumes biologiques GRAB-ITAB, pp 141-148
- Soltner D., 1992. «Les bases de la production végétale : tome1, le sol». Collection sciences et techniques agricoles.

Fiche rédigée par Hélène Vêrille (GRAB)

Remerciements : Daniel Cluzeau (Université de Rennes), Yvan Gautronneau (ISARA), Blaise Lederc (ITAB), Christophe Marrec (maraîcher), Catherine Mazollier (GRAB), Guénola Pérès (Université de Rennes) et Jean-Pierre Penel (Chambre d'agriculture de Vaucluse) pour leur relecture attentive.



ITAB : 149, rue de Bercy
75595 PARIS CEDEX 12
Tél : 01 40 04 50 64
Fax : 01 40 04 50 66
eMail : itab@itab.asso.fr
Site internet : www.itab.asso.fr



GRAB : Site agroparc - BP 1222
Bât B 84911 Avignon cedex 09
Tél. : 04 90 84 01 70
Fax : 04 90 84 00 37
Email : grab@freesbee.fr



Prix :
3€
Octobre 2003