

CARACTERISATION PHYSIQUE DES SOLS CULTIVES

* * * * *

INTERET D'UNE APPROCHE MORPHOLOGIQUE COUPLEE A DES MESURES IN SITU

* * * * *

J. BOUMA, dans un article récent (3), regrette que l'on n'accorde pas assez d'importance à la morphologie des sols avant de définir des schémas d'échantillonnage et des méthodologies d'analyse. Il est en effet très rare de trouver dans les revues de science du sol ou d'agronomie de langue anglaise une caractérisation physico-chimique du sol qui soit guidée par une analyse morphologique préalable de la variabilité inter et intrahorizon.

Grâce à S. HENIN, l'agropédologie française a la chance d'être sensibilisée depuis plus de trente ans à l'importance que revêt l'examen du profil cultural préalablement à toute caractérisation analytique. Assez couramment utilisée en France actuellement, l'approche morphologique est par contre un peu oubliée dans les régions tropicales, peut être parce qu'elle s'y démarque moins bien de la pédologie dite "générale".

Les quelques réflexions qui suivent voudraient montrer tout l'intérêt que présente pour l'étude des milieux cultivés une démarche associant l'approche morphologique familière au pédologue et les méthodes physiques propres à mesurer l'action des techniques culturales.

INTERET DE L'APPROCHE MACROMORPHOLOGIQUE

Au cours des dix dernières années, un certain nombre de travaux ont montré un regain d'intérêt dans la communauté agropédologique française pour une approche macromorphologique appliquée aux relations sol-plante-techniques culturales.

L'intérêt d'une telle approche, plus connue sous le nom de Méthode du Profil Cultural, tient à plusieurs raisons :

- 1 - La variabilité importante, spatiale et temporelle, qui caractérise l'organisation de la partie supérieure des sols cultivés. La prise en compte de cette variabilité est souvent plus pertinente pour la compréhension des mécanismes de fonctionnement du sol que ce que l'on peut attendre de l'utilisation de moyennes statistiques. Cela est particulièrement vrai pour les relations état structural - fonctionnement hydrique du sol. L'observation morphologique assure une perception immédiate, et dans une certaine mesure quantifiable, de cette variabilité.
- 2 - Le recours de plus en plus fréquent à des mesures de l'état physique effectuées in situ ou sur échantillons non remaniés amenés au laboratoire. Ces mesures et prélèvements n'ont de sens que s'ils concernent des volumes pédologiques homogènes bien identifiés dans le schéma général de l'organisation spatio-temporelle du sol établi grâce aux observations morphologiques.
- 3 - Le besoin de plus en plus souvent ressenti de pouvoir effectuer des transferts d'échelle, notamment dans les études de fonctionnement. L'approche morphologique, par les emboîtements structuraux qu'elle révèle, permet de démonter l'organisation du sol, facilitant ainsi l'analyse des fonctionnements. C'est elle qui, à l'inverse, resitue à l'échelle de l'horizon, du profil, du champ, les résultats établis sur des systèmes plus simples.

- 4 - La possibilité enfin, qui est offerte à l'agronome, d'utiliser l'approche morphologique comme un outil d'aide à la décision en matière de travail du sol, de conseil aux agriculteurs, d'évaluation des risques encourus tant au niveau des propriétés du sol que des rendements.

LA METHODE DU PROFIL CULTURAL

Mise au point par S. HENIN (5), la méthode d'examen diagnostique du profil cultural a été perfectionnée par H. MANICHON qui en a fait un outil de recherche efficace pour l'étude, d'une part des relations sol-techniques culturales (7), d'autre part des relations entre état du sol et comportement des peuplements végétaux (15).

La méthode a été adaptée au milieu tropical, avec le souci de concilier point de vue des agronomes et savoir-faire des pédologues (4).

Quatre niveaux peuvent être reconnus dans l'organisation macrostructurale du sol : le **profil cultural**, l'**horizon**, le **volume homogène** qui constitue l'unité de base de la description des sols cultivés, l'**élément structural**. Les volumes homogènes sont identifiés et cartographiés sur la face d'observation verticale de la fosse pédologique. C'est l'**état structural** qui constitue le critère d'identification immédiate des différents volumes ; sa description est donc nettement privilégiée et inclut, bien sûr, l'examen du système poral. Elle est complétée par l'évaluation d'autres paramètres, tels que la compacité, et par l'observation du système racinaire.

On peut ensuite, par simple cumul des surfaces occupées sur la face d'observation, effectuer une quantification des états structuraux présents dans un horizon ou une épaisseur donnée de sol. Cette quantification, exprimée par exemple sous forme d'histogrammes de fréquences relatives, fournit une sorte de fiche signalétique permettant :

- de juger des effets d'une technique culturale par rapport au comportement des plantes cultivées ;
- de comparer divers schémas structuraux correspondant, sur un même sol, à des contextes cultureux différents ;
- d'évaluer le caractère contraignant de certains états structuraux (tassements par exemple) et de suivre leur évolution au cours du temps.

C'est là un premier niveau, immédiat, d'utilisation des données de l'observation morphologique.

LES LIMITES DE LA METHODE

1 - Extrapolation des observations

Quelle est la représentativité du profil cultural par rapport au champ ? Assez lourde à mettre en oeuvre, la méthode d'approche morphologique est en outre destructrice ; il n'est pas question de multiplier les fosses d'observation. Il est alors très important d'essayer de relier les schémas structuraux observés à l'intérieur du sol à d'autres indices, tels que les états de surface, l'aspect et le comportement des cultures, le passé cultural de la parcelle. Ce travail de détective n'est pas toujours évident, les liaisons ne sont pas forcément étroites.

Il y a là un réel problème que l'on ne peut résoudre que cas par cas, en recherchant les solutions les plus satisfaisantes compte tenu du contexte local, des objectifs de la recherche, des moyens matériels et humains mis en oeuvre.

2 - Quantification des observations

Confrontés, au cours d'inventaires pédologiques, à la nécessité d'évaluer les aptitudes culturales des sols, les pédologues tentent souvent d'estimer certains paramètres et comportements du sol à partir des observations macromorphologiques. C'est ainsi que McKEAGUE (8) interprète les descriptions pédologiques en termes de conductivité hydraulique, d'eau utile, de capacité minimale pour l'air.

L'ANALYSE DU PROFIL CULTURAL

associe étroitement
Approche Morphologique et Mesures Physiques in situ

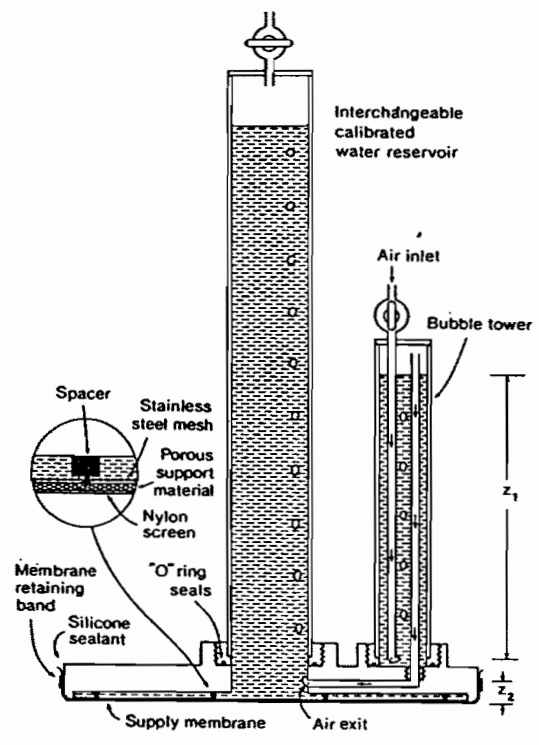
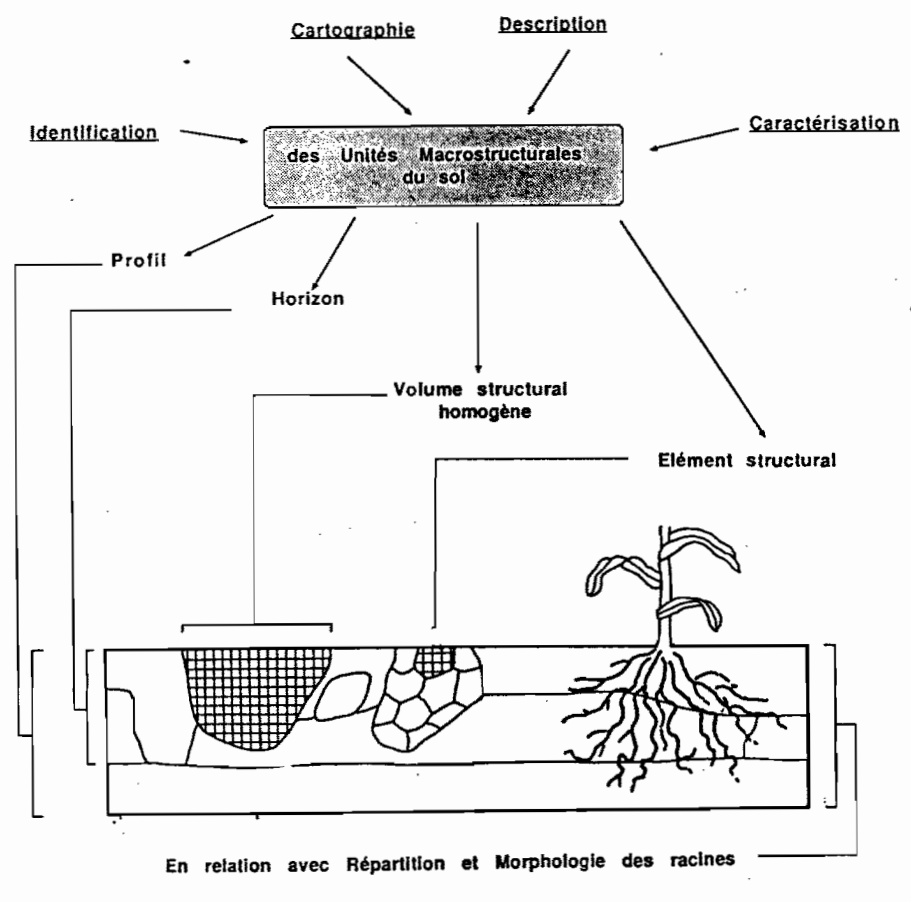


schéma d'un perméamètre à disque poreux

d'après K.M. PERROUX et I. WHITE (1988)

Dans le cadre d'études de fonctionnement menées à l'échelle de la parcelle, il est fort douteux qu'une telle démarche puisse remplacer la mesure directe des phénomènes mis en cause.

3 - Dépendance des observations

L'approche macromorphologique reste, malgré la codification des observations, empreinte d'une certaine subjectivité. Son efficacité paraît souvent liée à l'expérience et au savoir-faire du praticien, ce qui peut rebuter certains de ses utilisateurs potentiels. D'où l'intérêt, et c'est ce que nous allons examiner à présent, de coupler approche macromorphologique et mesures physiques *in situ*.

APPROCHE MACROMORPHOLOGIQUE ET MESURES PHYSIQUES IN SITU

L'approche macromorphologique fournit un schéma structural du sol à partir duquel on peut sélectionner et extraire des échantillons représentatifs des différents niveaux d'organisation étudiés (éléments structuraux, volumes homogènes). Ces échantillons sont ensuite soumis à des analyses fines au laboratoire. C'est un point très important, déjà évoqué plus haut, mais qui ne sera pas développé plus avant ici.

Un certain nombre de paramètres physiques peuvent être mesurés *in situ* et confrontés aux données de l'approche macromorphologique. Nous examinerons plus particulièrement ceux qui répondent au cahier des charges suivant :

- a) Ils doivent être des mesures de l'état structural ou de propriétés étroitement corrélées avec celui-ci.
- b) Ils doivent permettre la réalisation rapide de nombreuses mesures non ou peu destructrices de façon à pouvoir apprécier la variabilité spatiale et temporelle de la structure.
- c) Ils mettent si possible en relation l'état structural avec des propriétés et comportements intéressant les possibilités de circulation des fluides et des racines.
- d) Ils ne nécessitent enfin que des appareillages simples et robustes utilisables dans les conditions de terrain les plus difficiles.

1 - Densité apparente

C'est une mesure globale de la porosité et donc de l'état structural. Lorsqu'elle est réalisée aux différents niveaux d'organisation du sol, la mesure de la densité apparente permet une analyse des systèmes de porosité (structurale et texturale).

Elle ne renseigne pas sur la porosité réellement fonctionnelle vis à vis de la circulation des fluides.

Nécessitant généralement le creusement d'une fosse, la densité apparente apparaît alors comme une mesure étroitement complémentaire de l'approche morphologique.

Son utilisation pour l'analyse de la variabilité structurale implique le recours à des méthodes peu destructrices, telle la gammadensimétrie de surface ou de profondeur.

2 - Résistance à la pénétration (1)

La résistance à la pénétration d'une tige métallique est une mesure de l'état de compacité du sol qui renseigne sur les possibilités de passage des racines.

Non destructrice, facile à mettre en oeuvre, aisément répétable, c'est une technique intéressante pour l'étude de la variabilité structurale.

La résistance à la pénétration est une mesure essentiellement comparative ; les résultats qu'elle fournit sont très dépendants de l'état d'humidité.

C'est en sol non caillouteux, pas trop argileux, suffisamment humide mais ressuyé, que la pénétrométrie peut s'avérer une technique très efficace permettant de vérifier à l'échelle de la parcelle les schémas structuraux observés dans le profil cultural et facilitant leur suivi au cours du cycle cultural.

3 - Perméabilité à l'air (9)

La perméabilité à l'air apparaît comme un critère tout à fait intéressant de caractérisation de la structure en relation avec les chemins offerts à la circulation des fluides et des racines.

C'est une technique de laboratoire bien au point sur carottes de sol non perturbées. Son gros intérêt est de pouvoir mesurer la porosité ouverte à l'air sous différentes conditions hydriques bien contrôlées. L'air présente en outre l'avantage d'être un fluide inerte vis à vis du sol dont il ne modifie pas le système poral.

In situ, les méthodologies ne sont pas encore parfaitement au point ; nécessitant l'enfoncement d'un cylindre de mesure dans le sol, elles impliquent un contrôle très strict de la pression de l'air à la sortie du cylindre ainsi que des conditions hydriques.

4 - Perméabilité à l'eau (6)

En tant que paramètre structural, elle est à priori moins fiable que la perméabilité à l'air, en raison des interactions entre l'eau et la matrice solide du sol.

Toutefois les méthodologies sont bien au point, tant au laboratoire qu'in situ. Elles renseignent directement sur la circulation de l'eau dans le sol.

Si la perméabilité à l'eau caractérise plutôt un comportement structural, elle est cependant susceptible, surtout dans les sols peu gonflants, de fournir des informations sur la géométrie de l'espace poral, c'est à dire sur l'état structural.

Avec la perméabilité de l'horizon de surface, on rejoint un domaine essentiel en milieu cultivé, celui du processus d'infiltration dans le sol.

MACROSTRUCTURE ET INFILTRATION

1 - Infiltration, structure, comportement structural

L'infiltration de l'eau dans le sol est un processus absolument fondamental tant pour le fonctionnement actuel du sol (drainage, ruissellement, érosion) que pour l'alimentation hydrique des cultures.

La capacité d'infiltration du sol dépend au premier chef de l'état structural des quelques centimètres supérieurs et de la façon dont évolue cet état sous l'effet combiné des pluies et des techniques culturales.

La simulation de pluie est une technique très efficace pour étudier le comportement structural de l'horizon de surface, surtout lorsqu'elle est associée à une description morphologique des remaniements superficiels (16). Ce n'est pas une mesure de l'état structural.

Or, il est très important d'évaluer le rôle qu'est susceptible de jouer la macrostructure dans l'infiltration par le biais de la macroporosité fonctionnelle.

2 - Macroporosité fonctionnelle et infiltration

Les macropores d'origine biologique et tous les autres chemins préférentiels de l'eau dans le sol ont une influence considérable sur l'infiltration, c'est un fait reconnu depuis longtemps. Ils peuvent donc induire une très grande variabilité des caractéristiques hydriques à une échelle métrique, voire décimétrique. Les mesures classiques d'infiltration sous plan d'eau à charge constante rendent difficilement compte de cet effet de la macroporosité (2).

Cela a renouvelé l'intérêt pour des techniques de mesure permettant un contrôle sélectif des flux d'eau préférentiels dans les macropores et fissures.

Un moyen adéquat de contrôler le débit des macropores consiste à apporter l'eau à des succions négatives. La théorie de la capillarité permet en effet d'évaluer le diamètre maximum des pores verticaux reliés à la surface du sol dans lesquels l'eau peut pénétrer sous l'action d'une succion déterminée. Plus la succion est élevée en valeur absolue, plus diminue le diamètre maximum des pores pouvant participer au processus d'infiltration.

3 - Mesure de l'infiltration sous succion contrôlée

Des appareils appelés perméamètres à disque poreux (10) ou infiltromètres à succion (17) ont été mis au point, permettant d'effectuer des mesures d'infiltration in situ à l'échelle décimétrique sous des succions négatives. La gamme de réglage des succions (0 à -1,5 KPa) autorise un contrôle des flux hydriques dans les macropores de diamètre supérieur à 0,2 mm.

Ces infiltromètres à succion sont des appareils très simples comportant trois éléments principaux :

- Un réservoir fermé à sa partie supérieure est muni d'une échelle graduée de façon à mesurer la lame d'eau infiltrée en fonction du temps ;
- Un dispositif fonctionnant sur le principe du vase de Mariotte, règle la fourniture de l'eau en fonction de la succion choisie ;
- Une membrane microporeuse transmet l'eau en assurant un bon contact avec le sol ; elle se présente comme un disque de 10 à 25 cm de diamètre.

On procède à plusieurs séries d'infiltrations au même endroit, d'abord sous plan d'eau à charge constante, puis sous différentes valeurs de succion. Chaque infiltration est poursuivie jusqu'à obtention d'un régime permanent (17).

La comparaison des différentes valeurs de conductivité hydraulique ainsi obtenues permet d'évaluer la contribution des macropores de différents diamètres au processus d'infiltration. On peut, en appliquant la formule de Poiseuille, en déduire les valeurs correspondantes de macroporosité fonctionnelle.

L'utilisation simultanée de plusieurs infiltromètres de diamètres différents permet d'opérer en régime d'infiltration multidimensionnelle non confinée, ce qui simplifie beaucoup les mesures et réduit la perturbation possible du sol (12, 13, 14).

4 - Infiltration et paramètres de structure

Les mesures précédentes sont fondées sur la théorie de l'infiltration développée par PHILIP (11). Sans entrer dans les détails de cette théorie, il importe de savoir qu'elle met en oeuvre des paramètres reliant l'infiltration aux caractéristiques structurales du sol.

La Sorptivité (S) exprime la capacité plus ou moins grande que possède le sol à absorber l'eau par capillarité. (S) dépend de l'humidité initiale, de la succion et de la configuration porale.

(S) peut être déterminée à partir de mesures infiltrométriques sous charges positives ou négatives en traçant la variation du débit cumulé en fonction de la racine carrée du temps, et ce pour les premières minutes du test d'infiltration. (S) correspond alors à la pente de la portion rectiligne de la courbe.

La sorptivité est un paramètre dont la mesure présente beaucoup d'avantages :

- facilité et rapidité des mesures permettant de les multiplier ;
- évaluation de l'état structural avant qu'il n'ait pu éventuellement être modifié par l'eau infiltrée ;
- donnée de base permettant de calculer d'autres paramètres caractéristiques de l'infiltration saturée ou non saturée.

Le Rayon Poral Caractéristique Moyen λ_m caractérise la macrostructure fonctionnelle du sol. On le détermine facilement à partir de deux mesures de la sorptivité effectuées, l'une sous charge d'eau positive, l'autre sous succion négative.

(S) et λ_m permettent notamment de comparer les états structuraux obtenus par des techniques culturales différentes (12).

EN CONCLUSION

Dans les régions tropicales sèches, un des objectifs prioritaires qui peut être assigné aux techniques culturales est de favoriser l'absorption des pluies par le sol. La capacité d'infiltration est alors un critère particulièrement pertinent de l'état structural.

C'est ainsi que les mesures d'infiltration sous succion contrôlée ont connu une faveur certaine ces dernières années, notamment en Australie dans des programmes de recherche en matière de simplification du travail du sol.

Aisément répétables, ces mesures répondent bien au cahier des charges que nous nous sommes fixé pour l'évaluation de l'état structural et de sa variabilité spatio-temporelle. Elles intéressent essentiellement l'horizon de surface ; rien n'empêche de les utiliser également dans le cadre de l'étude du profil cultural pour caractériser la macroporosité des différents volumes homogènes.

L'approche macromorphologique étroitement couplée à la mesure de l'infiltration sous succion contrôlée nous paraît constituer un outil efficace pour étudier le comportement physique des sols tropicaux sous diverses utilisations agricoles, particulièrement dans les zones où l'alimentation en eau peut s'avérer un facteur limitant.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 J.F. BILLOT. 1982. Les applications agronomiques de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés. *Sc. du sol*, 3 : 187-202.
- 2 P. BOIVIN, J. TOUMA, P. ZANTE. 1987. Mesure de l'infiltrabilité du sol par la méthode du double anneau. 1 - Résultats expérimentaux. *Cah. ORSTOM, série Pédol.*, vol. XXIV, n°1 : 17-25.
- 3 J. BOUMA. 1990. Using morphometric expressions for macropores to improve soil physical analyses of field soils. *Geoderma*, 46 : 3-11.
- 4 P. De BLIC. 1990. L'examen du profil cultural : un outil pour mieux comprendre le comportement du sol soumis à des travaux aratoires. In *organic matter management and tillage in humid and subhumid Africa, IBSRAM proceedings n°10, Bangkok* : 385-399.
- 5 S. HENIN, R. GRAS, G. MONNIER. 1969. *Le Profil Cultural*, 2ème édition, Masson, Paris : 332 p.
- 6 F.X. HUMBEL. 1975. Etude de la macroporosité des sols par des tests de perméabilité : Application d'un modèle de filtration aux sols ferrallitiques du Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIII, n°2 : 93-117.
- 7 H. MANICHON. 1982. L'action des outils sur le sol : appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. *Sc. du Sol*, 3 : 203-219.
- 8 J.A. Mc KEAGUE, C. WANG, G.M. COEN. 1988. Description et interprétation de la macrostructure des sols minéraux. Rapport préliminaire. *Agriculture CANADA, Bull. techn. 1986-2F* : 57 p.
- 9 H. METTAUER, P. HISINGER. 1989. De l'application de la perméabilité à l'air du sol en agronomie. II - Intérêt de la perméabilité à l'air pour la caractérisation de la structure du sol et des modalités d'enracinement. *Agronomie*, 9 : 143-150.
- 10 K.M. PERROUX, I. WHITE. 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 1205-1215.
- 11 J.R. PHILIP. 1957. The theory of infiltration. 4 - Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.*, 84 : 257-264.
- 12 T.J. SAUER, B.E. CLOTHIER, T.C. DANIEL. 1990. Surface measurements of the hydraulic properties of a tilled and untilled soil. *Soil and Tillage Res.*, 15 : 359-369.
- 13 D.R. SCOTTER, B.E. CLOTHIER, E.R. HARPER. 1982. Measuring saturated hydraulic conductivity and sorptivity using twin rings. *Aust. J. Soil. Res.*, 20 : 295-304.
- 14 K.R.J. SMETTEM, B.E. CLOTHIER. 1989. Measuring unsaturated sorptivity and hydraulic conductivity using multiple disc permeameters. *J. of soil. sci.*, 40 : 563-568.
- 15 F. TARDIEU, H. MANICHON. 1986. Caractérisation en tant que capteur d'eau du maïs en parcelle cultivée. II - Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. *Agronomie*, 6 (5) : 415-425.
- 16 C. VALENTIN, J.L. JANEAU. 1989-90. Les risques de dégradation structurale de la surface des sols en savane humide (Côte d'Ivoire). *Cah. ORSTOM, série Pédol.*, vol XXV, n° 1-2 : 41-52.
- 17 K.W. WATSON, R.J. LUXMOORE. 1986. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 578-582.