3ème Réunion du groupe thématique

STRUCTURE ET FERTILITE DES SOLS TROPICAUX

Montpellier - 13 septembre 1995



- 5 SEP. 1996

HZ 000 77547, 549 = 553, (7ref.)

Montpellier ORSTOM 1996

2 ex FDI Non Num





SOMMAIRE

	Pages
COMPTE RENDU DE LA 3ème REUNION DU GROUPE THEMATIQUE STRUCTURE ET FERTILITE DES SOLS TROPICAUX	1
COMMUNICATIONS	6
• P.L. de FREITAS, P. BLANCANEAUX, R. MOREAU	6
• A.J. TAMIA, R. MOREAU, M. FORTIER	24
• P. PEREZ	35
• P. de BLIC	39
• J.P. LEFEBVRE, P. ZANTE	46
• B. DENIS	57
• D. HERVE, D. RAMOS	59
• C. De C. MEDINA, R. RALISCH, M. De F. GUIMARAES, J. TAVERES FILHO	68
ANNEXE : LISTE DES PARTICIPANTS	71

Compte rendu de la troisième réunion du groupe thématique Structure et fertilité des sols tropicaux cultivés

Montpellier, 13 septembre 1995

Cette troisième réunion a rassemblé 19 personnes de l'ORSTOM, du CIRAD et de l'EMBRAPA (liste en annexe).

Après un rappel sur l'origine et l'évolution du groupe, nous avons eu une série d'exposés sur des activités de recherche récentes ou en phase de réalisation, au cours de la matinée^{*}. L'après-midi^{**} a été consacrée à l'examen des moyens et des possibilités d'activités communes, dans le cadre du groupe.

1. RAPPEL SUR L'ORIGINE ET L'EVOLUTION DU GROUPE (R. MOREAU)

Le groupe thématique Structure et Fertilité des Sols Tropicaux s'est constitué en septembre 1993 pour mettre en contact des collègues s'intéressant à l'étude de la structure du sol et à ses relations avec la fertilité. Il s'était dégagé, parmi les participants à la réunion constitutive, une convergence de vue sur l'importance de l'organisation du sol et sur l'orientation des recherches à développer, malgré des finalités et des échelles d'appréhension différentes des diverses études réalisées.

Après deux années d'existence, on peut considérer que l'idée de se référer plus systématiquement à l'organisation, pour développer et affiner la compréhension du fonctionnement et de l'évolution des sols en relation avec la fertilité, est un élément fondamental de l'identité du groupe. Cette référence à l'organisation s'avère nécessaire aussi bien pour définir l'échelle et le contexte physique des investigations à conduire, que pour restituer, à leur juste mesure, les résultats d'étude obtenus sous différentes conditions, sur le terrain ou au laboratoire.

Cette journée du 13 septembre 1995 était une suite à la réunion du 13 septembre 1994 au cours de laquelle s'était manifestée une volonté de travailler ensemble, au travers d'actions coordonnées tirant profit de la complémentarité des compétences et des moyens existant dans le groupe. Une collaboration interinstitutionnelle (CIRAD-ORSTOM) a commencé à se développer à Montpellier, dans le domaine de la porosimétrie à mercure. Il faut cependant amplifier cet effort pour organiser des collaborations autour d'objectifs et sur des terrains d'étude communs et mettre en oeuvre une approche spécifique dont les avantages et les contraintes doivent être bien évaluées, dans un premier temps. Ce sujet était le principal point à l'ordre du jour pour l'après-midi.

^{*} Animation R. MOREAU.

[&]quot; Animation H. MANICHON.

Après deux années d'existence, le groupe thématique Structure et fertilité des Sols Tropicaux se trouve en contact avec 43 personnes de sept institutions différentes (ORSTOM, CIRAD, INRA en France; EMBRAPA et Université de Londrina au Brésil; Université de Hokkaido au Japon; Institut Hassan II au Maroc).

2. PRESENTATION D'ACTIVITES RECENTES OU EN COURS

Cette présentation a fait l'objet de huit exposés.

Les trois premiers se rapportaient à des études sur la caractérisation de l'organisation du sol et de son fonctionnement, en associant des études de terrain et de laboratoire (porosimétrie à mercure notamment).

En présentant ses résultats sur l'évolution d'un latosol des Cerrados brésiliens sous différents modes de travail, P.L. De FREITAS a souligné la difficulté de relier des paramètres édaphiques à la production végétale. Il a insisté sur la nécessité de conduire des études plus complètes au laboratoire afin de mieux comprendre l'évolution du sol et de ses propriétés, en particulier dans le domaine des micro-organisations et des propriétés physiques.

A. TAMIA a résumé son étude sur l'évolution d'un sol ferrallitique graveleux forestier de Basse Côte d'Ivoire. Son analyse du profil cultural, dans le cadre d'une approche stratifiée de l'espace, met en lumière des modifications importantes de la morphologie du sol en relation avec un développement inégal de l'enracinement du maïs. L'étude montre une assez bonne cohérence entre les déterminations de terrain et de laboratoire, en particulier au niveau des volumes morphologiques homogènes où la porosimétrie au mercure confirme et affine le diagnostic de terrain.

- P. PEREZ a présenté ses travaux sur la caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol ferrugineux sahélien cultivé, à encroûtement superficiel, au Sénégal. Un dispositif tensiocapacitif a permis de suivre les propriétés hydrodynamiques de l'horizon superficiel, sous pluies simulées. Les états initiaux et finaux ont été caractérisés par des mesures d'infiltration à succion contrôlée et des échantillons non perturbés vont être analysés au porosimètre à mercure. L'ensemble des données doit permettre d'obtenir une valeur de résistance hydraulique de la croûte superficielle et de modéliser les processus d'infiltration observés.
- P. DE BLIC a présenté la méthode de mesure de la macroporosité qu'il utilise pour étudier l'évolution de l'état physique de sols ferrugineux au Burkina Faso, sous des jachères d'âge varié et sous céréales. L'infiltration d'eau sous tension contrôlée lui permet de déterminer la porosité correspondant aux pores supérieurs à 200 µm. Cette méthode apparaît bien complémentaire de la porosimétrie au mercure qui permet d'appréhender la porosité plus fine.
- P. ZANTE a exposé le principe de fonctionnement et les résultats obtenus avec un banc d'essais rhéologiques installé au laboratoire d'hydrophysique de l'ORSTOM, à Bondy. Cet équipement permet d'établir des courbes contrainte-teneur en eau et déformation-teneur en eau, lors d'une humectation per ascensum, pour caractériser les modifications de structure d'un sol argileux suivant différentes conditions de confinement, lors d'une humectation per ascensum.

Concernant les aspects biologiques, J.L. CHOTTE a exposé le thème de ses futures recherches à Dakar, à la suite de son séjour en Australie. Il y étudiera l'évolution de la matière

organique en relation avec l'activité biologique : champignons, bactéries, nématodes et l'organisation du sol.

Pour sa part, B. DENIS a présenté son étude en cours sur les relations entre l'état structural et l'activité biologique globale (respirométrie) dans les sols cultivés de Nouvelle-Calédonie.

J.F. VIZIER a exposé les premiers résultats de l'application de la technique de l'électrodialyse sur motte de sol (VIZIER J.F., TAMIA A., FARDOUX J., 1995. CR Acad. Sci Paris, t. 321, série IIa, pp. 1163-1169). Par rapport aux résultats d'électrodialyse classiquement obtenus sur suspension de sol tamisé, la préservation de l'organisation d'un échantillon de sol conduit à une libération plus faible des éléments minéraux extraits. On note que les différences observées sont variables selon les éléments considérés : plus faible pour K que pour Ca et Mg par exemple. Les résultats ainsi obtenus sont certainement plus proches de la réalité de terrain pour estimer la disponibilité des éléments minéraux du sol.

Nos collègues D. HERVE, en Bolivie, et R. RALISCH et J. TAVARES FILHO, au Brésil, n'ont malheureusement pas pu être présents à la réunion cette année. Ils ont cependant pensé au groupe en nous adressant les documents qui figurent ici sous les intitulés : « Stabilité structurale de sols de l'altiplano bolivien ; effet de la durée de la jachère », pour la Bolivie, et « L'étude des relations des caractéristiques chimiques et physiques des sols sous canne à sucre », pour le Brésil. Nous les en remercions vivement.

3. REVUE DU PLATEAU TECHNIQUE

Les équipements existants et les déterminations réalisables dans les laboratoires participant au groupe thématique ont été passés en revue. Un travail plus complet aboutira à l'élaboration d'une plaquette de présentation pour les principaux laboratoires concernés (G. BELLIER, M. FORTIER, G.H. SALA).

On peut retenir les principaux équipements suivants :

- ORSTOM Bondy (Labo. Hydrophysique) : rétractométrie, banc gamma, banc rhéologique, logiciel Visilog, atelier de lames minces.
- ORSTOM Montpellier (LCSC) : oedométrie, stabilité d'agrégats, électrodialyse sur suspension et sur motte, simulateur de pluie et de ruissellement avec serre d'utilisation ;
- CIRAD Montpellier : profilographe laser (rugosité), mesures de pF (plaque, bac à sable), granulométrie, limites d'Atterberg, stabilité d'agrégat, porosimétrie à mercure, dessiccateur à point critique.
- ORSTOM Martinique : simulateur de pluie, granulométrie à laser, colonnes d'ultrafiltration (type TESSIER), capteurs de déplacement (type CABIDOCHE).
 - ORSTOM Ouagadougou : infiltromètres sous tension contrôlée.
 - ORSTOM Nouméa : TDR et tensiométrie.

4. PERSPECTIVES D'ACTIVITES COMMUNES ET RESOLUTIONS

En introduction, P. DE BLIC expose les éléments de sa réflexion sur la caractérisation du système sol-plante. Il considère cinq niveaux d'appréhension, en distinguant autour d'un terme central correspondant au profil cultural (pedon de la couverture pédologique, morphologie du système racinaire pour la couverture végétale), deux niveaux de rang supérieur et deux niveaux de rang inférieur.

Une telle approche reposant sur la logique de l'analyse structurale permet de caractériser et hiérarchiser les entités morphologiques constitutives des systèmes considérés. Elle a été appliquée avec profit sur le terroir de Soboka au Burkina Faso. Elle peut aussi fournir les bases d'une démarche se référant de façon systématique à l'organisation pour l'étude de sol et du système sol-plante, telle qu'elle pourrait se développer dans le cadre de recherches coordonnées sur des lieux d'étude communs.

Les possibilités offertes pour le choix de lieux d'étude communs ont été discutées. Plusieurs programmes actuels ou futurs, auxquels le groupe pourrait s'associer, ont été évoqués.

- L'action Incitative Interinstitutionnelle « Fonctionnement biologique des sols tropicaux et gestion durable des terres » (C. FELLER). Cette AII regroupe l'ORSTOM, le CNRS, l'INRA et le CIRAD et concerne la zone des savanes en Afrique, le Brésil, la Guyane et la Martinique en Amérique. L'organisation en paraît trop avancée pour envisager une participation du groupe en tant que tel ; toutefois des membres du groupe participent déjà à certains des programmes figurant dans l'AII.
- Les initiatives écorégionales (H. MANICHON). Le leadership est assuré par le CGIAR ; mais la France s'organise pour participer très activement aux programmes écorégionaux. La démarche écorégionale s'efforce d'intégrer les différents facteurs intervenant dans la gestion durable des ressources du milieu, sur un espace donné. Trois séries de facteurs sont considérés : (i) les facteurs biophysiques : climat, sol, plante et les pratiques agricoles, (ii) les filières et les besoins du marché, (iii) les politiques définissant les règles qui régissent les activités des sociétés. L'enjeu scientifique est important. Il s'élabore un projet CIRAD-ORSTOM sur les savanes soudaniennes d'Afrique Centrale (Tchad, RCA, Cameroun), auquel nous pourrions participer si nous sommes suffisamment disponibles.
- Le projet de Banque Mondiale sur les Land Quality Indicators : LQIs (H. MANICHON). Ce projet se propose d'établir des indicateurs de qualité des terres, pour aider à définir les priorités et à prendre des décisions appropriées pour ce qui touche à la gestion des ressources à toutes les échelles : locale, régionale, nationale, internationale. Il s'agit, dans un premier temps, de travailler à partir des données existantes pour sortir des LQIs dans différentes zones agro-écologiques du monde. Ces indicateurs seront ensuite évalués sur des projets pilotes où l'on verra aussi si des indicateurs nouveaux sont nécessaires.
- Le Congrès de l'AISS en 1998, à Montpellier, est aussi évoqué en se référant aux symposiums prévus dans les domaines de préoccupation des membres du groupe. Cette manifestation peut déjà donner au groupe l'occasion de montrer ses capacités d'action en faisant ressortir l'importance donnée aux études de physique du sol et en particulier du profil cultural dans les recherches sur la fertilité édaphique, par les pédologues et agronomes français et leurs partenaires dans différents pays; ne serait-ce qu'en assurant une certaine cohérence

dans la présentation des résultats sous forme de communication ou de poster, au congrès. Cela impliquera forcément un minimum de concertation entre les participants.

5. CONCLUSIONS ET RESOLUTIONS

On peut résumer en cinq points les éléments de conclusion et les résolutions ressortant de cette troisième réunion du groupe Structure et Fertilité des Sols Tropicaux.

- La relation existant entre l'état du sol et la production végétale relève de plusieurs facteurs. Il paraît vain, à cet égard, de vouloir trouver « le » meilleur critère édaphique de fertilité...
- Les études réalisées au laboratoire, sur échantillons remaniés ou non, ont fait des progrès très significatifs. La restitution et la valorisation, sur le terrain, de ces résultats de laboratoire dépendent de la façon dont la caractérisation du sol et les prélèvements d'échantillons ont été réalisés *in situ*. La question des relations laboratoire-terrain apparaît comme un élément important des préoccupations du groupe.
- Les membres du groupe Structure et Fertilité des Sols Tropicaux considèrent qu'une étude rationnelle du système sol-plante doit s'appuyer sur une démarche se référant plus spécifiquement à l'organisation des entités structurales composant ce type de système. Il n'a cependant pas été possible, pour le moment, de retenir de lieu pour la mise en oeuvre d'une telle démarche. Toutefois, les conversations qui se sont tenues après la réunion ont permis d'avancer de façon positive sur ce plan.
- Pour avancer de façon effective, il apparaît nécessaire de disposer, à brève échéance, d'un document définissant et justifiant la démarche envisagée. Un groupe de volontaires (A. ALBRECHT, G. BELLIER, J.L. CHOTTE, H. MANICHON et R. MOREAU) s'est engagé à rédiger dans les meilleurs délais un premier texte de positionnement à ce sujet.
- Une plaquette de présentation des équipements et des déterminations réalisables dans les laboratoires du CIRAD et de l'ORSTOM, pour les études en rapport avec l'état et le fonctionnement physique des sols, sera réalisée au cours de l'année 1995-1996.

R. MOREAU

Il est apparu que la façon la plus réaliste d'envisager le choix de lieux d'étude en commun était de considérer les endroits où intervenaient des collègues travaillant sur l'état structural des sols et où des situations suffisamment différenciées pouvaient être analysées et comparées. Deux pays répondent bien à ces conditions : le Burkina Faso et le Brésil. P. DE BLIC, pour le premier, et P. BLANCANEAUX, pour le second, ont accepté d'examiner, en concertation avec les partenaires locaux, les situations qui pourraient convenir pour un premier exercice de groupe : en particulier celles qui sont liées à des essais de longue durée.

Caractérisation des sols des Cerrados Brésiliens (Savanes) sous différents systèmes de gestion dans le cadre de l'analyse morpho-structurale

FREITAS Pedro Luiz de¹, BLANCANEAUX Philippe ², MOREAU Roland ³

¹ Ingénieur Agronome, Ph.D.; Chercheur EMBRAPA / C N P S (Centre des Recherches Agronomiques des Sols), Rio de Janeiro, RJ, Brésil; actuellement dans un programme de post-doctorat à NORSTOM/LCSC; Montpellier, France.
² Pédologue, Docteur, Chercheur ORSTOM / EMBRAPA - C N P S , Rua Jardim Botânico, 1024; 22460-000, Rio de Janeiro, RJ.

> ³ Ingénieur Agronome, Pédologue, Chercheur ORSTOM/LCSC; 911, av. Agropolis; B.P. 5045; 34032, Montpellier, France.

RESUME

Les Latossolos (sols ferrallitiques fortement desaturés) sont les sols les plus fréquents et les plus utilisés des Cerrados Brésiliens, avec une potentialité élevée pour l'agriculture mécanisée intensive. La durabilité de l'exploitation agricole dans cette région dépend de l'adoption de systèmes de gestion alternatifs. L'évaluation de ces systèmes doit s'appuyer sur la mise en oeuvre d'approches méthodologiques, comme l'analyse morphostructurale, permettant, en particulier, la caractérisation de l'état structural du sol. L'analyse morphostructurale permet l'identification des différents horizons pédologiques et la caractérisation des unités pédologiques homogènes (UPH), qui résulte de l'activité anthropique et sont directement liées à l'action des outils agricoles.

Une série de résultats et quelques corrélations obtenues à partir de l'évaluation de différents systèmes de gestion du sol, dans le cadre d'un travail basé sur l'analyse morpho-structurale, sont présentées. Ce travail résulte d'une coopération entre l'EMBRAPA/CNPS et l'ORSTOM, concernant l'étude des facteurs et mécanismes de modification de la structure des Latossolos des Cerrados Brésiliens. On y considère différentes situations comprenant une parcelle sous végétation naturelle anthropisée(CER), une parcelle sous pâturage cultivé de longue durée (PAL) et deux parcelles expérimentales (succession maïs/haricot), correspondant à un système de gestion conventionnel (CCL) et un système de gestion alternatif par semis direct (PD).

L'analyse morpho-structurale permet de mieux préciser l'évolution du sol d'après la variation des caractères d'organisation morphologique et d'observer les effets des différents systèmes de gestion du sol, d'après la caractérisation de l'espace poral, des propriétés structurales et de la stabilité des agrégats à l'eau. Nous avons observer une macro-structure très fragile du sol sous végétation naturelle (CER) et une meilleure définition macro-structurale sous culture, du fait d'une netteté plus grande et d'une cohésion d'ensemble plus forte.

L'application de l'analyse morpho-structurale peut être considérée comme un outil de diagnostic pour appréhender l'impact de systèmes de gestion du sol et pour identifier les processus de dégradation structurale du sol. Cette approche apparaît très utile pour mieux évaluer et comparer les effets des systèmes de gestion du sol, en réalisant les recherches chez les agriculteurs ou en stations expérimentales. Elle constitue un moyen approprié et indispensable a l'étude des indicateurs de durabilité des systèmes agro-sylvo-pastoraux.

Mots-Clés: Analyse Morpho-structurale - Unités Pédologiques Homogènes

Cerrados (Savanes) - Brésil - Systèmes de gestion du sol

Cohésion - Espace Poral - Propriétés structurales - Stabilité

INTRODUCTION

Avec 2 millions de km², la région des Cerrados du Brésil représente approximativement un quart de la superficie du territoire brésilien. La majeure partie de cette région possède un climat caractéristique d'une région tropicale sub-humide, avec une précipitation moyenne annuelle de 1 500 mm, répartie entre les mois d'octobre et d'avril. Les Latossolos (sols ferrallitiques fortement desaturés) sont les sols les plus fréquents et les plus utilisés dans cette région. Ce sont des sols très évolués, de faible capacité d'échange cationique (CEC), d'acidité élevée, de forte capacité d'adsorption du phosphore et, en conséquence, de faible fertilité naturelle (Blancaneaux et al., 1994a). La culture de ces sols est possible après correction des déficiences chimiques par chaulage et fertilisation (N, P, K + oligo-éléments).

Dans les zones non exploitées, ces sols présentent des caractéristiques favorables: profondeur, friabilité, porosité, aération et drainage, qui, outre le relief peu accentué, leur confèrent une potentialité élevée pour l'agriculture mécanisée intensive. Toutefois, à la suite de la mise en culture, apparaissent des modifications du sol qui se manifestent par une dégradation structurale très importante, une diminution de la teneur en matière organique et une évolution défavorable des propriétés physico-hydriques. Ces modifications conduisent à une augmentation de la susceptibilité à la compaction ou tassement, à la pulvérisation, au ruissellement et à l'érosion (Freitas, 1994). Les systèmes de gestion conventionnels, utilisés dans les Cerrados, sont tenus comme responsables d'une réduction importante du rendement des cultures installées (Goedert et Lobato, 1986). Cette réduction résulte de l'utilisation intensive et continue des mêmes outils agricoles, presque toujours inappropriés pour le travail des ces sols ferrallitiques tropicaux.

L'adoption de systèmes de gestion alternatifs, comme le semis direct, associé à d'autres pratiques agroécologiques (rotation des cultures, utilisation d'engrais verts ou cultures de couverture, lutte antiparasitaire
intégrée, contrôle intégré des herbes, conduite rationnelle du pâturage, etc.) a été présentée comme option afin
d'assurer la durabilité de l'utilisation agricole dans cette région (Freitas et Blancaneaux, 1991). Pour rendre
viable l'utilisation de pratiques agro-écologiques alternatives, il est nécessaire de perfectionner les techniques
de fertilisation, de chaulage, de lutte antiparasitaire et d'améliorer les systèmes de plantation et de couverture
du sol. L'évaluation de ces systèmes alternatifs doit s'appuyer sur la mise en oeuvre d'approches
méthodologiques devant prendre aussi en compte la différenciation de l'état structural du sol. Freitas et al.
(1996) ont proposé l'analyse morpho-structurale comme un outil nécessaire à l'étude des effets de l'utilisation
des sols ferrallitiques des Cerrados, à partir de la caractérisation morphologique de l'état structural, considéré
comme un indicateur de durabilité des systèmes de gestion. Cette approche permet aussi de rationaliser le
prélèvement d'échantillons et les déterminations chimiques, physiques et biologiques réalisées sur le terrain et
au laboratoire, en se référant à un contexte organisationnel du sol bien défini.

L'approche morpho-structurale s'inscrit dans un contexte agropédoclimatique bien défini à l'échelle locale, visant à mieux apprécier l'impact des activités humaines sur le milieu (dégradation, amélioration, préservation) et les conséquences sur la durabilité des systèmes de gestion des cultures. Un tel contexte se défini, en particulier, d'après la variation des composantes climatiques, la différenciation des couvertures pédologiques, l'état d'occupation et d'évolution des sols. (Moreau, 1993).

La méthode de l'analyse morpho-structurale a été adaptée et proposée pour l'étude des sols des Cerrados Brésiliens par Blancaneaux *et al.* (1991) à partir des méthodes de description du profil pédologique et du profil cultural (Gautronneau et Manichon, 1987). Elle se fonde sur l'identification des différents horizons

(pédologiques ou anthropisées) qui comprennent une ou plusieurs unités pédologiques homogènes¹ (UPH), correspondant à des ensembles bien définis d'éléments structuraux. La caractérisation de ces unités est faite à partir de l'examen macro-morphologique des profils représentatifs des différentes situations de gestion du sol, en considérant notamment l'état structural, l'activité biologique, le développement et l'orientation des racines. Les caractéristiques des UPH résultent de l'activité anthropique et sont liées directement à l'action de divers outils agricoles. L'analyse est complétée par différentes mesures sur le terrain (pénétrometrie, infiltration de l'eau et profil hydrique) et diverses déterminations physiques, chimiques et biologiques réalisées au laboratoire, sur échantillons représentatifs des UPH identifiées (Blancaneaux et al., 1994b).

Nous présenterons ici une série de résultats et quelques corrélations obtenues à partir de la caractérisation de l'état structural des sols pour différentes situations de référence, dans le cadre d'une étude basée sur l'analyse morpho-structurale. Ce travail résulte d'une coopération entre l'EMBRAPA/CNPS et l'ORSTOM, concernant l'étude des facteurs et mécanismes de modification de la structure des Latossolos (sols ferrallitiques) des Cerrados Brésiliens. Ces études ont porté sur l'observation et la comparaison entre différents systèmes de gestion des cultures et, en particulier, de préparation du sol (Blancaneaux et Freitas, 1995).

MATERIEL ET METHODES

L'étude porte sur un sol ferrallitique très desaturé, argileux et rouge sombre ("Latossolo Vermelho-Escuro argiloso distrófico, relevo suave ondulado") développé sur la couverture detrito-lateritique du quaternaire, sous végétation de cerrado (savane arborée). Quatre situations représentatives des systèmes de gestion de sol des cerrados sont comparées:

A) sites représentatifs des situations en équilibre sous végétation pérenne:

- <u>Cerrado</u> (C E R): sous végétation naturelle anthropisée, "campo-cerrado" ou savane arborée ouverte après un défrichement sélectif, avec l'introduction de bovins pendant la saison sèche (Station Expérimentale F.M.Carneiro de l'EMGOPA à Goiânia).
- 2. <u>Pâturage Cultivé longue durée</u> (P A L): Brachiaria brizanthae, renouvelé depuis cinq ans, avec une gestion rationnelle évitant sa dégradation (Station Expérimentale de Zootechnie de l'EMGOPA à Senador Canedo, Goiás).
- B) parcelles expérimentales sous cultures avec différents systèmes de travail du sol; succession de deux cycles annuels de maïs pluvial (Zea mays) / haricot irrigué (Phaseolus vulgaris) depuis cinq ans²:
 - <u>Culture Conventionnelle Longue Durée</u> (C C L): labour à pulvériseur offset "cover-crop" travaillant sur 15 cm, suivi d'un double passage de pulvériseur à disque niveleur (5 à 10 cm), avec incorporation d'herbicide non-sélectif (trifuraline);
 - 2. <u>Plantio Direto</u> (**P D**): semis direct sur résidus de la culture précédente et application d'herbicide non sélectif, avant semis.

Pour la caractérisation du sol sur le terrain, nous avons utilisé l'analyse morpho-structurale (Blancaneaux et al., 1994b) faite à des endroits choisis en fonction de leur représentativité pour chaque situation considérée.

¹ équivalents des "unités morphologiques" d'après Gautronneau et Manichon (1987) et des "unités morphologiques homogènes" d'après De Blic (1994).

² dispositif expérimental décrit par Blancaneaux et Freitas (1995).

Pour CER et PAL les observations ont été réalisées en octobre, 1994. Pour les parcelles expérimentales (CCL et PD) les observations ont été réalisées sur culture de haricot, en août, 1994. Cette approche a permis l'identification des horizons pédologiques et la description et caractérisation des UPH. La résistance à la pénétration a été mesurée horizontalement avec un pénétromètre de poche à aiguille conique type Yamanaka (DAIKI push-cone, mod. DIK-5551) (Moreau et Nagumo, 1995).

Les échantillons ont été prélevés sur l'UPH la plus représentative de chaque horizon pédologique identifié et les déterminations suivantes ont été réalisées:

- densité apparente et courbe pF sur cylindres de 100 cm³ (pF 1,78; 2,00; 2,52; 3,00; 3,48 et 4,18;
- courbe de retrait du sol, sur échantillons cylindriques de 50 cm³ (Braudeau, 1993),
- intrusion de mercure sur échantillons de 2 à 3 cm³, déshydratés à l'étuve à 105 °C (Porosimètre Micrométrics - Pore Sizer 9310).
- distribution des agrégats stables, sur agrégats de 4 à 8 mm de diamètre (Freitas et Blancaneaux, 1994 d'après Kemper, 1965).

Les déterminations ont été faites dans les Laboratoires du CNPS/EMBRAPA, à Rio de Janeiro, de l'EMGOPA, à Goiânia (Brésil), et dans les laboratoires de l'ORSTOM, à Montpellier et à Bondy, et du CIRAD, à Montpellier (France).

		•		,										SABLE	SAFELE			ARG		ACHDE T	RIACIDE	;
Prof.	pΕ	pΗ	A	H+A	Ca+Mg	K	S	CEC.	S/T	P	C	N	C/N	CIROS.	FIN	LIMON	ARG	NAT.	2007	Al ₂ O ₃	FqO,	$T_{1}O_{3}$
con	CâM	KON			— cana) / hq			_	%	bhar	%					%				%		• • • •
1. CER(végétati	ion na	turel a	anthro	pisée d	e ''Ce	rrado	'')														
0-10	5.5	4.2	0.6	6.4	0.8	0.29	1.2	7.6	16	< 1	226	0.16	14.1	9	25	20	46	30	5.2	18.8	9.1	1.44
10-20	5.2	4.2	0.6	4.9	0.3	0.12	0.5	5.4	9	<1	1.96	0.13	15.1	9	2 6	19	46	33	5.0	19.7	9.2	1.44
20-40	5.4	4.3	0.4	4.0	0.3	0.09	0.4	4.4	10	< 1	1.37	0.11	12.5	7	25	18	5 0	38	7.0	2 0.9	10.1	1.43
40-60	5.4	4.6	0.0	26	0.3	0.06	0.4	3.0	13	<1	1.07	0.08	13.4	6	25	19	5 0	0	7.8	21.5	10.0	1.41
60-80	5.5	4.9	0.0	20	0.3	0.04	0.4	24	16	< 1	1.01	0.07	14.4	6	25	18	51	0	5.7	19.6	10.1	1.51
80-100	5.6	5.2	0.0	1.6	0.3	0.04	0.4	20	2 0	<1	0.80	0.06	13.3	6	25	18	51	0	6.7	21.6	10.4	1.53
2 PAL(F	Pâturag	e Long	gue D	urée)																		
0-10	5.9	4.8	0.8	3.5	1.0	0.79	1.8	5.3	34	2	220	0.16	13.8	11	37	16	36	32	7.6	13.7	9.1	1.29
10-20	5.4	4.6	0.6	3.2	0.5	0.32	0.8	4.0	21	1	1.61	0.10	16.1	11	34	17	38	31	80	15.4	9.6	1.23
20-40	5.4	4.8	0.4	22	0.4	0.22	0.6	28	22	1	1.08	0.08	13.5	9	35	15	41	29	81	17.3	10.0	1.25
40-60	5.6	5.2	0.0	1.7	0.2	0.15	0.4	21	17	1	0.96	0.07	13.7	9	33	17	41	0	82	17.3	9.9	1.32
60-80	5.7	5.6	0.0	1.2	0.2	0.16	0.4	1.6	24	< 1	0.83	0.05	16.6	9	34	16	41	0	87	17.3	10.7	1.36
80-100	5.8	5.7	0.0	1.0	0.1	0.15	0.3	1.3	21	<1	0.69	0.05	13.8	8	33	18	41	0	84	17.2	10.2	1.24
3 CCL (Culture	Conv	entior	nel le	Longu	Dur	œ)															
0-10	5.2	4.4	0.0	5.1	1.1	0.46	1.6	6.7	24	30	214	0.15	143	9	26	15	50	33	80	20.2	12.1	1.79
10-20	4.7	4.2	0.0	4.7	0.7	0.24	1.0	5.7	17	11	1.94	0.11	17.6	9	25	18	48	33	82	19.5	114	1.77
20-40	4.9	4.4	0.0	3.3	0.4	0.18	0.6	3.9	15	1	1.39	0.09	15.4	7	27	14	52	0	7.3	181	123	1.78
40-60	5.1	4.6	0.0	26	0.4	0.18	0.6	3.2	18	1	1.03	0.07	14.7	8	26	15	51	0	8.3	20.7	11.8	1.86
60-80	5.4	5.2	0.0	1.9	0.5	0.13	0,6	25	25	< 1	0.83	0.06	13.8	7	27	14	52	0	82	20.1	122	1.88
80-100	5.7	5.6	0.0	1.3	0.5	0.14	0.7	20	33	1	0.67	0.06	11.2	7	28	13	52	0	87	208	126	1.70
4 PD(Ser	nis Dir	ect)																				
0-10	5.3	4.5	0.0	5.3	3.0	0.59	3.8	9.1	41	43	2.17	0.15	14.5	9	25	15	51	40	6.0	21.3	11.9	1.97
10-20	5.2	4.5	0.0	5.1	1.6	0.29	20	7.1	28	13	1.81	0.12	15.1	8	24	17	51	4	5.5	229	120	1.89
20-40	5.2	4.5	0.0	3.4	1.2	0.17	1.4	4.8	30	<1	1.42	0.09	15.8	7	23	19	51	4	4.3	24.1	123	1.84
40-60	5.4	4.9	0.0	24	0.7	0.10	0.8	3.2	26	< 1	1.09	0.07	15.6	5	24	16	55	0	4.2	24.0	121	1.78
60-80	5.4	4.9	0.0	24	1.1	0.11	1.2	3.6	34	<1	0.87	0.06	14.5	6	24	17	53	0	4.9	25.0	124	1.86
80-100	6.0	5.7	0.0	1.5	1.1	0.15	1.3	28	47	<1	0.83	0.05	16.6	6	23	18	53	0	4.8	25.2	124	1.84

prélèvement realisé dans l'hiver 1994 pour les situation CER et PAL, et dans l'été 93/94 pour les situation CCL et PD (culture de mais).

méthodes:

Acidité potentielle (EH-AL): déterminée à pH 7,0 avec acétate de calcium (CNPS/Rio)

Kéchangeable et Passimilable: solution de HCI 0,05 N + H2SO4 0,025 N (CNPS/Rio)

CEC7: somme de cartions échangeables et acidité potentielle

Carbone Total: Déterminé par combastion - LECO CHN-600 Elemental Analyser (ORSTOM/LCSC, Montpellier)

Azote: digestion au sulfate de Na et Cu, digestion par volumétrie et destilation (CNPS/Rio) Granulométrie: dispersion avec NaOH et agitation mécanique (CNPS/Rio)

Tableau 1. Caractéristiques chimiques et physiques du sol pour les quatre situations considérées

Les caractéristiques analytiques du sol, déterminées sur échantillon composite (neuf prises élémentaires) pour chaque situation (Tableau 1), nous permettent de faire les observations suivantes:

- texture argileuse sous les différentes situations (50 % d'argile), avec une teneur sensiblement plus faible pour PAL (40 %);
- variation de pH avec la profondeur: augmentation légère du pH (eau) et plus forte de pH KCl;
- valeurs faibles d'acidité potentielle (à pH 7,0), des bases échangeables et de CEC, avec une importante diminution avec la profondeur;
- teneurs en carbone total très comparables: entre 2,17 et 2,26 % en surface (0 à 10 cm);
- teneurs en SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ et Ti₂O₃ du même ordre de grandeur, indiquant une minéralogie comparable dans les différents profils.

RESULTATS ET DISCUSSION

La description morpho-structurale des différents horizons pédologiques (Tableau 2) permet de mettre en évidence l'état d'évolution du sol sous pâturage et sous culture, par comparaison avec le sol sous végétation naturelle (CER). Dans cette situation témoin, on constate une macro-structure très fragile, avec une faible cohésion d'ensemble et une faible netteté des éléments structuraux identifiés, qui caractérise la fragilité structurale du sol; par contre, le sous-structure granulaire est très nette. On observe une meilleure définition macro-structurale (cohésion d'ensemble, netteté et stabilité des éléments structuraux) sous pâturage (PAL). Des caractéristiques de dégradation structurale (très forte cohésion d'ensemble et forte résistance à la pénétration dans l'horizon AB) se manifestent avec le système de gestion conventionnel (CCL). Le système de gestion alternative de semis direct (PD) apparaît comme une possibilité d'amélioration de l'état structural du sol dû à une macro-structure très nette (polyédrique sub-anguleuse, avec cohésion d'ensemble modérée et une faible résistance à la pénétration) observée jusqu'à 32 cm.

Les aspects morpho-structuraux observés sur le terrain pour les quatre systèmes de gestion considérés suggèrent une modification de l'espace poral, qui détermine la dynamique de l'eau et la croissance des racines. Nous avons affiné ces observations pour mieux caractériser l'espace poral des UPH les plus importantes dans les horizons existants. Cette caractérisation a été faite selon différentes méthodes qui permettent d'étudier en détail la distribution des différentes classes de taille de pores, en relation avec leurs fonctions. L'analyse de la courbe de retrait a également permis d'apporter des éléments de caractérisation complémentaire des propriétés structurales.

Densité apparente et courbe pF

La densité apparente, la porosité totale et la distribution de pores, déterminée d'après la courbe pF, sont présentées à la figure 1. On constate, sur la situation CER, une augmentation de densité apparente de la profondeur vers la surface, en concordance avec les modifications observées pour la sous-structure (granulaire en BA et Bw et sub-anguleuse et granulaire en A_2). Cette augmentation traduirait un effet de densification peut-être causé par l'action anthropique et par le piétinement des animaux sur le site, pendant la saison sèche, sans augmentation de cohésion (résistance à la pénétration maximum: 5 kg/cm²). Les horizons caractérisés dans la situation sur pâturage (PAL) sont plus denses, ce qui suggère une densité d'équilibre plus élevée, en rapport avec le texture légèrement plus sableuse. Dans les situations cultivées (CCL et PD), on constate une densification des horizons les plus affectés par le travail du sol (AB en CCL et Ap_2 en PD). Dans ces

	CE	R	PA	L	C	CL		PD	
Situation de référence	CERR	ADO	PATU: LONGUE			TION NONNELLE	GESTION ALTERNATIVE		
Couverture	Végétation Anthro		Brachiaria	brizantha		irrigué s vulgaris)	Haricot Irrigué (Phaseolus vulgaris)		
I Horizons II III IV V		0 cm	Ap ₁ 0 - Ap ₂ 5 - BA 25 - Bw 45 - 1	45 cm	Ap ₂ 5 AB ¹ 12 BA: 30	5 cm 12 cm - 30 cm - 50 cm - 100 cm	Ap ₁ Ap ₂ AB ¹ BA Bw	0 - 8 cm 8 - 25 cm 25 - 32 cm 32 - 55 cm 55 - 100 cm	
Taches	dans (concentra matière org	A ₂ ation de	-	-		AB e Ap ₂ et BA)	et BA)	(mélange de Ap ₂ et BA (matière que localisée)	
Type de structure ² 1	Grume (très n ındividu	ets, alisės	Grum (très nets, in	dividualisés	et grur	eleuse] neleuse	lgr et g	ib-anguleuse umeleuse] rumeleuse	
11	Pol. sub-ar (peu r (sub-anguleuse	net)	Pol. sub-a (no (sub-ang	et)	sub-an	net)	(sub-an	ib-anguleuse très net) gul / anguleuse)	
IV	Pol. sub-ar		Pol. sub-a		(très Langu Pol. sub-a	net) leuse	Pol. sub-anguleuse (très net) granulaire Pol. sub-anguleuse (net)		
v	ਦੁਸ਼ਗਪੀ: Pol. sub-ar (peu r ਦੁਸ਼ਗਪੀ:	iguleuse net)	Pol. Sub-a (peu granu	nguleuse net)	Pol. sub-	net)	[granulaire] Pol. sub-anguleuse (peu net) [granulaire]		
Porosité	très por pores fins moy et A ₂ ; fins dans (racines et act.	rens dans A _t s BA et Bw	très po pores fins n Ap₂ (racin fins da	oyens dans es) et BA,	très poreux e poreux dan fins/moyens très poreux d	is AB (pores act biolog):	très poreux; pores fins/moyens, jusqu'à 32 cm (activ biologique), pores fins au dessous		
Racines	nombreu horizon jusqu'a 3 communes, fir et verticales a	stales so cm, nes movens	très nom verticales/h jusqu'à commune verticales a	orizontales 25 cm, s. fines et	nombre horizo jusqu'à 12 cr sur la ligne peu, fines e dans AB (d	n (concentré de semis); et verticales	verticale comm vertic	abreuses et s jusqu'à 25 cm; unes, fines et ales dessous alation forte)	
Matière Organique	abondante (racines) et jusqu'à 3 commune, he localisee au	hunufiee (Con. anufiee et	ahond humifiee o (racines) jus humifiee e au des	ou détritus squ'à 25 cm, t localisée	abondante humifiée ju très peu et dess	squ'à 12 cm. humifiée au	abondante (détritus) en surface; abondante humufiée jusqu'à 32 cm.		
Activité Biologique	très forte jus forte jusqu'a moyenne au	56 cm et	trés jusqu'à forte et localise	25 cm.	j u squ'a	ne/forte 12 cm; dessous	très forte Jusqu'á 70 cm		
Observations compacité	horizons peu	compacts	horizons pei	u compacts	horizons per sauf dans cohésion) (AB (forte	peu compacts, sauf dans AB (cohésion modérée) (25 à 32 cm)		
sur l'enracinement	concentration dans A_1 et A_2		cheve dans		concentration de se	-	nodulation forte		
générales	macro-structure très fragile dans le profil.		macro-structure dans BA et Bw très fragile		mottes tasse	s dans Ap ₂			
variation latérale	sans variation laterale		sans variation laterale importante		variation latérale due à la ligne de semis		variation latérale due à la ligne de semis		
Résistance à la	Valeur	Hv	Valeur	Hv	Valeur	Hv	Vale	ur Hv	
pénétration ³ I II III IV	3,5 5,0 13,0	32 (24) 30 (32) 22 (28)	6,8 11,8	34(34) 28 (33)	8,2 90,3 28,3	34 (35) 33 (35) 30 (36)	20,1 8,8	34 (35) 36 (36)	
V	7,3	30 (33)	5,4	30 (33)	5,4	30 (29)	4,0	30 (33)	

Tableau 02 . Description morphostructurale des différents horizons pour les quatre situations considérées.

¹ constitue un horizon Ap₃B (ancien horizon labouré)
2 annotation de type (gras) et nettete (entre parenthèses) des éléments structuraux, type de sous-structure [entre crochets]
3 valeur moyenne de cinq déterminations en kg cm² et hunnidité volumétrique (Hv) en cm³ H₂O / 100 cm³ sol (Hv à le capacité au champ - pF 2.52 - entre parenthèses)

situations, les caractéristiques de micro-agrégation des sols ferralitiques permettent néanmoins de maintenir une porosité totale au-dessus de 49 % en volume, avec une microporosité représentant de 20 à 30 % du volume du sol.

La distribution de taille de pores, déterminée d'après les différentes valeurs de pF sélectionnées, montre la variation de volume de vides selon quatre classes de diamètre (Figure 1):

- 1. microporosité: pores de diamètre inférieur à 0,2 μm (pF 4,18);
- 2. mésoporosité: pores de 0,2 à 9 μm (pF 2,52) qui comprend l'eau disponible mesurée entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent;
- 3. macroporosité fine: pores de 9 à 50 µm (pF 1,78), responsable du drainage lent;
- macroporosité grossière: pores de diamètre supérieur à 50 μm, responsable du drainage rapide et de l'aération.

En comparant les horizons supérieurs (A_2 /CER; Ap_2 /PAL; AB/CCL et Ap_2 /PD) aux horizons de profondeur (BA), la distribution montre que la microporosité est sensiblement plus importante dans les horizons supérieurs qu'en profondeur; la différence n'excède pas 5 % en volume du sol. La mésoporosité et la macroporosité fine représentent les classes de porosité les plus réduites (10 à 15 %) et ne varient que faiblement; on relève toutefois une tendance a l'augmentation de la surface vers la profondeur, en particulier pour les situations CCL et PD.

La macroporosité grossière, qui occupe 10 à 20 % du volume du sol (30 % en CER), montre les variations les plus importantes, avec une augmentation nette de 5 à 15 % entre les horizons supérieurs et profonds; cette augmentation est , toutefois, plus réduite en PAL (≈ 2.5 %).

En considérant les différents systèmes de gestion on note que, pour les horizons de profondeurs équivalentes, les volumes de porosité totale et de macroporosité sont supérieures dans la situation témoin CER, par rapport aux situations PAL, CCL et PD; tandis que les résultats sont à l'inverse pour la densité apparente et la microporosité. On constate que la macroporosité est la plus réduite dans les horizons supérieurs de CCL et PD, respectivement 14,4 et 14,1 %. Ce volume macroporal ne se traduit par aucunes marques de restriction d'aération et de ruissellement sur le terrain. Le développement racinaire se trouve, par contre, très réduit en AB/CCL et plus normal en Ap_2/PD .

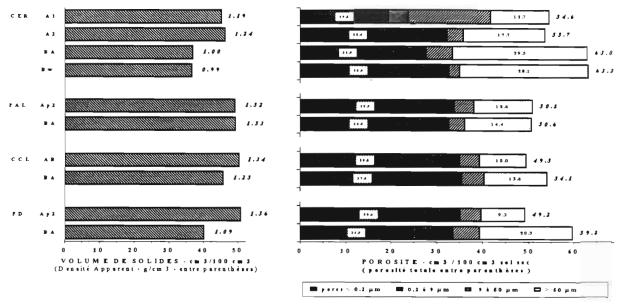


Figure 1. Volumes des solides, densité apparente et distribution de taille de pores, mesurée dans les horizons sélectionnés, d'après le courbe pF

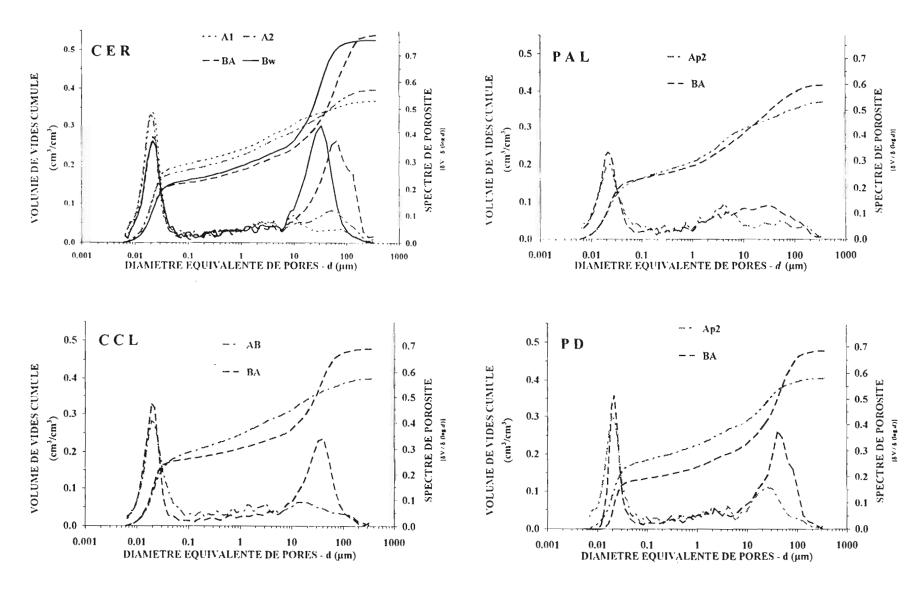


Figure 2. Distribution de l'espace poral en cm3 / cm3 d'échantillon, obtenu avec le technique d'intrusion de mercure

Porosimétrie au mercure

La technique d'intrusion de mercure permet de caractériser l'espace poral à partir des courbes de volume de vides cumulé et du spectre de porosité dérivé (Figure 2). Les premières montrent les différences concernant la porosité totale des mottes, jusqu'à une limite de 400 µm. On constate une inversion de progression de volume cumulé en relation avec le diamètre équivalent entre les horizons supérieurs (A, Ap et AB) et de profondeur (BA et Bw), entre 10 et 50 µm. Les spectres de porosité montrent une première apogée, existant pour tous les échantillons, avec un mode de diamètre équivalent de 0,022 µm, qui varie uniquement en intensité. Une deuxième apogée apparaît dans la gamme de diamètre entre 11 à 60 µm, avec une intensité très variable. En CER on trouve une spectre bimodal bien marqué pour les horizons de profondeur (BA et Bw), très caractéristiques des sols micro-agrégés, tandis que le deuxième mode est très atténué pour les horizons supérieurs. Cette distribution se retrouve aussi en CCL et PD. En PAL, par contre, on trouve une distribution avec un deuxième mode d'apogée basse pour les deux horizons (Ap2 et BA).

A partir de l'observation de ces courbes, il est possible d'identifier trois classes de taille de pores. Les valeurs encadrant ces classes se retrouvent assez semblables pour les différents échantillons étudiés. Les classes de pores identifiées coïncident assez bien avec la classification établie par Stengel (1990), qui a défini l'origine et la fonction des classes considérées; celles-ci ont aussi été identifiées par Bruand et Cousin (1995). Nous distinguons les classes suivantes (Figure 3):

- microporosité ou porosité texturale: pores de diamètre inférieur à 0,1 μ, qui correspond aux pores de la phase argileuse du sol dus à l'assemblage des constituants fins (argiles, oxydes et constituants organiques);
- 2) mésoporosité ou porosité structurale argileuse: pores de 0,1 à 6 μ, due à l'assemblage des éléments grossiers et des micro-agrégats;
- 3) macroporosité fine ou porosité structurale lacunaire: pores de 6 à 400 μm, qui comprend les pores dus à l'assemblage des macro-agrégats et à l'occurrence des cavités, fissures et canaux de l'activité biologique, responsables du drainage et de l'aération.

En considérant ces trois classes de taille de pores, on constate la prédominance des micro (< $0,1~\mu m$) et des macropores (> $6~\mu m$). La microporosité est comparable dans tous les horizons où elle occupe un volume important (15 à 20 %). On observe, toutefois, une diminution des valeurs entre la surface (A/Ap/AB) et la profondeur (BA/Bw), vraisemblablement en relation avec la densité apparente et avec l'état de

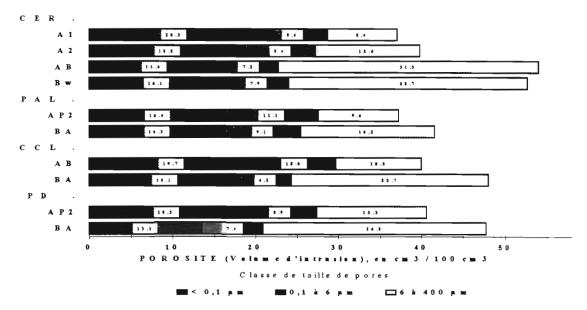


Figure 3. Distribution de taille de pores obtenue par intrusion de mercure

micro-agrégation (mode d'assemblage de particules et micro-agrégats), incluant une faible relation avec la teneur en argile. La mésoporosité est la plus faible et assez comparable dans toutes les situations; elle tend aussi à diminuer avec la profondeur. La macroporosité est la plus variable, très importante dans les horizons de profondeur (BA/Bw) et plus réduite dans les horizons supérieurs (A/Ap/AB). Cette réduction de macroporosité dans les horizons supérieurs peut caractériser l'effet du système de gestion du sol sur l'assemblage des éléments structuraux de base.

Ces observations permettent de comparer les résultats obtenus avec la courbe pF et l'intrusion de mercure, en utilisant les indices de vides pour différents diamètres équivalents de pores (Figure 4). L'analyse de ces courbes montre un décalage des indices de vides pour les pores de diamètre les plus fins (inférieure à 10 µm) qui peut être expliqué par les différences de procédure et de principe de détermination entre les deux méthodes.

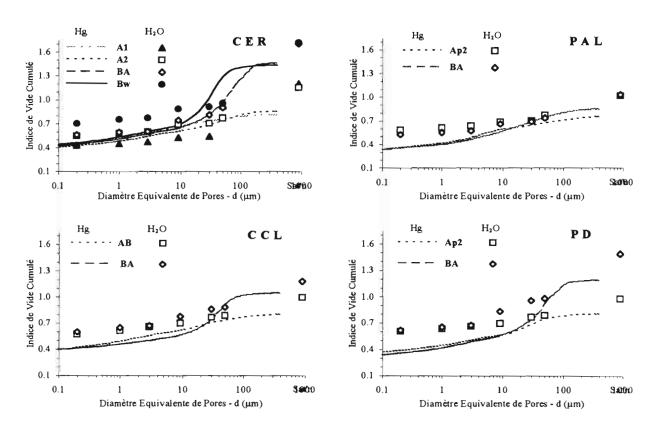


Figure 4. Indices de vides cumulés, d'après la courbe pF (H_2O) et l'intrusion de mercure (Hg), pour différents diamètres équivalents de pores.

Courbe de retrait du sol

La courbe de retrait a permis de quantifier la variation du volume massique du sol selon la teneur en eau, évaluée sur un échantillon non remanié de 50 cm³ (Braudeau, 1993). Les courbes sont présentées à la figure 5, à partir de la variation des volumes massiques basée sur les valeurs mesurées au point de retrait maximum (SL). On observe une correspondance entre les caractéristiques des courbes de retrait et les aspects morphologiques décrits pour les différents horizons considères (Tableau 2).

Les principales caractéristiques du sol déduites des courbes de retrait, figurant au tableau 3, permettent de dégager les observations suivantes:

a) la constante de retrait structural (K_o) , fonction de la stabilité de la structure en cours de vidange de la macroporosité et indicatrice de la cohésion d'assemblage des éléments structuraux, présente des

- valeurs très faibles en **CER**; ce qui concorde avec la fragilité macro-structurale observée (description morpho-structurale); en AB/CCL, par contre, K_0 est très élevée, en relation avec la cohésion élevée du sol;
- b) la constante de retrait principal (Kr), qui indique le mode d'assemblage et la cohésion interne des éléments structuraux, présente des valeurs faibles en CER (0,17 à 0,27) et plus importantes en CCL (0,41 à 0,46);
- c) le retrait global, déterminé d'après la courbe de retrait en relation avec le volume en début d'analyse et le volume de l'échantillon sec à 105 °C, est un indicateur de retrait du volume microporal et macroporal, d'une part, et d'accroissement du volume macroporal par fissuration, d'autre part. Cet indicateur montre une rétraction nette très faible des échantillons. Les horizons de profondeur (BA) ont un retrait global variant entre 1 et 3,3 % et les horizons supérieurs ont des valeurs sensiblement plus élevées en CER et PD (2,3 et 2,8 %) et élevées en CCL et PAL (4,2 et 6 %).

Les caractéristiques de retrait du sol mettent en évidence une distinction nette entre les horizons. On constate, par exemple d'après les valeurs de Kr et Ko, une cohésion d'assemblage et une cohésion interne des éléments structuraux très élevées en AB/CCL et élevées en Ap2/PAL. Par contre, en Ap2/PD on observe une cohésion interne élevée et une cohésion d'assemblage faible.

Les volumes micro et macroporal, déterminés d'après les points MS (avant retrait) et SL (limite de retrait) sont indiqués à la figure 6. Le volume microporal, défini comme la porosité du milieu déformable (particules fines, inférieures à 20 µm, et composants organiques) montre une faible tendance à diminuer avec la profondeur, en concordance avec la microporosité déterminée par intrusion de mercure (Figure 3). On constate aussi une diminution importante de ce volume microporal en passant du point MS au point SL. A l'inverse, le volume macroporal, défini comme la porosité d'assemblage ou inter-agrégats, augmente de façon importante avec la rétraction, probablement du fait de la fissuration du sol en dessèchement. Cependant

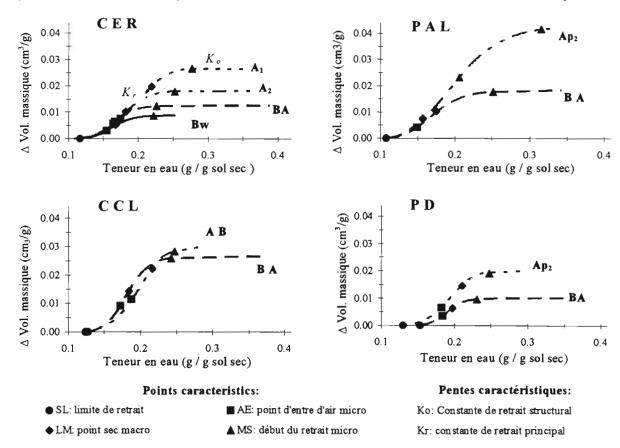


Figure 5. Variation des volumes massiques, basée sur le point de maximum retrait (point SL)

	Densité	Teneur en	Retrait	Per	ntes	Vol. massique	Por	osité :	à MS	Por	osité à	SL	Cap. gonfl/
Syst/	apparent g/cm3	argile	Global cm3/100cm3	caracté K _o	ristiques K _r	aupt.SL cm3/g	Pt	Ma	Mi m3/10		Ma		rétraction cm3/g argil
	O	glwg	alb loalb	150	14	uib/g			AID/ I	~ aib			GID GALGI
CER													
$\mathbf{A_1}$	1.21	4 6	3.75	0.000	0.271	0.829	55.7	27.2	28.5	54.3	36.1	18.2	0.185
$\mathbf{A_2}$	1.22	4 6	2.29	0.002	0.252	0.819	55.1	29.8	25.2	54.1	36.5	17.6	0.136
BA	1.05	48	1.30	0.003	0.237	0.954	61.7	41.8	19.9	61.2	46.4	14.8	0.100
$\mathbf{B}\mathbf{w}$	1.07	50	0.98	0.003	0.166	0.936	60,7	40.5	20.2	60.3	45.7	14.7	0.104
PAL													
Ap_2	1.39	38	5.95	0.023	0.331	0.724	50.9	19.3	31.6	48 .1	30.7	17.5	0.268
BA	1.39	41	296	0.007	0.242	0.720	49.8	23.2	2 6.6	48.5	31.4	17.1	0.166
CCL													
AB	1.29	50	4.15	0.045	0.411	0.774	53.4	2 6.1	27.3	51.6	32.1	19.5	0.120
BA	1.23	54	3.31	0.006	0.456	0.815	55.6	320	23.6	54.2	36.5	17.7	0.089
PD													
Ap_2	1.29	52	277	0.011	0.310	0.771	53.1	25.8	27.3	51.8	323	19.5	0.117
BA	1.09	54	1.12	0.014	0.212	0.917	60.2	38.5	21.7	59.8	42.3	17.5	0.070

Tableau 3. Caractéristiques principaux du sol, d'après la courbe de retrait.

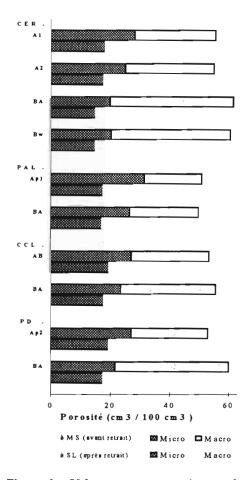


Figure 6. Volumes macro et microporal, d'après la courbe de retrait du sol, déterminés au point MS (avant retrait) et au point SL (retrait maximum)

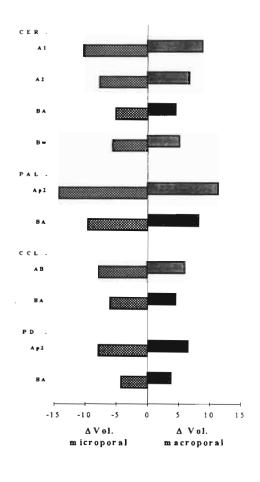


Figure 7. Variation des volumes macro et microporal en passant du point SL au point MS, d'après la courbe de retrait

l'augmentation du volume macroporal ne compense pas exactement la diminution du volume microporal (Figure 7). Les variations les plus importantes concernent les horizons supérieurs, probablement en relation avec la cohésion interne des éléments structuraux.

En considérant le volume microporal aux points MS et SL, on a calculé la capacité de gonflement-retrait de la phase argileuse (Bruand et al., 1990). On trouve, dans le cas de notre étude, un indice très faible voisin de 0,1 cm³/g d'argile (Tableau 3); toutefois, les horizons de la situation PAL ont des valeurs plus importantes (0,27 et 0,17), qui pourraient être associées aux densités plus élevées et au caractère plus sableux observées pour cette situation. le volume microporal aux points MS et SL est en rapport avec la porosité de diamètre inférieure à 0.2 µm, déterminée d'après la porosimetrie à mercure (Braudeau et Bruand, 1993; Bruand et al., 1990). Cette relation est très nette pour toutes les situations (Figure 8), à l'exception de PAL; ce qui peut résulter du caractère différent de PAL par rapport aux autres situations.

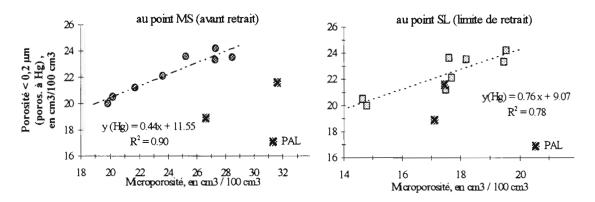


Figure 8. Corrélation entre le volume microporal d'après la courbe de retrait et la microporosité (diamètre < à 0,2 μ m), d'après l'intrusion de mercure

(équations des courbes de tendances calculées sans considérer la situation PAL)

Stabilité des agrégats

La description morpho-structurale a mis en évidence la netteté et la stabilité des éléments structuraux de base, de type granulaire. Nous avons déterminé la stabilité de ces éléments, par tamisage dans l'eau, en utilisant les macro-agrégats entre 4 et 8 mm sélectionnés par tamisage à sec. On a considéré quatre classes d'agrégats stables à l'eau (Figure 9). Le pourcentage des macro-agrégats de taille supérieure à 2 mm indique une stabilité plus élevée dans les horizons supérieurs que dans les horizons profonds. Cette stabilité est aussi plus importante pour les échantillons obtenus sur les situations CER et PAL, en rapport avec la micro-agrégation plus importante décrite pour ces situations. Le pourcentage d'agrégats de cette dimension diminue de manière significative en passant aux situations cultivées (CCL et PD), de façon inversement proportionnelle à l'augmentation des agrégats entre 0,25 et 2 mm. Cette diminution peut résulter de la fragilisation ou destruction des macro-agrégats entre 2 et 8 mm due au travail du sol, à la fertilisation ou à l'absence de végétation et racines pérennes.

En analysant les agrégats stables de diamètre supérieur à 105 μm, on constate que plus de 95 % des agrégats sont stables à l'eau pour tous les échantillons, à l'exception de l'horizon *BA* en **PD**. Toutefois, les agrégats de diamètre supérieur à 0,25 mm (classes entre 0,25 et 8 mm) diminuent en général avec la profondeur. Cette diminution apparaît en rapport avec les caractéristiques morphologiques, chimiques et physiques, quand on compare les horizons supérieurs et de profondeur pour une situation déterminée (sous végétation naturelle, sous pâturage ou sous culture annuelle).

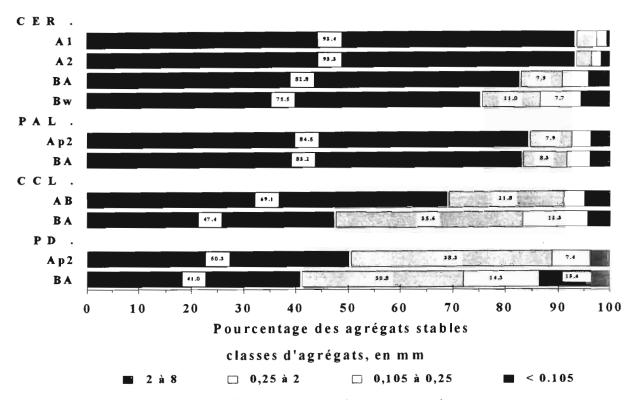


Figure 9. Stabilité d'agrégats à l'eau, mesurée sur échantillons d'agrégats entre 4 et 8 mm (Freitas et Blancaneaux, 1994, d'après Kemper, 1965).

En comparant les systèmes sous culture annuelle, par exemple, on constate un pourcentage assez important de macro-agrégats stables (diamètres supérieurs à 2 mm et entre 0,25 et 2 mm) pour les horizons AB/CCL et Ap_2/PD . On observe, pour ces situations, une correspondance nette avec la cohésion décrite sur le terrain et confirmée avec les déterminations physiques au laboratoire.

Comparaison des systèmes de culture

L'ensemble des observations permet de comparer les deux systèmes de culture irriguée intensive de longue durée, en observant les différences entre le système de gestion conventionnelle (CCL) et le système alternatif de semis direct (PD). Ces systèmes ont été étudiés sur des parcelles expérimentales, avec une situation initiale similaire et contrôlée. L'analyse morpho-structurale a permis l'identification des différences morphologiques entre les horizons supérieurs, de position équivalente, AB en CCL et Ap_2 en PD. Ces horizons sont comparés au tableau 4.

On a observé, sur le terrain, que le UPH les plus importantes en AB/CCL sont formées d'éléments structuraux polyédriques anguleux (sous structure également anguleuse). Ces éléments caractérisent une structure de plus forte cohésion d'ensemble que la structure polyédrique sub-anguleuse observée en Ap_2/PD . A cette cohésion de AB/CCL est associée un enracinement réduit, une activité biologique faible, une faible présence de matière organique identifiable et une résistance à la pénétration très forte. Les déterminations complémentaires indiquent que l'espace poral des deux horizons sont comparables, bien que cet espace poral soit diffèrent dans les horizons BA sous-jacents. La caractérisation des propriétés structurales des UPH par retractrométrie a permis de confirmer les différences observées sur le terrain. Les retraits global, structural et principal, plus importants en AB/CCL qu'en Ap_2/PD indiquent des différences de modes d'assemblage inter et intra éléments structuraux, associés avec la cohésion. Ainsi, la caractérisation dans le cadre de l'analyse morpho-structurale révèle très bien des différences dues aux systèmes de gestion du sol.

	CCL	P D		
système de gestion considéré:	Conventionnel (pulvériser "offset")	Alternatif (semis direct)		
horizon:	AB (Ap ₃ B)	$\mathbf{Ap_2}$		
profondeur:	12 à 30 cm	8 à 25 cm		
de l'analyse morpho-structurale:				
type de structure	polyédrique anguleuse	polyédrique sub-anguleuse		
[sous-structure]	[anguleuse]	[sub-anguleuse et anguleuse]		
porosité	poreux	très poreux		
enracinement	limité à 12 cm;	abondant jusqu'à 25 cm;		
	horizontal et concentré	vertical		
matière organique	très peu abondante et humifiée	abondante et humifiée		
activité biologique	faible;	très forte		
	(moyenne à forte au dessus)	jusqu'à 32 cm		
résistance à la	très forte (90 kg/cm2)	légèrement forte (20 kg/cm²)		
pénétration	(légèrement élevée au dessous)	(faible au dessous)		
<u>de l'espace poral</u> : (d'après la	très dense - 1,34 g/cc);	très dense - 1,36 g/cc;		
densité apparente, la courbe	(BA dense - 1,23 g/cc,	(BA peu dense - 1,09 g/cc,		
pF et la porosimetrie au Hg)	avec 14 % de macropores >50 μm)	avec 20 % de macropores >50 μm)		
propriétés structurales:				
retrait global	fort $(3 \text{ à 4 cm}^3/100 \text{ cm}^3)$	faible ($1 \text{ à } 2 \text{ cm}^3/100 \text{ cm}^3$)		
K _o (const.de retrait	fort (0,045)	moyen (0,011)		
structural)	fort (0,41)	faible à moyen (0.21)		
K _r (const. de retrait principal)				

Tableau 4. Comparaison entre les horizons supérieurs identifiés sur les systèmes de culture de longue durée

En considérant ces résultats, il apparaît que le système alternatif a conduit à un meilleur état structural du sol. Cette amélioration s'accorde aussi avec la meilleure performance agronomique observée avec ce système, d'après les rendements de maïs et haricot obtenus (Blancaneaux et Freitas, 1995; Teixeira et al., 1995).

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus à partir de l'évaluation de quatre systèmes de gestion du sol, dans le cadre de l'analyse morpho-structurale, a permis de vérifier les modifications de la structure d'un sol ferrallitique (Latossolo Vermelho-Escuro) des Cerrados Brésiliens.

Les différentes situations considérées comprennent une parcelle sous végétation naturelle anthropisée (CER), une parcelle sous pâturage cultivé de longue durée, peu dégradé (PAL), et deux parcelles expérimentales avec la succession maïs/haricot irrigué depuis cinq ans. Ces deux denieres situations correspondent d'une part à un système de gestion conventionnel, avec labour à pulvériseur offset "cover-crop" (CCL), et d'autre part à un système de gestion alternatif, avec semis direct sur résidus de la culture précédente (PD).

La description morpho-structurale des horizons identifiés dans la situation CER, choisie comme témoin, montre une macro-structure fragmentaire polyédrique très fragile. La densité et la porosité sont comparables, avec une densification sensible dans les horizons supérieurs; la cohésion, toutefois, est très faible. Les horizons de profondeur présentent une porosité très élevée et une cohésion d'ensemble très faible des éléments structuraux granulaires stables. Cette cohésion d'ensemble est plus forte dans les horizons supérieurs sous l'effet des facteurs climatiques, biologiques et anthropiques.

L'approche de l'analyse morpho-structurale a permis d'observer les effets des différents systèmes de gestion du sol et de choisir les horizons les plus sensibles à ces effets pour caractériser l'espace poral, les propriétés structurales et la stabilité des agrégats à l'eau. Deux séries d'échantillons ont été sélectionnées pour chaque situation en fonction de la profondeur: d'une part, dans les horizons supérieurs (A_2 , Ap_2 et AB), de couleur brune, à matière organique abondante et à structure fragmentaire formée d'éléments structuraux polyédriques; et d'autre part, dans horizons de profondeur (BA), de couleur rouge-sombre, à structure fragmentaire formée d'éléments structuraux polyédriques et sous-structure granulaire, caractérisant une micro-agrégation bien développée et très stable. L'évolution structurale du sol dans les différentes situations cultivées peut être mieux appréciée en considérant les modifications d'organisation de ces horizons supérieurs et de profondeur, par comparaison avec la situation CER. De façon générale, une différenciation macro-structurale mieux définie est observée dans les situations cultivées, du fait d'une netteté plus grande des éléments structuraux et aussi d'une cohésion d'ensemble plus forte.

La situation sur pâturage cultivé (**PAL**) présente une densité du sol très élevée, avec des éléments structuraux de base très stables, une forte cohésion interne des agrégats et une faible cohésion d'ensemble (faible résistance à la pénétration). L'étude y suggère un matériel pédologique sensiblement diffèrent, en considérant la texture légèrement plus sableuse. La couverture de graminées est associée à une amélioration structurale limitée aux horizons superficiels (Ap1 et Ap_2), jusqu'à 25 cm, avec un espace poral semblable à l'horizon BA.

Les situations sur culture annuelle présentent de différences morphologiques dans les horizons supérieurs (éléments structuraux angulaires en AB/CCL et sub-angulaires en Ap_2/PD) en relation avec la cohésion d'ensemble et la résistance à la pénétration. Les déterminations complémentaires ont montré un espace poral comparable, avec des densités apparentes élevées. A partir des caractéristiques de retrait du sol, il a été possible d'observer une cohésion d'assemblage forte et une cohésion interne des éléments structuraux élevée en AB/CCL, caractérisant une dégradation structurale importante. En Ap_2/PD , toutefois, la cohésion d'assemblage est faible et la cohésion interne modérée. Cette condition de PD apparaît comme une amélioration de l'état structural du sol par rapport à PD et a PD apparaît comme une amélioration de l'état structural du sol par rapport à PD et a PD apparaît comme une limitation mécanique forte à la croissance des racines (compaction), qui est limitée à 12 cm. La forte cohésion interne observée en PD0, par contre, ne constitue pas une condition limitante à la croissance des racines. Cette cohésion interne pourrait cependant être limitante en condition de stress hydrique prolonge.

L'étude de ces quatre situations de référence montre que l'analyse morpho-structurale permet de mieux apprécier l'évolution du sol, en considérant la modification des caractères d'organisation et des caractéristiques associées. La prise en compte des aspects morpho-structuraux est importante pour comprendre et pronostiquer le comportement du sol évoluant sous différents systèmes de gestion et conditions climatiques.

Les différentes déterminations complémentaires sont nécessaires pour vérifier et préciser les caractères de transformation du sol. Toutefois, on doit s'interroger sur les difficultés d'évaluation du comportement du sol à partir de l'analyse des caractéristiques physiques et chimiques et de la dynamique de matière organique. Une question importante est de savoir quels sont les caractères définissant la qualité optimale de la structure du sol.

L'analyse de l'espace poral réalisée dans le cadre de l'analyse morpho-structurale montre l'intérêt de réaliser des études comparatives plus approfondies des différentes méthodes de caractérisation du spectre poral et de l'organisation du sol en relation avec son fonctionnement, notamment avec le fonctionnement hydrique et le développement racinaire. Il est nécessaire de mieux analyser les relations existant entre les

résultats de différentes déterminations possibles pour préciser les caractérisations les plus pertinentes et aisément praticables dans ce type d'approche.

L'étude des rapports mutuels entre différentes caractéristiques considérées et leur relation avec les rendements suggère qui il n'a pas un paramètre explicatif unique des rendements, parce que même au seul niveau du sol, plusieurs aspects de comportement physique (densité apparente, résistance à pénétration, ...), chimique (disponibilité des nutriments, capacité d'échange,...) et biologiques (matière organique, activité biologique, ...) sont à considérer. L'enracinement des cultures est, en fait, une réponse à un ensemble de caractéristiques du sol dans chaque UPH considérée, dépendant de la localisation (profondeur et épaisseur) de ces unités dans le profil.

Il s'avère, en conclusion, que l'analyse morpho-structurale peut être un outil de diagnostic très utile pour appréhender l'impact des systèmes de gestion et identifier les processus de dégradation structurale du sol. Elle constitue un moyen approprié et indispensable a l'étude des indicateurs de durabilité des systèmes agrosylvo-pastoraux.

Cette approche ouvre des possibilités pour mieux évaluer et comparer les effets des systèmes de gestion du sol, en réalisant directement les recherches chez les agriculteurs. Même lorsqu'il s'agit d'études en station expérimentale, l'analyse morpho-structurale peut beaucoup améliorer l'analyse et l'interprétation des résultats des essais expérimentaux.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'EMBRAPA et l'ORSTOM pour la possibilité de réaliser un stage de postdoctorate qui a été donne à P. FREITAS.

Les auteurs remercient aussi les chercheurs et techniciens qui ont participé aux déterminations analytiques pour leur collaboration:

Wilson Santana de ARAUJO, Washinton de O. BARRETO, Marie Elisabeth C.C. MELO, José Lopes de PAULA, et Daniel Vital PERES (CNPS/EMBRAPA, Rio de Janeiro, RJ); Hélio Afonso de MENEZES (EMGOPA, Senador Canedo, GO); Dalmiron Pereira de OLIVEIRA (Boursier, Etudiant Ing. Agronome, UFG/EA, Goiânia, GO), au Brésil.

J. FARDOUX; E. GAVINELLI; M.C. LARRE-LARROUY et J-C. MARCOUREL (LCLC/ORSTOM, Montpellier); M. FORTIER (Lab. Physique du Sol/CIRAD, Montpellier); G. BELLIER et J. L. DELARIVIERE (LFS/Hydrophysique/ORSTOM, Bondy) à France.

BIBLIOGRAPHIE

- Blancaneaux, Ph. et Freitas, P.L. de. 1995. Utilisation de l'analyse morpho-structurale dans les recherches agropédologiques développées dans les Cerrados du Brésil Central. Un exemple d'application: Le semis direct sur la paille comme système cultural alternatif viable. In: Structure et Fertilité des Sols Tropicaux. Montpellier, ORSTOM, C.R. 2éme. Réunion du Groupe Thématique, ORSTOM, 1994.
- Blancaneaux, Ph., Freitas, P.L. de et Amabile, R.F. 1991. Sistematização e adaptação da metodologia para caracterização do perfil cultural. <u>In</u>: **Reunião de Trabalho para Correlação dos Estudos em Perfil Cultural**. Londrina, UEL/CCA.
- Blancaneaux, Ph.; Freitas, P.L. de; Amabile, R.F. et Carvalho, A.M. de. 1994a. Le "zerotillage" comme pratique de conservation des sols sous végétation de "Cerrados" du Brésil. *Cahiers ORSTOM*, série Pédologie, *Spécial Erosion*, Montpellier, , (à paraître).

- Blancaneaux, Ph.; Freitas, P.L. de; Carvalho, A. M. de et Correia, J.R. 1994b. Approche méthodologique utilisée pour les recherches agropédologiques dans les Cerrados du Brésil Central et premiers résultats. <u>In</u>: Structure et Fertilité des Sols Tropicaux. Montpellier, ORSTOM, C.R.1^{ère}. Réunion du Groupe Thématique, ORSTOM, 1993.
- Braudeau, E. 1993. Mesure automatique de la rétraction d'échantillons de sol non remaniés. Sci. du Sol, 25 (2): 85-93.
- Braudeau, E. et Bruand, A. 1993. Détermination de la courbe de retrait pour la phase argileuse à partir de la courbe de retrait établie sur échantillon de sol non remanié. Application à une séquence de sols de Côte-d'Ivoire. *C. R. Acad. Sci. Paris*, *t. 316*, série II: 685-92.
- Bruand, A.; Braudeau, E. et Fritsch, E. 1990. Evolution de la géométrie de l'espace poral des sols lors du passage du domaine ferrallitique au domaine ferrugineux et hydromorphe. Exemple du Bassin de Booro-Borotou (Côte-d'Ivoire). In: Structure et fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane humide. Coll. Etudes et Thèses. ORSTOM, Paris, pp. 137-145.
- Bruand, A. et Cousin, I. 1995. Variation of textural porosity of a clay-loam soil during compaction. European Jo. of Soil Science, 46: 377-385.
- De Blic, Ph. 1994. L'organisation macrostructurale du sol: intérêt et limites d'une approche morphologique, méthodes d'étude. In: Structure et Fertilité des Sols Tropicaux. Montpellier, ORSTOM, C.R. 1^{ère}. Réunion du Groupe Thématique, ORSTOM, 1993.
- Freitas, P.L. de. 1988. Effects of Soil Structure on Root Growth and Function. Ithaca, NY, Cornell University, (Ph. D. Thesis).
- Freitas, P.L. de. 1994. Aspectos físicos e biológicos do solo. <u>In</u>: Landers, J.N. (ed.). *Fasciculos sobre experiências em plantio direto nos Cerrados*. Uberlândia, A. P. D. C., Cap. IX.
- Freitas, P.L. de et Blancaneaux, Ph. 1991. Condição estrutural do solo para plantio direto (resumo de palestra). Informativo AEAGO, Goiânia, 1(1).. pág. 04.
- Freitas, P.L. de et Blancaneaux, Ph. 1994. Estrutura e Porosidade do Solo. <u>In:</u> Puignau, J. (ed.). *Metodologias para investigacion en manejo de suelos*. Montevideo, IICA PROCISUR, (Diálogo/IICA-PROCISUR, 39). pp. 25 42.
- Freitas, P.L. de; Blancaneaux, Ph. et Moreau, R. 1996. A análise morfo-estrutural como uma ferramenta para a avaliação da sustentabilidade de sistemas agrossilvipastoris nos Cerrados. <u>In: VIII Simpósio Sobre o Cerrado</u>, Brasília, DF, Brasil, 1996.
- Gautronneau, Y. et Manichon, H. 1987. Guide méthodologique du profil cultural. Paris, Geara et Ceref. 71 p.
- Goedert, W.J. et Lobato, E. 1986. Agro-economic considerations of modern agriculture on Oxisols. s.n.t. <u>In</u>: International Soil Classification Workshop, VIII. Brasília, DF.
- Kemper, W.D. 1965. Aggregate stability. <u>In</u>: Klute, A.K. (ed.). *Methods of soil analysis*, part 1 Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, ASA/SSSA. p. 511-519. (ASA/SSSA, Agronomy, 9).
- Moreau, R. 1993. Les principales couvertures pédologiques des régions d'Afrique Centrale et de l'Ouest/Répartition zonale, caractères généraux et utilisation. In: Gestion durable des sols et environnement en Afrique Intertropicale. Ouagadougou, (à paraître).
- Moreau, R. et Nagumo, F. 1995. Le pénétromètre Yamanaka et son utilisation pour l'évaluation des possibilités d'enracinements dans les horizons des sols cultivés. In: **Structure et Fertilité des Sols Tropicaux**. Montpellier, ORSTOM, C.R. 2^{éme}. Réunion du Groupe Thématique, ORSTOM, 1994.
- Stengel, P. 1990. Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et méthodes. In: Boiffin, J. et Marin-Lafleche, A. (eds.). La structure du sol et son évolution: conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur. Laon, France, 1990. Ed. INRA, Paris, pp 15-36.
- Teixeira, S.M.; Freitas, P.L. de; Landers, J.N.; Blancaneaux, Ph. et Milhomen, A. 1995. Les effets économiques et pédologiques du semis direct dans les savanes brésiliennes (Cerrados). Une technique agricole qui améliore la durabilité d'un système cultural. In: L'environnement Humain de L'érosion. Paris, ORSTOM, [Résumé du Journée du Réseau Erosion, 1994]. (ORSTOM, Réseau Erosion, Bull. 15). pp. 300-316.

Modifications morphologiques d'un sol ferrallitique de Côte d'Ivoire sous différents modes de mise en culture.

TAMIA Ama Joséphine*, MOREAU Roland* et FORTIER Michel**

* Laboratoire d'Etude du Comportement des Sols Cultivés ORSTOM, 911, avenue Agropolis - B.P. 5045 34032 Montpellier CEDEX 01.

** Laboratoire d'Agrologie UR - FCM CIRAD - CA, avenue du Val de Montferrand - B.P. 5035 34032 Montpellier CEDEX 01.

RESUME

Sur un sol ferrallitique forestier graveleux, de Côte d'Ivoire, l'examen du profil cultural de parcelles défrichées mécaniquement et mises en culture par semis direct ou labourées, associé à la porosimétrie à mercure, confirme l'effet compaction attribué aux opérations de mise en culture par comparaison à un profil sous forêt naturelle. Cet effet se manifeste par une chute importante de la macroporosité, une augmentation de la résistance à la pénétration et une diminution du nombre de racines sur parcelle non labourée. Le labour, quant à lui, est associé à une bonne qualité de l'espace poral, bien que des volumes structuraux massifs, dont on pourrait attribuer l'origine à la compaction de l'horizon de surface lors du défrichement, représentent encore 16% de la surface de l'horizon labouré, après quatre années de culture.

INTRODUCTION

Les opérations préculturales (défrichement et travail du sol) engendrent souvent des perturbations importantes au niveau du sol. Ces modifications sont surtout marquées lorsque le défrichement est réalisé au bulldozer. (Boka, 1986; Gnamba, 1986; Moreau, 1986; Yoro et Godo, 1990). Elles se caractérisent par la présence de micro reliefs (zone d'accumulation, zone de décapage) et par des tassements du sol, entraînant une diminution du volume initial des pores de taille supérieure à 0.1 µm, réduisant ainsi l'infiltration de l'eau dans le sol (Grimaldi et al., 1993).

Pour comprendre les conséquences des pratiques agricoles sur l'évolution des caractères du sol, une étude sur l'effet du défrichement et du travail de sol est conduite en Côte d'Ivoire, dans le cadre du projet "Défrichement et Sol acide" du réseau AFRICALAND de l'IBSRAM (International Board for Soil Reasarch and Management).

L'objectif de cette note est de rendre compte, d'une part, des perturbations morphologiques survenues dans le sol à la suite d'une mise en culture selon différents traitements (défrichement et travail du sol) et, d'autre part, des conséquences sur les caractéristiques de l'espace poral.

MATERIEL ET METHODES

Terrain et dispositif expérimental

Le site est situé dans la région de Bécédi au Sud de la Côte d'Ivoire (Godo et al., 1989). C'est une zone forestière, sous un climat équatorial attiéen intérieur (Boissezon 1967) à quatre saisons, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1600 mm. Le sol est de type ferrallitique fortement désaturé sur schistes birrimiens à filons de quartz; ce qui confère au sol un caractère très graveleux (graviers et cailloux de quartz, gravillons ferrugineux). Le terrain a connu quatre années de mise en culture de maïs et d'arachide, en alternance, après différentes techniques de défrichement et de travail du sol. Trois types de défrichement (traditionnel, semi-mécanisé, mécanisé) et trois modes de travail (non travail, minimum travail, labour) ont été appliqués. Le dispositif expérimental est composé de 6 traitements en trois répétitions et d'un témoin sous forêt, soit 19 parcelles. On ne retiendra ici que trois situations : le témoin sous forêt (F), une parcelle après défrichement mécanisé et sans labour du sol (Ms) et une parcelle après défrichement mécanisé et labourée (Ml) au tracteur, avec une charrue à soc, jusqu'à 30 cm de profondeur (fig. 1).

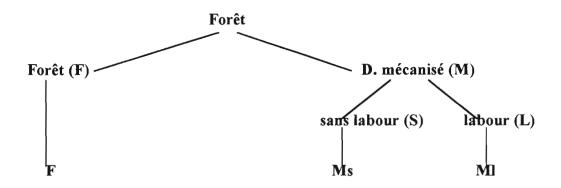


Fig. 1 Schéma des situations étudiées

Observations et déterminations

L'analyse des perturbations morphologiques est abordée à différents niveaux d'organisation avec une stratification des observations du sol dans l'espace pour les différents traitements (parcelle, profil cultural, volumes morphologiques homogènes, mottes).

L'étude du profil cultural dans les 40 premiers centimètres du sol a permis d'identifier différentes unités morphologiques homogènes (UMH), variant selon le mode de traitement appliqué. Plusieurs paramètres ont permis de caractériser les modifications morphologiques. Ce sont notamment, la couleur, la texture et la structure. L'enracinement a été évalué et cartographié à l'aide d'une grille à maille carrée (2 cm x 2 cm) plaquée contre la paroie du profil cultural. La résistance à la pénétration a été mesurée à l'aide d'un pénétromètre à cône (DIK - 5551 Push - Cone) de type Yamanaka (Moreau et Nagumo, 1994).

La porosimétrie à mercure, permettant d'évaluer le volume poral et la répartition des pores en fonction de leur diamètre d'accès au mercure, a été réalisée à l'aide d'un appareil *Pore Sizer 9310, Micrométrics*. La gamme de diamètres explorés par cet appareil s'étend de 400 à 0.006 µm. L'échantillon d'une taille inférieure à 20 mm, déshydraté à l'étuve à 105°C, est préalablement soumis à un vide de l'ordre de 1.10.5 Mpa avant le remplissage de la cellule par

le mercure. Afin de rendre toutes les courbes comparables, les valeurs d'intrusion sont ramenées à un diamètre de référence par interpolation entre deux mesures successives. Ces mesures de porosimétrie à mercure sont réalisées sur des échantillons prélevés dans les UMH.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Impact du défrichement et du labour sur le profil cultural

Les cartes des unités morphologiques homogènes (A11; A12; A2; B2 pour F; A1(ms), A2(ms) et B2(ms) pour Ms; Ap1(ml), Ap2(mla), Ap2(mlb) et B2(ml) pour Ml) et celles de l'enracinement associé à chaque traitement sont représentées sur les figures 2a, a'; 2b, b' et 2c, c'. La légende des UMH de la figure 2, a été établie en privilégiant d'abord les caractères fondamentaux du matériel pédologique tels que la couleur, la texture ainsi que le positionnement dans le profil. Ces caractères permettent d'établir des filiations entre les UMH de la forêt et celles des parcelles sous culture Ms et Ml. Les caractères structuraux conduisent à un deuxième niveau de distinction entre ces unités. Ils rendent compte des modifications résultant des conditions de mise en culture.

L'effet du défrichement se traduit par la disparition de l'horizon de surface A11 observé sous forêt (fig. 2a), réduisant ainsi le nombre d'horizon à trois sur Ms (fig. 2b) pour la profondeur considérée, avec quelques modifications des caractéristiques des horizons observés (tab. 1).

Horizon 1 (A1): La structure grumeleuse à faible cohésion avec une grande porosité inter agrégat, sous forêt (A11 et A12), passe à une structure presque massive avec une absence de porosité interagrégats sur la parcelle défrichée sans labour (Ms). on note un accroissement de la résistance à la pénétration qui passe de 1.40 kg/cm² sous forêt, à 3.40 kg/cm² sur Ms. Ce changement de structure, associé à l'augmentation de la résistance, témoigne d'une compaction de cet horizon A1, résultant du défrichement et de la mise en culture. Cependant, la couleur de A1 (brun à brun sombre 10 YR 4/3) est peu différente de celle des unités sous forêt (brun à brun sombre 10 YR 4/3 pour A11, et brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4 pour A12).

Horizon 2 (A2): L'effet est également marqué par un changement de structure lorsqu'on passe de A2 sous forêt, à A2(ms) sur Ms, mais à un degré moindre par rapport à l'horizon 1. Des polyèdres émoussés grossiers, sous forêt, on passe à des polyèdres anguleux fins à moyens. Cet horizon présente un léger accroissement de la résistance à la pénétration, qui passe de 8.50 kg/cm² sur F, à 10 kg/cm² sur Ms, la couleur reste la même (brun sombre jaunâtre 10 YR 4/6).

Horizon 3 (B2): L'impact du défrichement n'est pas visible. Dans les deux situations (sous forêt et sur Ms), l'horizon est brun (7.5 YR 5/4) sous forêt et brun vif (7.5 YR 4/6) sur Ms. Il est fragmentaire peu net, peu meuble à cohérent avec une porosité fissurale. La résistance à la pénétration est de 10.50 kg/cm².

L'enracinement n'est bien sûr pas comparable, étant donné que nous n'avons pas affaire aux mêmes espèces végétales sous forêt et sur parcelle en culture. Cependant, il est superficiel tout aussi bien sous forêt que sur Ms.

L'effet du labour se traduit par le passage des horizons continus sur parcelle non labourée Ms, à des unités ou volumes discontinus plus ou moins homogènes sur parcelle labourée MI (fig. 2c). Il s'en suit une modification de caractéristiques morphologiques. En comparant l'épaisseur (30cm) de la couche labourée à celle des horizons initiaux A1 (8cm), A2 (12cm) et B2 (20cm observé), on peut conclure que le travail du sol a affecté A1, A2 et

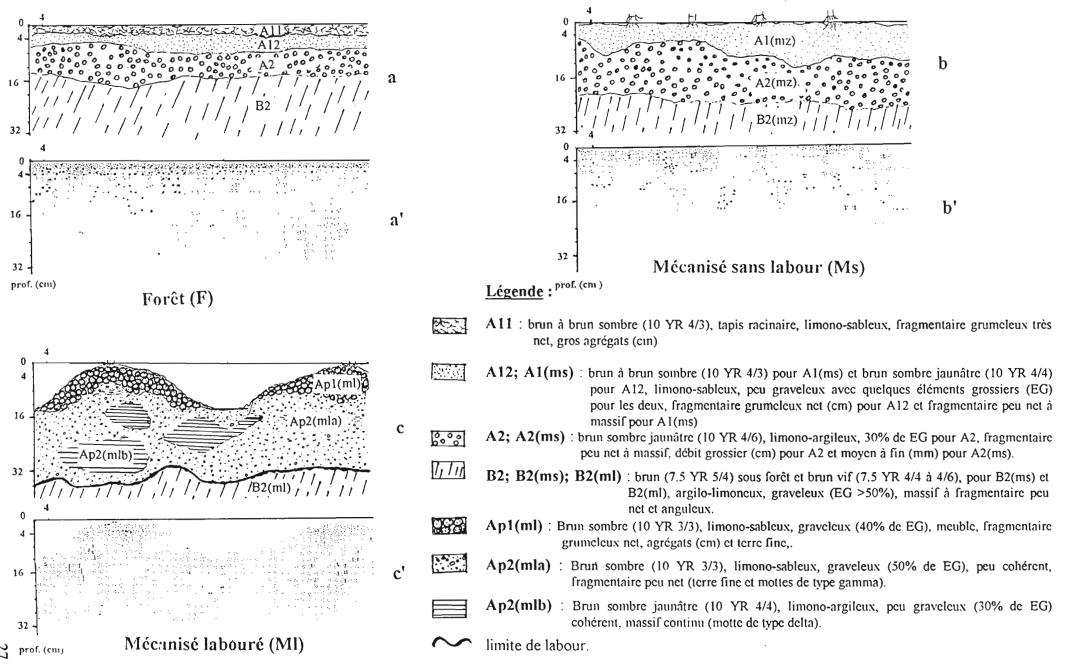


Fig. 2: Schémas (cartographie) des profils culturaux (a, b, c) et des enracinements (a', b', c')

seulement environ 10cm de B2. Les unités Ap proviennent du remaniement des horizons A1, A2 et partiellement de B2. Ces volumes sont composés de terre fine et d'éléments grossiers (graviers de quartz et gravillons ferrugineux). Si on considère l'espace du profil cultural exploré par les plantes cultivées (40cm maximum ici dans le cas du maïs), et l'analogie entre les positions des horizons et des volumes, on peut établir une comparaison entre les situations.

Volume 1; Ap1(ml): Brun sombre (10 YR 3/3). L'impact du labour se traduit par l'existence d'une structure grumeleuse grossière peu cohérente semblable à celle du A12 sous forêt. La résistance est faible, 0.5 kg/cm² contre 1.40 kg/cm² de A12 sous forêt et 3.40 kg/cm² de A1(ms) sur parcelle non labourée Ms. Cette unité Ap1(ml) résulte du remaniement du matériel en terre fine lors de la confection des billons, à la houe, après le passage du tracteur.

Volume 2a; Ap2(mla): Brun sombre (10 YR 3/3) comme Ap1(ml). Il est fragmentaire émoussé, meuble, contrairement à A2 sous forêt et A2(ms) de Ms, plus massifs et plus cohérents. Il est plus résistant (2 kg/cm²) que Ap1(ml) (0.5 kg/cm²), mais moins que A2 (8.5kg/cm²) sous forêt et A2(ms) (10 kg/cm²) de Ms.

Volume 2b; Ap2(mlb): Il est composé de volumes brun sombre jaunâtre (10 YR 4/4) isolés dans la masse de terre que constitue Ap2mla. Il est très différent des autres par sa structure massive continue, sa forte cohésion et sa résistance à la pénétration (14 kg/cm²), beaucoup plus élevée que celle des autres unités.

Volume 3; B2(ml): brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4. Il n'est pas perturbé par le travail du sol et possède les mêmes caractéristiques que B2 sous forêt et B2(ms), sur Ms. Il est massif à fragmentaire peu net, meuble à cohérent. Il présente une porosité fissurale et une résistance de 10.50 kg/cm².

D'une manière générale, *l'enracineme*nt du maïs est plus abondant et plus profond sur la parcelle labourée Ml que sur la parcelle non travaillée Ms pour la profondeur (40 cm) explorée (tableau 1). Il varie de 169 racines/dm² entre 0 à 8 cm de profondeur, à 33 racines/dm² entre 8 et 40 cm de profondeur pour Ms. Il est 3 à 6 fois supérieur à profondeurs comparables sur Ml, soit 523 racines/dm² entre 0 et 7 cm et 220 racines/dm² entre 7 et 40 cm. Les volumes les moins résistants sont mieux pourvus en racines que ceux de résistance élevée. Ainsi, à profondeur égale, Ap2(mla) (2 kg/cm²) contient 146 racines/dm² alors que Ap2(mlb), plus résistant (14 kg/cm²), ne contient que 71 racines/dm² (tab. 1).

Parcelles	UMH	Proportion des UMH (%) pour (40 cm x 100 cm) de surface	Profondeur (cm)	Nombre de racines/dm²	Résistance kg/cm²
	A 11	5.7	0 - 3	775.0	0.1
Forêt	A12	10.3	3 - 9	187.3	1.4
(F)	A 2	21.2	9 - 18	40.1	8.5
, ,	B2	53.2	18 - 40	3.5	10.6
Mécanisé	A1(ms)	20.3	0 - 8	169.5	3.4
sans	A2(ms)	36.1	8 - 20	33.4	10.1
labour	B2(ms)	43.6	20 - 40	0.0	10.3
(Ms)	,				
Mécanisé	Ap1(ml)	15.0	0 - 7	523.1	0.5
labourée	Ap2(mla)	37.7	7 - 32	146.1	2.1
(MI)	Ap2(mlb)	16.6	16 - 28	71.4	14.1
	B2(mlb)	31.0	32 - 40	2.7	10.5

Tableau 1 : répartition de l'enracinement et de la résistance dans le profil cultural.

L'impact du défrichement est donc marqué, sur la parcelle Ms, par une disparition de l'horizon superficiel A11, un changement de la structure qui devient plus massive et par un accroissement de la résistance à la pénétration. Les deux premiers horizons A1 et A2 sont les plus affectés. Le labour a entraîné une perturbation dans l'organisation du profil, avec formation de UMH et le maintien d'une structure fragmentaire, avec l'existence de volumes isolés Ap2(mlb) très cohérents et de forte résistance à la pénétration. L'abondance de racines sur Ml montre un effet bénéfique du labour, qui permet ainsi de remédier à la dégradation physique constatée sur la parcelle non labourée Ms.

Impact du défrichement et du labour sur les caractéristiques porales (porosimétrie au mercure)

Compte tenu de la taille de l'échantillon passant au porosimètre à mercure (Hg), Les EG susceptibles d'entrer en ligne de compte sont ceux du groupe des graviers compris entre 0.2 et 0.5 cm. Ces EG sont faiblement altérés, donc de faible porosité, située pour la majorité des cas dans la gamme de la microporosité et de la porosité matricielle en générale peu affectée par les activités agricoles. Porosité totale EG = 0.013 cm3/g avec 75% de diamètre de pore < 0.5 µm. Les courbes dérivées (Fig 3a, b, c) présentent des répartitions porales qui diffèrent d'un UMH à l'autre au sein d'une situation donnée. Le tableau 2, renferme les caractéristiques porales des échantillons et la figure 4, l'impacts des traitements sur les UMH.

Parcelles	UMH	Intrusion (cm3/g)	Diamètre médian (µm)	Densité apparente	porosité totale Hg en (%)	EG (%) pondéral par UMH
Forêt	A11	0.3238	16.0	1.4	45.3	3.3
(F)	A12	0.2733	12.5	1.6	42.3	28.9
	A 2	0.2247	7.2	1.7	37.3	19.0
1	B 2	0.2020	3.0	1.8	36.1	61.0
Mécanisé	A1(ms)	0.2464	1.6	1.6	39.6	6.8
sans	A2(ms)	0.2522	0.6	1.6	40.4	0.7
labour	B2(ms)	0.2178	0.1	1.7	36.9	6.0
(Ms)						
Mécanisé	Apl(ml)	0.2468	11.4	1.6	40.0	24.5
labourée	Ap2(mla)	0.2351	7.9	1.7	39.4	52.5
(MI)	Ap2(mlb)	0.2298	1.8	1.6	37.7	0.0
	B2(ml)	0.1328	0.1	2.0	27.1	73.9

Tableau 2 : Caractéristiques porales des échantillons.

Les résultats, consignés dans le tableau 2, montrent une baisse de la porosité totale (Hg) du haut vers le bas du profil quelque soit la situation, d'une part, et de la forêt (F) aux parcelles défrichées (Ms et Ml) pour les horizons supérieurs, d'autre part.

Diamètre médian

Le diamètre médian, c'est à dire le diamètre pour lequel le volume poral est rempli à 50%, caractérise la finesse de l'espace poral des échantillons. Plus il est faible, plus la porosité

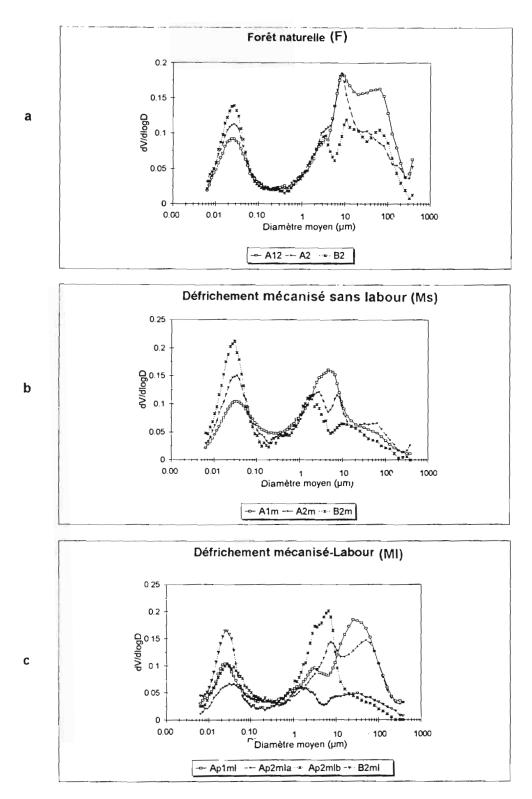


Fig. 3 a,b,c: Distributions porales des unités morphologiques

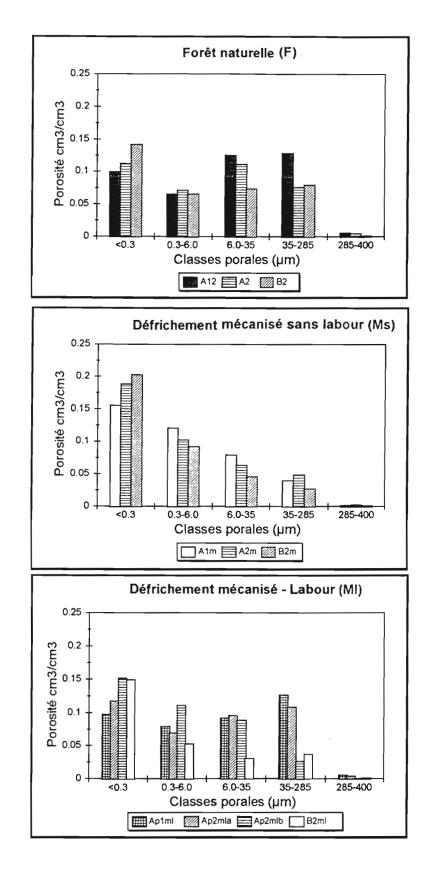


Fig 4:Impact du défrichement mécanisé et du labour sur les classes porales.

est fine. Sa valeur décroît avec la profondeur tant sur la parcelle sous forêt F, que sur la parcelles sans labour Ms et labourée Ml.

Les horizons A de Ms, de même que le volume Ap2(mlb) de Ml, se distinguent par un diamètre médian de très faible valeur. En comparaison du profil sous forêt, ce resserrement de la porosité vers des pores de faible diamètre pourrait être attribué à un compactage dû aux opérations de défrichement. Quant aux autres UMH de Ml, les valeurs de diamètre médian plus proches de celles de F montrent que le labour à permis de redonner au sol une bonne qualité de l'espace poral dans les horizons labourés.

Les horizons profonds B2(ms) et B2(ml) des parcelles défrichées Ms et Ml présentent des diamètres médians pratiquement identiques (0.08 µm), apparemment plus faibles que celui de B2 sous forêt (3 µm). Ceci peu laisser supposer que des effets de la mise en culture (modification du pédoclimat, de l'activité biologique...) ont pu aussi se répercuter jusqu'au niveau de l'horizon B2.

Les classes de pore

L'observation des courbes de distribution de la taille des pores, ou spectre poral, dérivées des courbes cumulées (Fig. 3a, 3b, 3c), montre que celles-ci sont nettement bimodales, séparant la porosité en deux grandes classes de pores autour d'un diamètre moyen de l'ordre de 0.3 µm. Cette valeur de diamètre est comparable à celle observée sur d'autres sols ferrallitiques (CARVALHO et al., 1991) ou ferrugineux (COLLEUILLE, 1993).

La première classe (D < $0.3\mu m$) correspond à la porosité matricielle développée en général par l'assemblage des particules les plus fines du sol. Le mode se situe à une valeur moyenne de diamètre de $0.036\mu m$, relativement constante.

La seconde classe (D > $0.3\mu m$) correspond à la porosité ménagée par l'assemblage des agrégats entre eux (micro et mésoporosité). Cette partie des courbes présente souvent une allure plurimodale plus ou moins prononcée qui permet de caractériser différentes classes de pores. Ces classes sont définies par des valeurs seuils qui se recoupent assez bien pour les différentes UMH. On peut identifier quatre sous classes suivantes d'après les valeurs limites 0.3 - $6\mu m$; 6 - $35\mu m$; 35 - $285\mu m$ et 285 - 400 μm (tableau 3).

Types de classe de pore	Classes Fonctionnelles diamètres (µm)	Classes Observées diamètres (µm)	Caractéristiques
macroporosité	>2000		vers de terre et autres faunes
	200 - 2000	(280 - 400)	traces de radicelles
mésoporosité	60 - 200	35 - 280	drainage rapide
1	20 - 60		drainage lent
	6 - 20	6 - 35	drainage très lent, limites
microporosité	0.2 - 6	0.3 - 6	racinaires
matricielle	<0.2	< 0.3	essentiel de la RU
			pF 4.2

Tableau 3 : Classes de pores (classes fonctionnelles ; selon Chamayou et Legros, 1989)

Il apparaît selon le tableau 3 que les valeurs limites définies ci - dessus sont en bonne concordance avec celles, fonctionnelles, définies par CHAMAYOU et LEGROS (1989). La valeur limite maximale de 400 µm, liée au porosimètre à mercure, ne permet pas de prendre en compte toute la macroporosité, alors que des gros pores sont souvent nettement visibles.

L'impact du défrichement et de la mise en culture sans labour du sol (Ms) se manifeste, quel que soit l'horizon, par une diminution de la méso et de la macroporosité et un accroissement de la microporosité et de la porosité matricielle (fig. 4).

Le labour (MI) a permis sur les deux premiers volumes, Ap1(mI) et Ap2(mI), de maintenir une bonne qualité de l'espace poral. L'UMH compacte Ap2(mIb), présente dans le profil sous labour, se distingue des autres (Ap1(mI) et Ap2(mIa)) par des porosités plus importantes pour les deux classes les plus fines, et corrélativement par une chute brutale pour les deux classes plus grossières (fig.4). Sa distribution porale s'apparente à celle de A1ms de la parcelle non labourée (fig. 3b, 3c). Ce volume pourrait correspondre à des éléments de l'horizon de surface, compacté au défrichement et enfoui sans destruction malgré les labours successifs.

CONCLUSION

Cette étude comparative à différentes échelles, montre une bonne adéquation entre les différentes données obtenues sur le terrain (études morphologiques, pénétrométrie, densité d'enracinement du maïs) d'une part, et au laboratoire d'autre part, avec le porosimètre à mercure.

Ces résultats concordent pour conclure que :

- le défrichement mécanisé, suivi de la mise en culture sans labour maintient les horizons superficiels A1, A2 et B2 en place, mais conduit toute fois à une dégradation de la structure de ces horizons. Cette dégradation se matérialise par la transformation de la structure macroagrégée grumeleuse sous forêt, en une structure peu fragmentaire à massive, associée à un accroissement de la résistance à la pénétration, avec une baisse de la macroporosité du sol d'environ 50% par rapport à la forêt; l'enracinement du maïs y est faible et superficiel.
- le défrichement mécanisé, suivi d'un labour profond (30 cm), entraîne une redistribution du matériel issu des horizons forestiers A1 et A2 et partiellement de B2 dans la couche labourée où se distinguent différentes unités morphologiques homogènes (UMH) caractérisant une plus grande hétérogénéité du profil. D'une façon générale, les horizons Ap se caractérisent par une bonne qualité de l'espace poral, une faible résistance à la pénétration et un enracinement trois fois plus abondant que sur parcelle non labourée. Cependant, des volumes plus compacts subsistant dans l'horizon de labour pourraient traduire un effet prolongé de compaction survenue au moment du défrichement. Une étude morphologique plus fine devrait confirmer cette hypothèse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOISSEZON P. de - 1967 : Etude pédologique de la zone vulnérable de l'IROBO. ORSTOM - Ministère de l'Agriculture (Convention forestière) T. 1 - 78 p.

BOKA Anoh Marie - Thérèse - 1986: Modifications physiques d'un sol ferrallitique sous l'effet du défrichement lourd motorisé. *Mémoire de DIAT (ESAT). Montpellier. 48 pages*.

- CARVALHO, SR et al., 1991: Tassement des sols ferrallitiques podzolico vermelho amarelo sous culture de canne à sucre. Apport d'une analyse de la porosité associée à une connaissance détaillée de la phase minérale. Cah. Orstom, sér. Pédol., vol XXVI n°3,1991:195-212
- CHAMAYOU, H. et LEGROS JP., 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. *Collection Techniques Vivantes*. Agence de Coopération Culturelle et Technique. P. U. F Paris
- GNAMBA A. S. 1986: Quelques effets du défrichement motorisé sur certains types de sol de Côte d'Ivoire. Mémoire pour l'obtention du D. A. A. Option Agropédologie (ENSA ABIDJAN) 55p.
- GODO G., YORO G., GOUE B., AFFOU Y., 1989 : Caractérisation physique et socioéconomique du site expérimental IBSRAM de Bécédi Sous Préfecture de Sikensi. Rapport technique n°1 IBSRAM, ORSTOM Adiopodoumé, 32 p.
- GRIMALDI M., SARRAZIN A., CHAUVEL F., LUIZAO N., NUNES M., DE ROSARIO L. R., AMBLARD P., TESSIER D. 1993: Effet de la déforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne. *Cahiers Agricultures*, 2, 1993, p. 36 47.
- MOREAU R. 1986: Effect of methods of deforestation and soil management on properties of some soils in Ivory Coast. "In" Land Clearing and Développement in the tropics. A. N. Balkama, Rotterdam, pp 247-264.
- MOREAU R. et NAGUMO F. 1994: Le pénétromètre Yamanaka et son utilisation pour l'évaluation des possibilités d'enracinements dans les horizons des sols cultivés. Structure et fertilité des sols tropicaux, Montpellier 12 et 13 septembre 1994.
- YORO G. et GODO G. 1990 : Identification de la microvariabilité après défrichement motorisé d'un sol ferrallitique issu de sables tertiaires. Communication au Séminaire annuel de l'IBSRAM tenu à Madagascar du 10 au 18 janvier 1990. IBSRAM Proceedings n°10, pp: 401 414.

Caractérisation hydrodynamique d'un sol encroûté en zone sahélienne.

P.PEREZ*

* : CIRAD-CA, URGE, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France.

La présence d'une croûte superficielle a une influence prépondérante sur les capacités d'infiltration de la plupart des sols en zone caractérisation, La in situ, de la hydraulique développée au sein de cette croûte a longtemps limitée par des contraintes métrologiques. Le protocole expérimental présenté nous a permis de suivre l'évolution du comportement hydrodynamique d'un sol ferrugineux du Sénégal soumis à deux pluies artificielles (Figure 1). On observe une certaine cohérence entre les résultats des mesures tensio-capacitives effectuées durant les averses et ceux fournis par l'infiltrométrie à succion contrôlée en fin d'expérimentation (Figure 2). Cependant, seule la première technique permet d'accéder à la conductivité hydraulique propre de la croûte (Tableau 1). L'analyse d'échantillons de sol non remaniés par porosimétrie au mercure confirme la modification structurale qui intervient à la surface du sol (Tableau 2).

Un article.scientifique doit être prochainement soumis à publication. La première partie concerne l'aspect expérimental (Perez et al.), la seconde partie est consacrée à la modélisation numérique du processus d'infiltration et à sa comparaison avec les données mesurées (Touma et al.).

Mots clés

Sol encroûté, simulateur de pluie, infiltromètre à succion contrôlée, porosimétrie au mercure, résistance hydraulique.

Tableau 1 : Valeurs de la conductivité hydraulique (K_c) et de la résistance hydraulique (R_c) de la croûte calculées à partir de trois valeurs de vitesse d'infiltration (F) et de potentiel matriciel (h_{mc}) déterminées expérimentalement.

	F	dH/dz	h _{me}	Kc	Re
	(mm/h)	à z=10 cm	(hPa)	(mm/h)	(h)
1° averse t = 120 mn	28	2,3	-15	0,37	5,4
2° averse t = 60 mn	18	1,3	-30	0,12	16,7
2° averse t = 120 mn	15	1,6	-20	0,15	13,3

Tableau 2 : Caractérisation structurale des états initiaux et finaux pour différents échantillons pris en surface («croûte») ou plus en profondeur («massif») et soumis à une analyse par porosimétrie au mercure. $V_{\rm t}$: volume d'intrusion total ; $D_{\rm med}$: diamètre équivalent médian ; $n_{\rm Hg}$: porosité. Entre parenthèses : écart-type associé.

		(cm ³ /100g)	D _{med}	(cm³/cm³)
Etat initial	croûte	0,240 (0,017)	28,0 (7,4)	0,39
	massif	0,248	29,8	0,40
Etat final	croûte	0,227	20,2	0,37
	massif	0,252	32,8 (7,1)	0,40 (0,02)

DISPOSITIF DE SIMULATION DE PLUIE

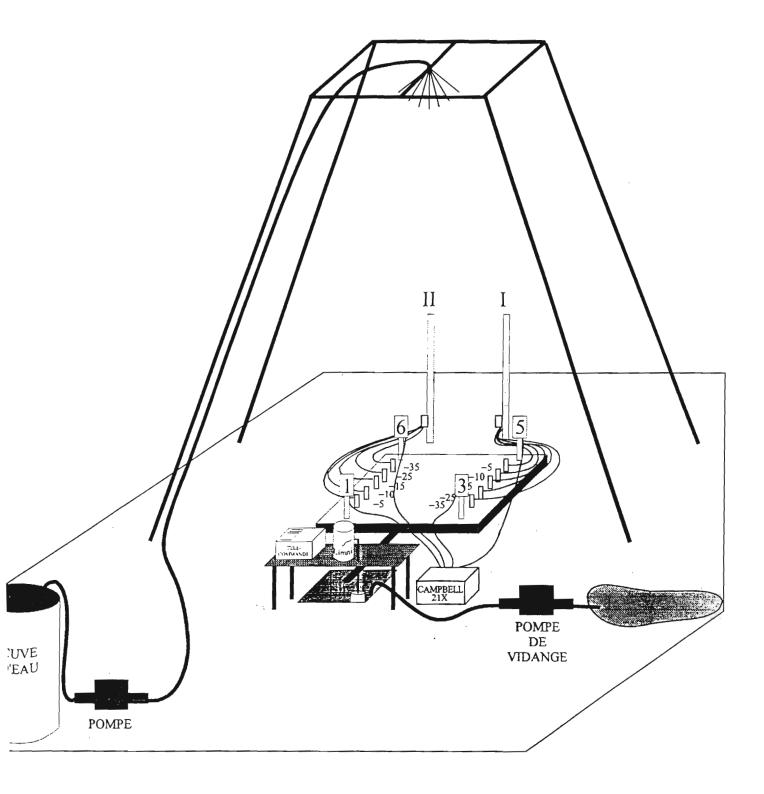
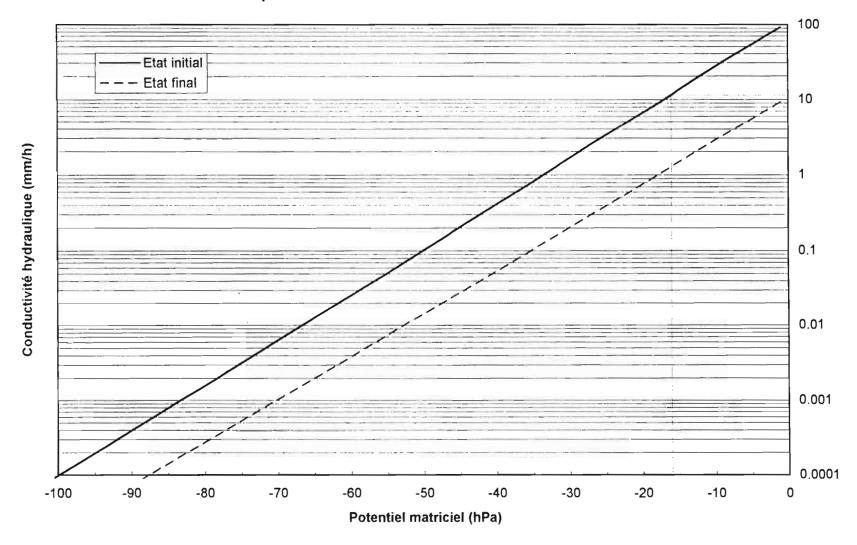


Figure 1

Figure 2 : Relations entre la conductivité hydraulique (K) et le potentiel matriciel (h) avant et après les deux averses artificielles. Infiltrométrie à succion contrôlée.



LES STRUCTURES DU SYSTEME SOL-PLANTE DESCRIPTION ET MESURE

Philippe de BLIC

Orstom, B.P. 182, Ouagadougou 01, Burkina Faso

RESUME

Cinq niveaux de structure sont importants à analyser pour décrire la couverture pédologique. Ils sont mis en parallèle avec les structures correspondantes de la couverture végétale.

On présente ensuite des schémas méthodologiques pour la description et la mesure des structures de la couverture biopédologique et l'on évoque pour terminer les dimensions temporelle et humaine qui permettent d'accéder à l'évolution du système sol-plante.

Mots-clefs: analyse structurale, méthodologie, couverture biopédologique, système sol-plante, profil cultural.

QU'EST-CE QUE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE ?

C'est la partie superficielle de la lithosphère transformée par la présence et les actions de l'atmosphère et de la biosphère.

Le profil permet d'observer, de prélever et donc d'analyser la couverture pédologique selon les trois dimensions, en un lieu et à un moment donnés.

La notion de profil est un outil méthodologique. C'est ainsi (BAIZE, 1986) que le profil morphologique décrit le mode de superposition des horizons au sein de la couverture pédologique.

On pourra parler, selon les informations recueillies, de profil structural, hydrique, granulométrique, etc. ou bien, si l'on se réfère à des considérations plus synthétiques, de profil d'altération, de profil cultural.

LES STRUCTURES DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

La couverture pédologique est structurée à différents niveaux depuis l'échelle de l'organisation des particules jusqu'à celle de l'unité de paysage.

Cinq niveaux de structure sont particulièrement importants à décrire et mesurer.

Les organisations élémentaires

Ce sont des volumes pédologiques qui assemblent les constituants ; ces organisations sont partiellement visibles à l'œil nu, partiellement à l'aide de microscopes. A l'œil nu, les principales organisations élémentaires que l'on peut reconnaître et décrire dans les fosses d'observation sont : agrégats, vides, concentrations de constituants (revêtements, nodules ...), couleurs, traces d'activité biologique. Il peut y avoir plusieurs niveaux emboités d'organisations élémentaires.

Les assemblages

Ce sont des volumes pédologiques que l'on caractérise sur le terrain et sous les microscopes par la présence associée d'un certain nombre d'organisations élémentaires. Un assemblage se décrit en termes de types de constituants, d'agrégats, de vides, de couleurs, de caractères biologiques.

Les horizons

Ce sont des volumes pédologiques plus ou moins parallèles à la surface du terrain. Chaque horizon se décrit en termes d'un ou plusieurs types d'assemblages et de leurs relations.

L'horizon est généralement considéré comme l'unité de base de la caractérisation locale de la couverture pédologique.

Les pédons

Dans le cas de l'étude du système sol-plante, qui nous intéresse ici, nous avons à prendre en compte les structures de la couverture végétale. Nous les retrouvons aux différents niveaux de définition des structures pédologiques.

Il nous a paru alors indispensable de distinguer un niveau de structure privilégié vis à vis de la croissance des végétaux qui est, en un lieu donné, l'ensemble vertical des horizons.

<u>Le concept du Pédon</u>, établi par les pédologues américains et repris par Boulaine, traduit bien, semble-t-il, ce niveau de structure.

- Surface de 1 m2, s'il n'y a pas de variations latérales.
- De 10~m2, si les variations latérales ont une amplitude inférieure à 7~m.
- Si cette amplitude dépasse 7 m, plusieurs pédons définissent alors une unité complexe.

Le pédon est alors l'unité de base de la caractérisation locale du système sol-plante (niveau n).

Les systèmes pédologiques

Ce sont des volumes pédologiques au sein desquels des horizons sont organisés entre eux, verticalement et latéralement, à l'échelle de l'unité de relief. Un système pédologique se décrit donc en termes d'horizons et de relations entre horizons.

Dans certains systèmes pédologiques, les variations verticales et latérales sont plus celles des assemblages qui se transforment et se succèdent que celles d'horizons qui se succèdent.

Le concept initial du système pédologique englobait le pédon (Ruellan, Dosso, Fritsch, 1989). Nous avons préféré, pour les raisons évoquées ci-dessus, en faire un niveau de structure à part entière. Les systèmes pédologiques regroupent alors deux niveaux de structures :

- la toposéquence élémentaire (ou segment pédologique) qui correspond grosso modo au champ.
- l'unité dynamique ou volume élémentaire de modelé (bassin versant élémentaire, interfluve) qui se situe à l'échelle du terroir villageois ou de la fraction de terroir.

DECRIRE LES STRUCTURES DU SYSTEME SOL-PLANTE

Aux niveaux de structure supérieurs au pédon, couverture pédologique et couverture végétale sont décrites séparément, selon les méthodologies propres aux différentes disciplines (pédologie, agronomie, écologie végétale). Une méthodologie de description intégrée avait été mise au point dans les années 70 par une équipe interdisciplinaire animée par Y. CHATELIN. Elle n'a malheureusement été que peu utilisée.

A partir du pédon, et aux niveaux inférieurs, la méthode du profil cultural permet d'appréhender le système sol-plante. Elle utilise des moyens d'observation macro, méso et micro.

MESURER LES STRUCTURES DU SYSTEME SOL-PLANTE

Aux échelles supérieures ou inférieures à l'assemblage, la mesure des structures fait surtout appel aux techniques relevant de la cartographie et de l'analyse d'image.

C'est à l'échelle de l'assemblage que s'appliquent les techniques de mesure physique proprement dites réalisées in situ ou sur échantillons non remaniés ramenés au labo :

- Mesures directes de paramètres structuraux (porosité, granulométrie d'agrégats).
- Mesure de propriétés étroitement corrélées avec l'organisation structurale du milieu (infiltration, densité apparente, résistance à la pénétration, etc.).

SPATIALISATION, TEMPORALITE, ANTHROPISATION

La démarche précédente, de description et mesure, permet de mettre en évidence l'organisation spatiale du système sol-plante (on pourrait dire "de la couverture bio-pédologique").

Une deuxième étape consiste (Ruellan, Dosso, Fritsch, 1989) à effectuer une interprétation dynamique des relations géométriques existant entre les structures de façon à mettre en évidence :

- d'une part, l'histoire de la mise en place des structures (genèse de la couverture bio-pédologique),
- d'autre part, l'évolution actuelle du système sol-plante.

La cinquième dimension, humaine, est sous-jacente à toutes les étapes de l'analyse structurale. L'anthropisation du milieu est bien évidemment – et notamment pour tout ce qui concerne les agrosystèmes – un facteur déterminant de l'évolution de la couverture biopédologique.

BIBLIOGRAPHIE

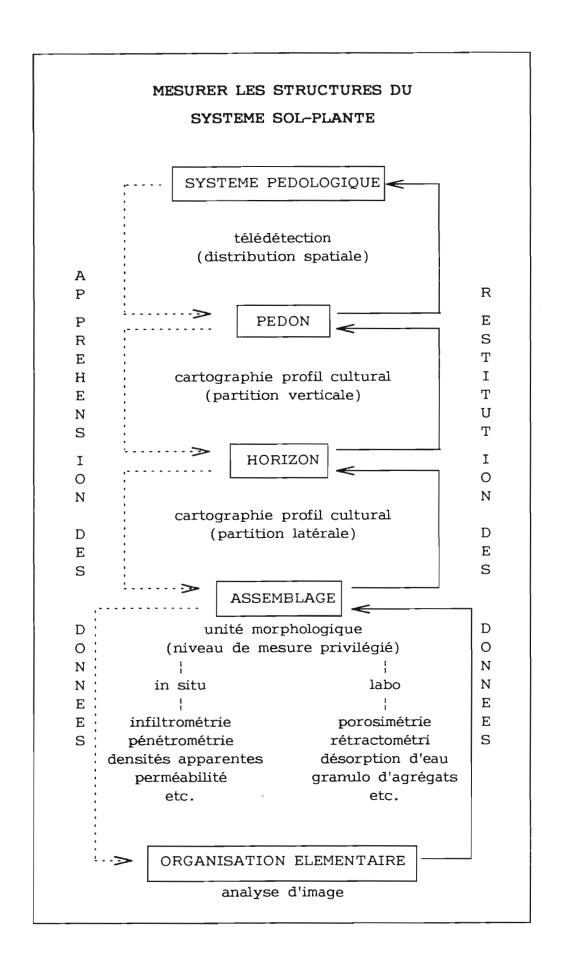
- BAIZE D. (1986) Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. Science du sol, vol. 24, 3, 227-243.
- BOULAINE J. (1980) Pédologie appliquée. 220 p., 52 figures, 19 tableaux. Collection des Sciences Agronomiques, Masson, Paris.
- RUELLAN A., DOSSO M., FRITSCH E. (1989) L'analyse structurale de la couverture pédologique. Science du sol, vol. 27, 4, 319-334.

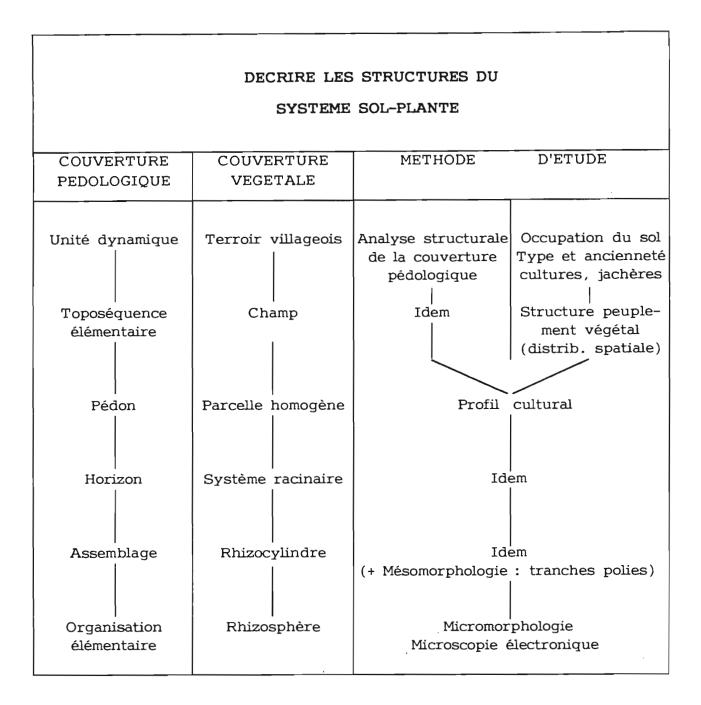
STRUCTURES DU SYSTEME SOL-PLANTE

COUVERTURE PEDOLOGIQUE

COUVERTURE VEGETALE

	Å	
n-3,4,5 : Organisations élémentaire	Rhizosphère	
	cm	
n-2 : Assemblages		Rhizocylindre
1	đm	1
n-1 : Horizons		Distribution des racines
	m	
n : Pédons		Morphologie système racinaire
(Ensembles d'horizons)		
1	dam	
Systèmes pédologiques		Structure peuplement végétal
(n+1 : toposéquences élémentaires)		
(n+2 : unités dynamiques)		
	km	





ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INFLUENCE DU CONFINEMENT D'UN SOL SUR SON EVOLUTION STRUCTURALE

LEFEBVRE Jean-Pierre, ZANTE Patrick

Laboratoire d'hydrophysique Centre Orstom d'Ile de France, 93143 Bondy cedex

RESUME

Le protocole expérimental développé autour d'un banc d'essais rhéologiques permet d'intégrer, au cours d'études au laboratoire, l'influence des conditions de confinement sur le comportement global d'un sol argileux lors d'humectations per ascensum. On peut de cette façon estimer l'action d'une contrainte intrinsèque générée par le gonflement des argiles sur l'échantillon maintenu dans des conditions de confinement données, en terme de fonctionnement mécanique (transmission de contrainte, résistance mécanique du squelette...) et hydrique du sol (variation de porosité, taux de saturation...). Les résultats obtenus permettent d'appréhender les liens entre ces deux fonctionnements en fonction de paramètres de confinement et d'envisager des corrections lors d'essais au laboratoire, visant à se rapprocher du fonctionnement in situ des échantillons prélevés.

Mots-clefs: rhéologie, structure, porosité, vertisol

INTRODUCTION

L'état structural d'un sol résulte de la nature et de l'arrangement des particules qui le composent, ainsi que de la qualité des liaisons mécaniques les unissant. Tous ces facteurs sont à l'origine de la résistance mécanique du matériau et de la transmission des contraintes. La combinaison de la force de pesanteur avec l'action d'agents externes concourt à l'évolution de la structure des sols (DEXTER, 1988). Dans le cas particulier des sols gonflants, des forces intrinsèques dues au comportement mécanique de la phase argileuse se surajoutent aux actions externes précédemment mentionnées et contribuent également à une modification des caractéristiques globales de la structure du sol (TESSIER et PEDRO, 1980; GRIMALDI, 1986; BRAUDEAU, 1988a et b; SALA et TESSIER, 1993).

On impute généralement à la géométrie de l'espace poral, les propriétés de transfert hydrique, et à l'arrangement de la phase solide, les propriétés mécaniques, sans que les interactions de ces deux phases ne soient clairement déterminées. Ainsi, un certain nombre d'études ont été menées en considérant l'un ou l'autre de ces aspects:

- d'une part, les modifications de structure du sol sous l'action d'agents externes ont fait l'objet de nombreuses études, visant en particulier à mieux comprendre les effets des pneumatiques et des opérations culturales (MANICHON, 1982; PAPY, 1987; HADAS et al, 1988). Certains de ces travaux ont plus particulièrement porté sur la caractérisation des changements de propriétés mécaniques sous l'effet de contraintes externes (compression, cisaillement...), sans insister sur les implications fonctionnelles qu'entrainaient ces modifications. Les résultats des tests de résistance mécanique (GUERIF 1982, 1988a, 1988b, 1990) montrent qu'il est cependant nécessaire de connaître l'histoire rhéologique complète de l'échantillon (humidité au compactage, pression appliquée) pour pouvoir caractériser son comportement mécanique à une contrainte donnée.
- d'autre part, d'autres recherches ont porté sur des modifications fonctionnelles (succion, teneur en eau...), sans définir précisément les conditions mécaniques en jeu. L'analyse de la porosité (STENGEL, 1979; FIES et STENGEL, 1981a et b; MONNIER et STENGEL, 1982) fournit une quantification des espaces poraux mais oblige à des mesures complémentaires de la taille des pores ou de la morphologie structurale pour établir les relations avec les propriétés mécaniques et physiques.

Bien que rarement menées conjointement, ces deux approches semblent complémentaires, notamment dans le cas de matériaux gonflants. Le comportement mécanique du squelette ainsi que les propriétés dynamiques des argiles, dépendent fortement de la teneur en eau et des forces de rétention. A l'inverse, des contraintes mécaniques peuvent modifier la distribution de porosité, l'orientation des particules argileuses (HICHER et al., 1994; GRUNBERGER et al., 1994), et avoir des répercutions sur le fonctionnement hydrique du sol. Cependant, du fait de la difficulté d'obtenir conjointement des informations sur l'assemblage des particules (structure) et sur son complémentaire, l'espace poral, on ne peut pas toujours préciser les interactions entre ces deux ensembles (STENGEL, 1990).

Dans la présente approche, on étudiera les forces développées par les sols eux-mêmes ainsi que les modifications de structure du matériau sous l'effet des contraintes générées par le gonflement des particules argileuses dans des conditions proches de celles du sol en place. Pratiquement, on considérera que l'énergie développée par gonflement des argiles s'applique sur un squelette présentant une certaine plasticité, elle-même liée à la teneur en eau, altérant la transmission de cette contrainte. Cette énergie s'exprimera à la fois sous forme de modifications de structure (gonflement, modification de la porosité...) et de transmission d'une contrainte suivant les conditions de l'expérimentation.

PRESENTATION DE L'ETUDE

Lors de l'humectation de l'échantillon de sol, la phase argileuse de celui-ci produira une énergie se traduisant par une contrainte intrinsèque totale, à laquelle on pourra opposer une résistance constante recréant des conditions comparables à celles du confinement de l'échantillon *in situ*. La fraction de l'énergie absorbée par la résistance de confinement induit des modifications de structure sans augmentation de volume du milieu alors que la fraction non-absorbée de cette énergie pourra s'exprimer par une modification du volume de l'échantillon.

Le but de ce travail consiste à étudier les modifications obtenues sur la structure du sol suivant différentes conditions de confinement (embedding). On pourra ainsi, en fonction de la valeur de résistance de confinement,

prélever une fraction de l'énergie totale produite, et observer l'action de la partie résiduelle en terme de déformation du milieu.

On a choisi dans un premier temps, de travailler sur des échantillons reconstitués dont on mesure, dans un plan donné, une expression de la transmission de l'énergie développée lors de l'humectation, dans un environnement mécanique contrôlé (composante verticale de la résistance mécanique variable). Ceci nous permet de mesurer, en fonction des propriétés mécaniques de l'environnement, la modification dynamique de structure du sol (contrainte développée en fonction de la teneur en eau...) ainsi que la modification de ses états d'équilibre pour des conditions données (porosité, taux de saturation...).

On suppose qu'en considérant un faible volume de sol parmi un milieu homogène, il n'existe un gradient de pression que suivant l'axe vertical, celui-ci traduisant la résultante de la contrainte produite par le volume de sol étudié et de la résistance générée par le sol environnant. Cette configuration ne prétend pas constituer une simulation adéquate du problème, mais seulement une première étude compatible avec les moyens technologiques dont nous disposons.

Dans cette approche, nous avons considéré :

- <u>comme moteur</u>, l'énergie délivrée par les particules argileuses en cours d'humectation. Cette force mécanique dépendant d'une part de la quantité et du type d'argile en présence, et d'autre part, de la teneur en eau de cette phase
- <u>comme support</u>, le squelette du sol, dépendant du matériau, de l'arrangement des particules, et de la teneur en eau
- comme résultante, une modification de la porosité de l'échantillon.

Pour se rapprocher du comportement du sol en place, on quantifiera en fonction de la valeur de résistance, les modifications de structure du matériau sous l'effet de ses propres contraintes, en terme de modifications de porosité. Il ne s'agit donc pas d'exercer une contrainte sur l'échantillon, ce qui est réalisé lorsqu'on étudie l'action de forces externes (effet du machinisme agricole...), mais d'opposer à la contrainte développée par l'échantillon une résistance constante.

MATERIEL ET METHODES

Préparation des échantillons

Les échantillons ont été confectionnés à partir de vertisol provenant de la moyenne vallée du fleuve Sénégal (Donaye). La composition granulométrique (%) est la suivante :

sables grossiers: 0.53 sables fins: 13.33 limons grossiers: 5.18 limon fin: 33.33 argiles: 47.62

La fraction argileuse est composée de 60% de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés), 30% de kaolinite, 5% de chlorite et 5% d'illite. Le sol broyé et tamisé à 2 mm est réparti en trois fractions représentatives de celles du sol original :

25% inférieur à 500 μm 40% de 500 μm à 1000 μm 35% de 1001 μm à 2000 μm

Le mélange de ces trois fractions (masse du sol sec à 105° C : 67.7 g) est versé dans des anneaux métalliques, amené à saturation sur plaque poreuse, puis à pF 3.0 dans une presse à membrane (RICHARDS, 1941). Deux séries ont été établies suivant deux valeurs de compression mécanique initiale pratiquée à pF 3.0 :

- série 1 (V1 à V6) : compression de 10.68 10⁴ N / m² (densité apparente à pF 3.0 : 1.64)

- série 2 (V7 à V12) : compression de 32.05 10⁴ N / m² (densité apparente à pF 3.0 : 1.92)

Les échantillons sont ensuite amenés à pF 4.2 (teneur massique en eau moyenne : 18.4 %) puis conditionnés dans des cylindres de 49.6 mm de diamètre moyen. Le rapport moyen hauteur / diamètre est de l'ordre de 0.5.

Matériel

Le banc rhéologique (fig. 1) permet de mesurer des grandeurs mécaniques telles que des pressions exercées et des déplacements. Il permet en outre d'asservir, dans une certaine mesure, ces deux grandeurs l'une par rapport à l'autre.

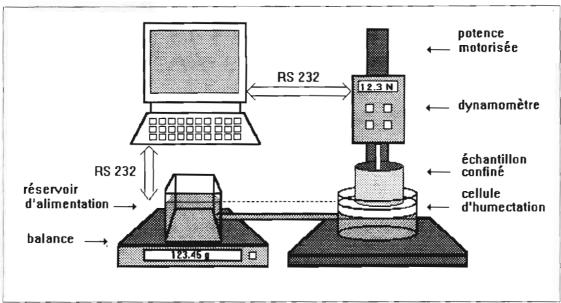


Figure 1 : schéma général du montage

Le banc est constitué d'une part, d'un dynamomètre (DFIS 50, INDELCO) monté sur une potence motorisée (TCD 200, INDELCO) et d'autre part d'une cellule d'humectation (fig. 2) comprenant un réservoir d'alimentation, maintenant saturé un fritté via une chambre. L'absorption d'eau per ascensum par l'échantillon est suivie dynamiquement grâce à une balance de précision (PM 2000, METTLER). L'ensemble du système est piloté par un micro-ordinateur via des liaisons RS 232. Dans le cas de mesure sans contrainte, on a préféré au système dynamomètre/potence motorisée, une mesure plus classique par capteur de déplacement (D2/200, RDP ELECTRONICS LTD) pratiquée dans les mêmes conditions.

Les échantillons de sol sont confinés dans des anneaux métalliques, le couplage des forces exercées par le sol avec le dynamomètre est assuré par un disque perforé, rigide et léger, de diamètre connu.

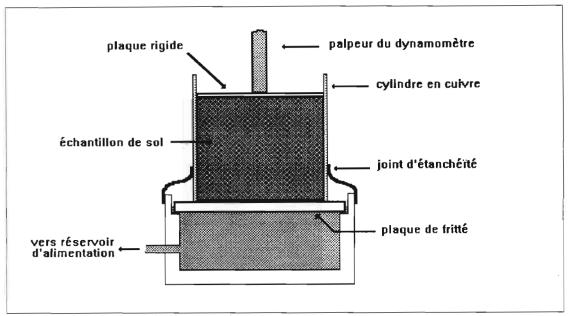


Figure 2 : détail de la cellule d'humectation

Méthode

L'échantillon conditionné dans un anneau métallique, est placé dans la cellule d'humectation préalablement amenée à l'équilibre. La plaque rigide perforée, posée au sommet de celui-ci, permet au palpeur du dynamomètre de se positionner au contact. On fixe au préalable la valeur de résistance de confinement.

Lors de l'humectation de l'échantillon, le dispositif permet simultanément d'enregistrer la masse d'eau absorbée, et de maintenir la résistance de confinement effective à une valeur inférieure ou égale à celle fixée.

Trois points sont distingués sur les courbes obtenues (fig. 3 et 4). Ils correspondent respectivement :

- au début de l'humectation (point A)
- au point où la contrainte intrinsèque est égale à la résistance de confinement fixée (point B)
- à l'atteinte d'un état d'équilibre (point C).

Ces trois points délimitent deux parties :

- partie AB: la contrainte intrinsèque, développée par les argiles en cours d'humectation, et transmise par le milieu à la surface considérée (matérialisée par la plaque supérieure), est inférieure à la valeur de résistance de confinement fixée préalablement. On mesure, en fonction du temps, la teneur en eau et cette contrainte, sans autoriser de gonflement du matériau.
- partie BC: la contrainte intrinsèque est supérieure à la valeur de résistance de confinement. On autorise le gonflement jusqu'à obtenir une contrainte résiduelle égale à la valeur préfixée. On mesure alors, en fonction du temps, la déformation du matériau et sa teneur en eau.

Ces différentes courbes tiennent compte d'ajustements divers (caractéristiques initiales de l'échantillon, perte d'eau par évaporation...).

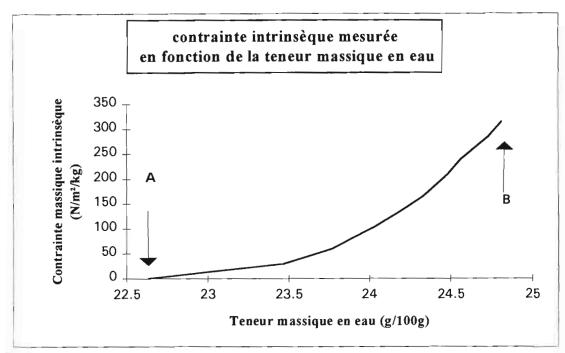


Figure 3 : contrainte intrinsèque développée avant atteinte du seuil de confinement

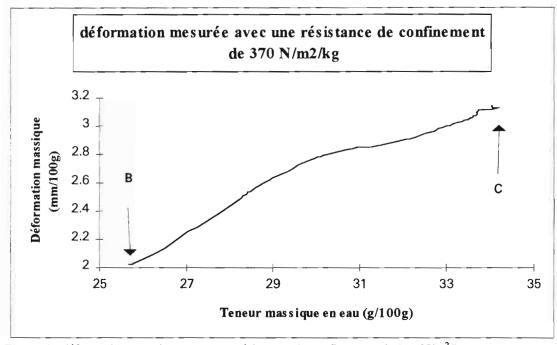


Figure 4 : déformation massique avec une résistance de confinement de 370 N/m²/kg

Suivant les valeurs de la résistance de confinement, trois types d'essais sont possibles :

- mesure de la pression transmise par l'échantillon de sol à l'extérieur sans augmentation de volume (valeur de résistance de confinement infinie : phase AB uniquement)
- mesure de la déformation résiduelle du sol lorsqu'on produit une réaction telle que la pression effective mesurée est égale à une valeur donnée (valeur de résistance de confinement maintenue à une valeur fixée : phases AB et BC)
- mesure de gonflement libre de l'échantillon (valeur de résistance de confinement nulle : phase BC uniquement).

On obtient donc *in fine* (fig. 5 et 6) des courbes relatives au fonctionnement des sols (porosité) dépendant de paramètres purement mécaniques (résistance de confinement) :

- courbe de porosité totale en fonction de la teneur massique en eau
- courbe de saturation de la porosité en fonction de la teneur massique en eau.

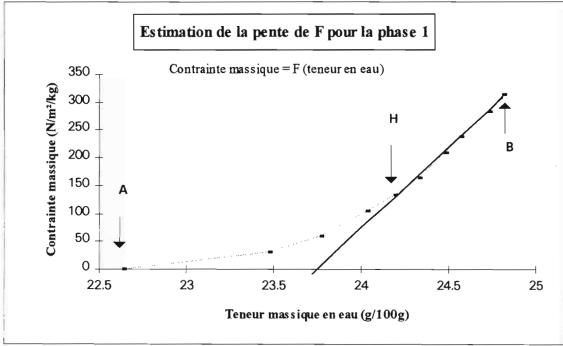


Figure 5 : estimation de la pente de F pour la phase 1

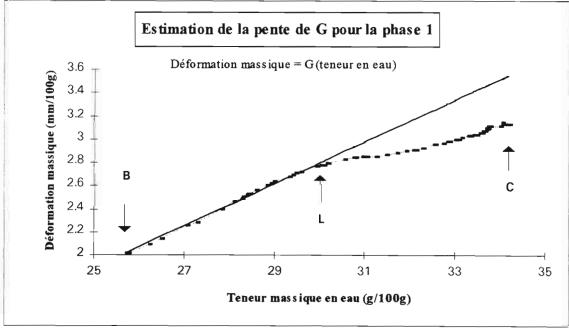


Figure 6 : estimation de la pente de G pour la phase 1

RESULTATS

Les mesures obtenues sont normalisées par la masse de sol sec à 105°C. A partir de ces données, on peut suivre l'évolution des trois compartiments du sol en fonction de la teneur massique en eau, ce qui permet de calculer les paramètres suivants:

Création de pores (%) = 100 × (volume poral final - volume poral initial)/ volume poral initial

Taux de saturation de la porosité (%) = 100 × volume d'eau final / volume poral final

N° d'échantillon	condition d'embedding	Création de pores entre A et C	Taux de saturation de la porosité en C
	$(N/m^2/kg)$	(%)	(%)
V5	infini	0	82.82
V2	770	1.47	87.97
V3	370	6.11	89.51
V4	0	21.44	91.42

tab. 1: influence des conditions d'embedding sur la porosité. Résultats obtenus sur la série faiblement compressée (10.68 10⁴ N/m²).

Il ressort de ces essais que pour la plage de résistances de confinement explorée :

- le taux de saturation du milieu est très peu dépendant des conditions d'embedding
- la création de pore est fortement dépendante des conditions d'embedding

Les résultats obtenus ont montré l'existence d'un point L caractérisant une discontinuité de comportement lors des mesures effectuées aussi bien en ce qui concerne la contrainte intrinsèque (partie AB) que la déformation volumique (partie BC). Ce point permet de distinguer deux phases correspondant à une variation nette des propriétés mécaniques du sol pour une valeur limite de teneur massique en eau. Il semble qu'un taux de compression initial plus élevé tende à diminuer cet effet. Ceci s'expliquerait par un arrangement initial privé d'une latitude de réarrangement. Nous avons été amené à introduire un second point, H, à partir duquel l'humectation de la phase argileuse est supposée homogène.

On peut alors subdiviser les courbes obtenues en trois phases :

- <u>phase 0</u> : séquence d'humectation progressive de la fraction argileuse. Elle est caractérisée par une croissance lente de la contrainte développée, en fonction de la teneur en eau
- <u>phase 1</u>: la contrainte développée est linéairement dépendante de la teneur massique en eau. On suppose dans cette séquence, que l'ensemble de la phase argileuse est humectée de manière homogène et que les caractéristiques du support sont conservées
- <u>phase 2</u> : au delà d'une teneur massique en eau limite, la structure du sol se modifie sous la contrainte reçue, ce qui conduit à un comportement différent de celui de la séquence précédante et variant selon l'état de compression initiale du sol.

Il est possible d'estimer pour la phase 1, la dépendance linéaire existant entre les courbes de déformation volumique en fonction de la teneur en eau d'une part, et de contrainte intrinsèque lue en fonction de la teneur en eau d'autre part.

Lorsque la valeur de résistance de confinement correspond à un point compris dans la phase 1, il est possible de calculer les pentes des fonctions linéaires F et G, correspondant respectivement à la mesure de contrainte (partie HB) et à la mesure de déformation (partie BL), en fonction de la teneur massique en eau.

F : contrainte massique intrinsèque = $a \times$ teneur massique en eau + b

G : déformation massique = $a' \times$ teneur massique en eau + b'

On observe (tab. 2) une variation peu importante de la pente de la fonction F suivant le taux de compression initiale, celle-ci agissant davantage sur le fonctionnement de la phase 2.

série	compression initiale (N/m²)	F : pente moyenne (N/m²/kg)	écart-type	G : pente moyenne (N/m²/kg)	écart-type
V1 - V5	10.68 10 ⁴	23.00 10 ⁹	0.0582 10 ⁹	25.28 10 ⁹	4.071 10 ⁹
V7 - V12	32.05 10 ⁴	22.47 10 ⁹	1.667 10 ⁹	14.95 10 ⁹	6.682 10 ⁹

tab.2 : pente des fonctions F et G estimées dans la phase 1

On peut estimer la relation liant la contrainte intrinsèque à la déformation volumique dans la phase 1, en ajustant les paramètres des deux fonctions F et G par (fig. 7):

$$F = \alpha G + \beta$$

avec : $\alpha = a / a'$

et $\beta = (a'.b - a.b') / a'$

soit pour l'exemple présenté fig. 7, $\alpha = 0.0161$ et $\beta = -0.0267$. Cette estimation de la relation liant contrainte intrinsèque et déformation permet, à partir de la partie BL de la courbe, d'estimer dans la plan considéré, la contrainte équivalente transmise par le sol, pour une condition de confinement donnée.

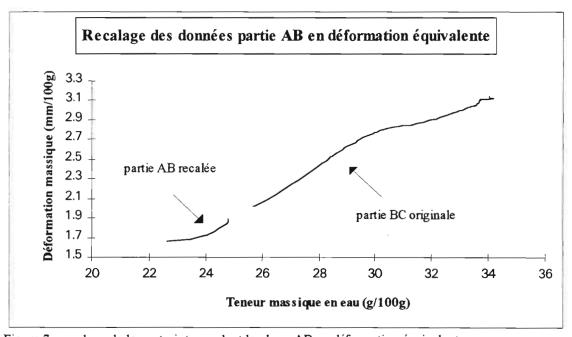


Figure 7 : recalage de la contrainte pendant la phase AB en déformation équivalente

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les premiers résultats obtenus ont confirmé l'importance des propriétés mécaniques de l'environnement de l'échantillon lors de mesures au laboratoire. La méthode mise au point permet donc de préciser la dépendance des paramètres de fonctionnement dynamique des sols vis à vis des conditions de confinement. Si le taux de saturation à l'équilibre reste constant quelques soient les conditions d'expérimentation, il ressort des résultats obtenus que la quantité de porosité créée est limitée par les conditions de confinement.

L'évaluation de l'état fonctionnel d'un sol, à partir des seules porosité globale et teneur massique en eau est insuffisante pour appréhender parfaitement les modifications introduites notamment lors de la partie AB. Ainsi, bien que la porosité globale reste pratiquement constante, la nature de cette porosité varie sous l'effet de la contrainte interne de manière à augmenter la résistance mécanique du squelette. Une étude complémentaire, notamment par recours à l'imagerie, devrait permettre de quantifier ces modifications structurales.

A terme, il sera possible d'évaluer la distance entre l'expérimentation en laboratoire et l'approche de terrain puis de corriger les résultats obtenus au laboratoire à partir d'échantillons prélevés et isolés. Cette approche devrait également permettre de mieux comprendre les divers effets du gonflement de la phase argileuse sur la structure du sol. Pour ce faire, l'accent sera mis, d'une part, sur la quantification fine des modifications de la structure porale (par exemple, en exploitant des lames minces de sol), et d'autre part, sur la détermination plus précise des caractéristiques mécaniques du sol (par exemple, au moyen d'essais rhéologiques complémentaires). Néanmoins, un effort important devra être fait dans le domaine de la mesure rhéologique *in situ*, afin de permettre une validation complète de la méthode.

La valeur de contrainte intrinsèque mesurée dans le plan matérialisé par la plaque, dépend d'une part de l'énergie fournie par les argiles lors de leur humectation, et d'autre part, de la transmission de cette énergie vers la plaque, ce qui est lié aux propriétés mécaniques du squelette. Ces deux caractéristiques ont ceci en commun d'être fonction de la teneur massique en eau. La méthode fournit un moyen de quantifier simplement ces interactions.

Il apparaît qu'on ne peut en aucun cas prétendre reproduire au laboratoire un comportement proche de celui du sol en place sans précaution quant à l'environnement mécanique de l'échantillon. Le problème de la représentativité d'un échantillon par rapport à son sol d'origine se pose plus vivement, en l'absence de quantification des conditions de confinement avant prélèvement.

Références bibliographiques

- BRAUDEAU E, 1988a Equation généralisée des courbes de retrait d'échantillons de sol structurés. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 307, Série II, 1731-1734.
- BRAUDEAU E., 1988b Essai de caractérisation quantitative de l'état structural d'un sol basé sur l'étude de la courbe de retrait. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 307, Série II, 1933-1936.
- CORDARY D., 1994 Mécanique des sols. Lavoisier Tec et Doc, 380 p, Paris.
- DEXTER A.R., 1988 Advances in characterization of soil structure. Soil and Tillage Research, 11, 199-238.
- FIES J.C., STENGEL P., 1981a Densité texturale des sols naturels I Méthode de mesure. Agronomie 1 (8), 651-658.
- FIES J.C., STENGEL P., 1981b Densité texturale des sols naturels II Eléments d'interprétation. Agronomie 1 (8), 659-666.
- GRIMALDI M., 1986 Modifications structurales d'un matériau limoneux soumis à un compactage dynamique. Science du Sol, n°3, vol. 24, 269-284.
- GRUNBERGER D., DJERAN-MAIGRE I., VELDE B., TESSIER D., 1994 Mesure de la réorientation des particules de kaolinite lors de la compaction par observation directe. C.R. Acad. Sci. Paris, T. 318, série II, 627-633.

- GUERIF J., 1982 Compactage d'un massif d'agrégats: effet de la teneur en eau et de la pression appliquée. Agronomie, 2, 287-294.
- GUERIF J., 1988a Détermination de la résistance en traction des agrégats terreux: revue bibliographique et mise au point technique. Agronomie, 8 (4), 281-288.
- GUERIF J., 1988b Résistance en traction des agrégats terreux: influence de la texture, de la matière organique et de la teneur en eau. Agronomie, 8 (5), 379-386.
- GUERIF J., 1990 Conséquences de l'état structural sur les propriétés et les comportements physiques et mécaniques; in "La structure du sol et son évolution: conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur". Laon, France, 9/1/1990. Les colloques de l'INRA n° 53, Ed. INRA, Paris.
- HADAS A., LARSON W.E., ALLMARAS R.R., 1988 Advances in modelling machine-soil-plant interactions. Soil and Tillage Research, 11, 349-372.
- HICHER P. Y., WAHYUDI H., TESSIER D., 1994 Microstructural analysis of strain localisation in clay. Computers and geotechnics 16, 205-222.
- MANICHON H., 1982 L'action des outils sur le sol: appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. Sciences du Sol, 203-219.
- MONNIER G., STENGEL P., 1982 Structure et état physique du sol. Encyclopédie des Techniques Agricoles, Fasc. 1140 et 1141, Editions techniques, Paris.
- PAPY F., 1987 Comportement d'une couche labourée sous des actions de compactage en fonction de son état structural. Agronomie, 7 (2), 111-121.
- RICHARDS, 1941 A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. Soil Sci., 51, 377-386.
- SALA G.H., TESSIER D., 1993 Importance de l'état énergétique de l'eau sur l'aptitude au tassement de matériaux argileux non saturés. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 316, Série II, 231-236.
- STENGEL P., 1979 Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ. Annales agronomiques, 30 (1), 27-49.
- STENGEL P., 1990 Caractérisation de l'état structural du sol. Objectif et méthodes. in "la structure du sol et son évolution: conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur. Laon, France 9/1/1990. Les colloques de l'INRA n° 53, Ed. INRA Paris.
- TESSIER D., PEDRO G., 1980 Sur les propriétés de gonflement des argiles dans les sols. Note présentée par G. Millot, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 291, Série D, 461-464.

RELATIONS ENTRE L'ORGANISATION STRUCTURALE ET L'ACTIVITE RESPIROMETRIQUE DANS LES SOLS CULTIVES.

CAS DE DEUX SOLS FERRALLITIQUES OXYDIQUES DE NOUVELLE-CALEDONIE

DENIS Bernard

Laboratroire d'hydrophysique - Centre ORSTOM de l'Ile de France 32, Avenue Henri Varagnat - 93143 BONDY CEDEX

L'activité respirométrique d'un sol était déjà considérée comme une caractéristique importante au XIX ème siècle. Elle a été mesurée surtout au laboratoire jusque dans les années 60, même si plusieurs auteurs estimaient nécessaire d'en connaître les valeurs "in situ". Il a fallu attendre la mise au point de techniques facilement utilisables sur le terrain pour que les mesures "in situ" puissent se développer.

Il est alors apparu possible de comparer les activités respirométriques de plusieurs sols (valeurs instantanées et variations dans le temps), de suivre les modifications de cette activité du fait d'une mise en culture et de corréler respirométrie et caractéristiques physiques, chimiques ou agronomiques (plantetest).

La respirométrie d'un sol est sous la dépendance de l'activité microbienne et de l'activité racinaire. La première est influencée par trois facteurs principaux, à savoir la température et l'humidité du sol ainsi que la proportion de carbone mis à la disposition des microorganismes. La seconde est proportionnelle à la quantité de racines "actives" de la végétation (naturelle ou des plantes cultivées).

Par contre l'organisation structurale du sol comme facteur pouvant fortement influencer l'activité respirométrique a rerarement été prise en compte. Certes ce ne serait pas une action directe ; elle agirait sur la rétention en eau, l'aération, la disponibilité des nutriments pour les microorganismes et le développement racinaire. Il serait alors envisageable, par exemple, de considérer qu'à un instant "t" un même sol, travaillé selon plusieurs itinéraires techniques, puisse "respirer" différemment parce qu' "organiser structuralement " de façon distincte ; on opérera dans des conditions telles que tous les autres paramètres (teneur en eau, eau utile, température, taux de carbone et nutriments dits "assimilables") auront alors des valeurs très proches et donc en principe pas d'influence significative sur la production de CO2 .

Si ces "respirations", caractérisées par leurs productions de gaz carbonique, pouvaient être corrélées significativement avec certains paramètres caractérisant les organisations structurales (répartition granulométrique des agrégats, données rétractométriques, stabilité des agrégats,...etc...), mais aussi avec certaines

composantes du rendement d'une plante-test, il serait alors possible de considérer l'activité respirométrique comme un *indicateur de fertilité* .

C'est la raison pour laquelle il est apparu intéressant de monter une opération de recherche à l'intérieur des deux programmes mis en place en Nouvelle-Calédonie sur des sols ferrallitiques ferritiques et allitiques . Sur chacun des sols est en effet installé un dispositif expérimental de moyenne durée (5 années) avec des suivis agronomiques précis et des études macromorphologiques et physiques de terrain menés conjointement

Cette opération de recherche a un triple but : étudier ces deux sols du point de vue de leur organisation structurale et de leur activité respirométrique ; suivre les variations de ces deux caracteristiques engendrées par les différents itinéraires techniques (travail du sol et apport d'amendements organiques, entre autres) ; rechercher l'existence de liens entre un "environnement" bien défini (organisation structurale mais aussi caractéristiques physiques "in situ" et composantes du rendement de la plante-test) et l'activité biologique globale pour voir si cette dernière peut être un indicateur de fertilité .

Si les conclusions sont positives, il sera alors indispensable de réaliser ce type de suivi sur d'autres sols et dans d'autres pays pour confronter les résultats obtenus et ainsi confirmer ou infirmer l'idée que ce paramètre biologique global peut être un bon " indicateur de fertilité " et ainsi permettre d'apprécier une dégradation ou une aggradation de l'état d'un agrosystème ou d'un écosystème .

STABILITE STRUCTURALE DE SOLS DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN EFFET DE LA DUREE DE LA JACHERE

Dr. Dominique HERVE, ORSTOM, Casilla 9214, La Paz, Bolivie Ing. David RAMOS, PROINPA

INTRODUCTION

L'Altiplano bolivien est un plateau situé à plus de 3700 m d'altitude, le long d 'un gradient pluviométrique qui va de 800 mm (altiplano nord) à 200 mm (altiplano sud). A La Paz, la précipitation moyenne annuelle de la période 1920-1991, mesurée à l' observatoire de San Calixto, est de 572 mm (Bourges et al., 1992) et la précipitation maximum journalière est, pour la même période de 30.4 mm. Ribstein relève à La Paz des intensités de pluie de 20 mm/h avec une fréquence de 10 ans et de 30 mm/h avec une fréquence de 20 ans. Des pluies peu aggressives donc, mais qui peuvent, sur des pentes longues même si elles ne sont pas très prononçées, peuvent provoquer des ruissellements superficiels.

Les sols de texture sablo-limoneuse à argilo-limoneuse, de faible épaisseur et faible teneur en matière organique présentent des horizons compactés, de faible perméabilité, et souvent chargés en sels (Orsag, 1989), peu couverts par la végétation de composées arbustives (Baccharis incarum, Parastrephia sp.) et de graminées dures en touffes (principalement Stipa ichu). On peut donc supposer qu'ils sont susceptibles à l'érosion.

Ce travail a pour but, dans un premier temps, d'évaluer la résistance du sol à l'action dégradante des pluies par la détermination de la stabilité structurale (méthode Henin et al. 1958, non modifiée). Ce test fait apparaître les deux mécanismes principaux de la désagrégation, la pression exercée sur les agrégats par l'air piégé au moment où l'eau tend à pénétrer par capillarité dans les pores et la baisse de cohésion à l'état humide (Monnier et Fies, 1983). La mesure complémentaire de la perméabilité sur échantillon remanié doit révéler un comportement soumis à l'action d'électrolytes. Cette méthode a été testée en milieu tropical humide mais son emploi est nouveau en Bolivie. Sa validité a donc été vérifiée sur un grand nombre d'échantillons, de textures très différentes, provenant de l'altiplano bolivien. Puis cette méthode a été appliquée, pour des textures principalement limono-sableuses, à des parcelles d'âges de jachère compris entre 1 et 20 ans, dans une communauté de l'altiplano central qui maintient un système de rotation communale incluant une jachère de plus de 10 ans.

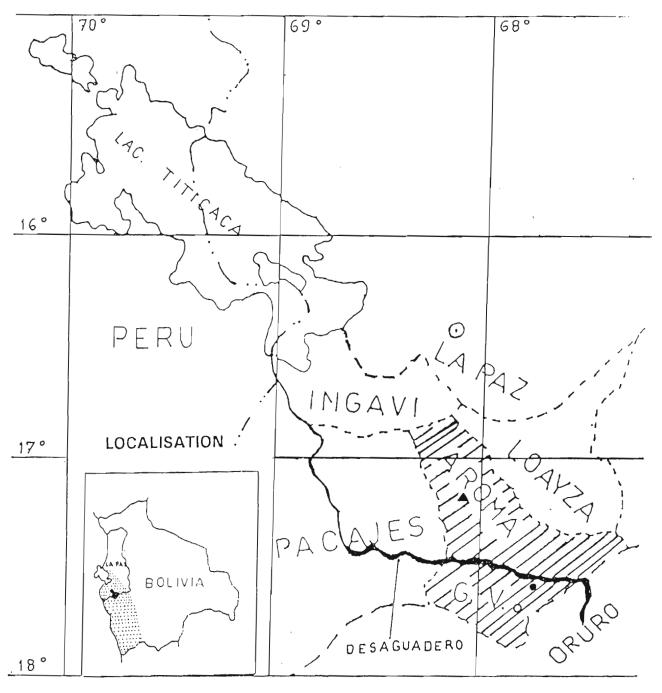
MATERIAUX ET METHODES

Trois zones contrastées et représentatives de l'altiplano aride (370-400 mm, 10 a 12C de température moyenne annuelle) ont été échantillonnées (Carte 1):

- Pumani : texture limono-sableuse, pente 10-20%, sans problème de drainage ni de salinité (27 échantillons).
- Laruta: texture argileuse, salino-sodique, pente nulle, formation alluviale innondable avec problèmes de drainage (24 échantillons).
- San Miguel : texture argileuse, hautement salino-sodique, pente nulle, formation alluviale innondable avec problèmes de drainage (8 échantillons).

L'échantillonnage a été réalisé en mars 1995 à Pumani à la profondeur de 0-8 cm. Par contre, à Laruta et San Miguel où une croute superficielle bien différenciée a été observée, les prélèvements ont été réalisés en avril 1995 à 0-3 et 3-6 cm. A cette époque de fin des

Carte 1. LOCALISATION DES ZONES ETUDIEES



REFERENCES

- --- Limite internationale
- — Limite départementale
- ----- Limite provinciale
- o Capitale
- Altiplano bolivien

- ZZZZ Zone étudiée
- **▲** Pumani
- o Laruta
- San Miguel

précipitations et compte tenu de l'évapotranspiration, la superficie du sol reste sêche, avec une humidité inférieure au point de flétrissement permanent. On admet donc qu' il n'y a pas d'effet de l'état hydrique initial des agrégats ni de l'histoire récente du sol en place et on adopte la méthode Hénin, sans modifications. L'analyse des agrégats et la méthode de percolation de la méthode Henin ont été réalisés au laboratoire de sols de la Station Expérimentale de Patacamaya (IBTA), grâce aux prêts d'un agitateur Feodoroff par la station INRA de Laon et d'une pissette Robinson par le CIAT (Santa Cruz, Bolivie).

RESULTATS ET DISCUSSION

ADECUATION DE LA METHODE HENIN NON MODIFIEE AUX CONDITIONS DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN

La figure 1 compare la droite de régression obtenue avec nos données avec celle de Henin et al. (1972). Les coefficients de corrélations sont similaires mais la pente de l'équation altiplano est plus faible. Cette équation accepte une valeur maximale d'instabilité structurale Is au dessus de 1800% (Log 10Is = 4.25), correspondant à une perméabilité nulle, soit 10 à 15 fois plus importante que dans l'équation de Henin, qui accepte comme valeur maximale Log10Is = 3. Les sols les plus instables de notre échantillon restent donc perméables. La différence des ordonnées à l' origine nous indique que les sols les plus stables de l'altiplano ont une perméabilité double (63.09 cm/h) de celle des sols français (31.62 cm/h). Lorsque la solution du sol est concentrée en electrolytes floculants, l'indice Is est inadapté et on lui substitue la mesure de la vitesse de percolation à travers une colonne de sol ayant subi la désagrégation (Monnier et Fies, 1983). Les résultats de conductivité K différencient justement les propriétés structurales des sols salés du sud de l'altiplano central.

Ces différences nous amènent à comparer les sols de l'altiplano avec ceux étudiés par Henin. Il s'agit sur l'altiplano de sols jeunes, riches en sables (>60%) à Pumani, proches des rendzines étudiées par Henin ou bien des sols avec une fissuration active à l'état sec, argilolimoneux (58% argile) et salino-sodique à Laruta; argileux (64%) et très salino-sodique à San Miguel, ces dernièrs sortant des références de Henin. L' indice global E (Henin et al., 1972) différencie nettement les trois types de sol, vis-à-vis de leur susceptibilité à l'érosion :

E = 1.64 à 2.06, à Pumani

E < 1.52, à Laruta

E < 0.3, à San Miguel.

ETUDE D'ECHANTILLONS DE SOLS D'AGES DE JACHERE DIFFERENTS

Les recherches menées par Hervé (1994) à Pumani n'ont pas mis en évidence une amélioration claire du stock chimique du sol après les dix années de jachère pratiquées dans cette communauté, mais plutôt une tendance à la stabilisation, après cette période, de certaines composantes chimiques de la fertilité. La densité apparente (5-10 cm) ne varie pas en fonction du nombre d'années de jachère (Figure 2). D' autres indicateurs de la fertilité physique du sol doivent donc être recherchés. En milieu tropical humide, Talineau et al. (1979) ont montré l' intérêt de la stabilité structurale de l'horizon de surface pour différencier les évolutions d'un agrosystème prairial et Moreau (1978) a détaillé les résultats du test d'agrégats pour analyser l'effet du défrichement sur un sol ferralitique. Combeau et Quantin (1963) comparent l' indice d'instabilité structurale suivant le nombre d' années de culture après jachère. Dans le milieu tropical de montagne, semi-aride, de l' atiplano bolivien, on cherche à évaluer, non l' effet de la mise en culture, sinon celui de la durée de la jachère.

Fig 1. STABILITE STRUCTURALE DE SOLS DE L'ALTIPLANO CENTRAL BOLIVIEN

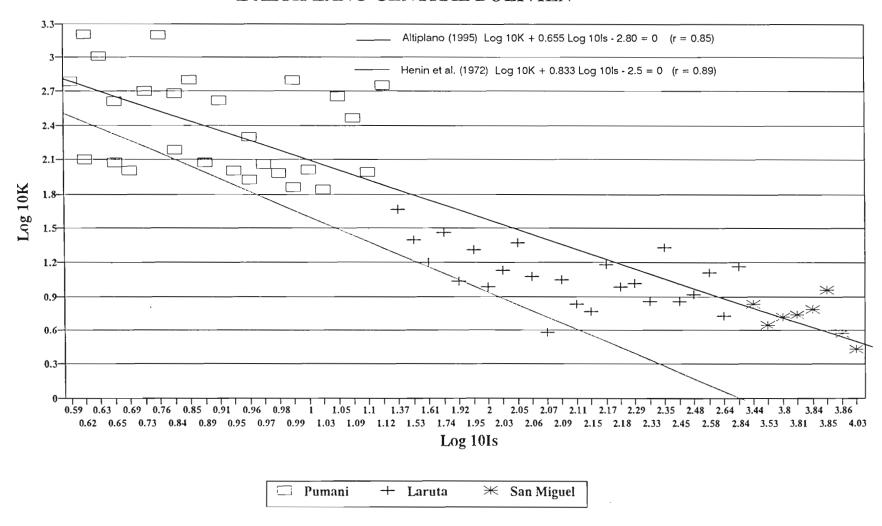


Figure 2. Relation densité aparente/ années de jachère

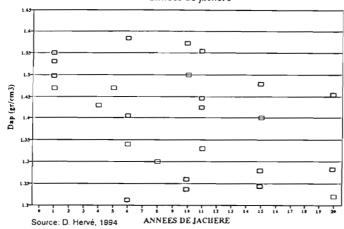


Figure 3. K(Coef. de permeabilité) vs. AJ (années de jachère)

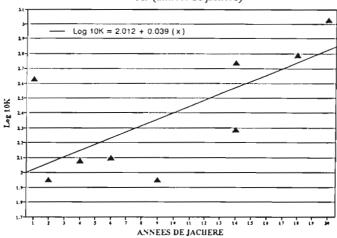
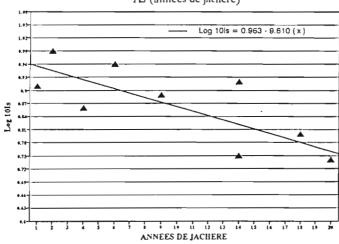


Figure 4. ls(Inestab. structurale) vs. AJ (années de jachère)



Coefficient de perméabilité (K) et années de jachère

La figure 3 montre une corrélation positive (r = 0.67) entre Log10K et la durée de la jachère, mais trois comportements différents. La perméabilité élevée de la première année s'explique par les arrières effets du labour et le fractionnement de la structure par les racines des cultures; elle diminue fortement dès la seconde année, probablement avec la formation d'une croute superficielle, jusqu'à environ 10 ans. Une amélioration de la perméabilité n'est constatée qu'après 13 ans, du fait de l'instalation pratiquement achevée d'un couvert semi-arbustif de Baccharis sp., composée caractérisée par un enracinement pivotant très profond (supérieur à 1 mètre, travaux en cours).

Instabilité structurale (Is) et années de jachère

Il convient d'abord de rappeler que les échantillons étudiés sont très stables (Log 10Is < 1.3, ce qui semble cohérent avec des caractéristiques favorables à la stabilité structurale: taux d'argile entre 8 et 20% avec une moyenne de 15%, taux de sable inférieur à 70%, calcium représentant le tiers à la moitié de la capacité d'échange.

La figure 4 montre une corrélation négative (r = -0.76) entre Log10Is et le nombre d'années de jachère. La relation linéaire est assez étroite si bien qu'on observe déjà une amélioration au bout de dix ans. On n'observe pas d'effet de seuil, l'amélioration semblant se poursuivre jusqu'à vingt ans de jachère. Ce résultat peut être mis en relation avec l'accumulation de litière à la surface du sol (feuilles, brindilles, déjections ovines). Sur des placettes de 60cm par 80cm, installées sur trois parcelles, ont été mesurés le recouvrement superficiel par la végétation, grâce à des photos à la verticale, et le poids des fragments organiques superficiels, après tamisage à 2mm (Tableau 1). L'évolution de l'instabilité structurale est inverse du % de couverture par la végétation et de la quantité de débris organiques; elle diminue quand ceux-ci augmentent, avec l'âge de la jachère. Ces relations doivent bien entendu être confortées avec un plus grand nombre de points.

Tableau 1. Instabilité structurale, couverture végétale et litière superficielle.

Années	Log10Is	% couverture	Débris organ.	Débris organ.
jachère		végétation	sup. (gr./m2)	sup. (% < 2mm)
1	0.91	5.45	18.5	8
4	0.86	11.22	73.9	16
20	0.74	35.94	91.0	14.4

Analyse des composants de la stabilité structurale

Le prétraitement à l'alcool éthylique (Aga %) permet d'éliminer l'air sans conduire à une baisse de cohésion significative vis-à-vis de la désagégation. Le prétraitement au benzène (Agb %) remplace l'air par un liquide incompressible et non miscible à l'eau; il privilégie le rôle de la mouillabilité dans la désagrégation, ce qui le rend très sensible au rôle des matières organiques. L'évolution des fractions d'agrégats stables, alcohol, eau et benzène, suivant la durée de la jachère (Figure 5) montre une chute entre 1 et 2 ans, et une lente récupération jusqu'au niveau initial au bout de 14 ans, qui n'est pas dépassée ensuite. Les agrégats stables à l'alcohol sont les plus sensibles à la durée de la jachère. Les deux parcelles de 6 et 18 ans de jachère présentent des taux d'agrégats nettement plus faibles pour l'eau et surtout pour le benzène, du fait d'un contenu élevé en limon (30%). La différence entre les traitements à l'alcohol et au benzène reste stable. Par contre, la différence entre les agrégats stables et la

Figure 5 Agrégats stables en fonction de l'âge de la jachère

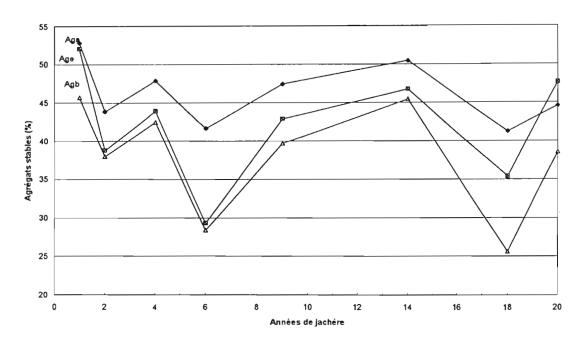
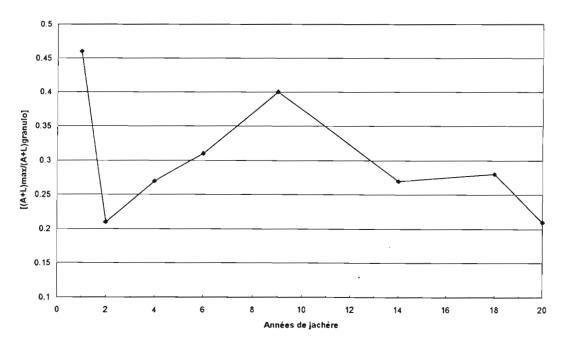


Figure 6 Fraction dispersée en fonction de l'âge de la jachère



fraction de sables grossiers augmente surtout à partir de 6 ans, ce qui contribue à réduire l'instabilité structurale. Cette différence est maximale à 9 ans.

La figure 6 relie à la durée de la jachère la fraction dispersée de la terre fine : (A+L) max. ramené au % d'(A+L) granulométrie. Après un décrochage très net entre 1 et 2 ans de jachère, la courbe passe par un maximum pour la durée de jachère actuellement pratiquée de 9 ans, puis décroît. L'évolution de la fraction dispersée est donc décalée par rapport à celle de l'instabilité structurale.

CONCLUSION

L'indice d'instabilité structurale de Hénin apparaît à même de trier les états superficiels contrastés vis-à-vis de l'érosion hydrique, pour l'altiplano bolivien. Son utilisation pour d'autres régions de Bolivie dépendra de l'effet de l'état hydrique initial des agrégats et des mécanismes de dégradation prépondérants.

Les différents composants de la stabilité structurale, Is, K, agrégats stables, fraction A+L dispersée sont sensibles à la durée de la jachère. Une baisse significative des agrégats stables et de la perméabilité entre 1 et 2 ans de jachère se maintient jusqu'aux 9 ans actuellement pratiqués et dans le même temps, la fraction fine dispersée augmente. Il faut donc attendre 14 ans ou plus de jachère pour que les indices Is, K et agrégats stables s'améliorent de manière significative. On peut considérer que ce sont des indicateurs pertinents de fertilité physique, qui devraient être confrontés à des indicateurs des autres composants de la fertilité (organique, microbiologique, chimique..) pour tenter de conclure sur la durée de jachère à respecter compte tenu de l'objectif qu'on se donne.

BIBLIOGRAPHIE

BOURGES (J.), RIBSTEIN (P.), HOORELBEKE (R.), DIETZE (C.), CORTEZ (J.), 1992. Precipitaciones y escurrimiento de una pequeña cuenca en zona de montaña: el rio Achumani (La Paz, Bolivia). Cochabamba, Recursos hidricos y medio ambiente, 303-311.

COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1963. Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. I, 3: 17-26.

HENIN (S.), MONNIER (G.), COMBEAU (A.), 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Annales Agronomiques, 1, 73-92.

HERVE (D.), 1994. Respuestas de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. In : Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. D. Hervé, D. Genin, G. Rivière eds., La Paz, ORSTOM-IBTA, 155-169.

MONNIER (G.), FIES (J.C.), 1983. Stabilité structurale. Séminaire CEE - Agrimed, 14-18/03/83, 14 p.

MOREAU (R.), 1978. Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration de l'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferralitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, 4: 413-424.

ORSAG (V.), 1989. Características del régimen aéreo de un aridosol en el altiplano central de Bolivia. Ecología en Bolivia, 13: 11-22.

QUANTIN (P.), COMBEAU (A.), 1962. Relation entre érosion et stabilité structurale du sol. Com. Acad. Sciences, séance du 5/03/1962, 1855-1857.

TALINEAU (J.C.), BONZON (B.), FILLONNEAU (C.), HAINNAUX (G.), 1979. Contribution l'étude d' un agrosystème prairial dans le milieu tropical humide de la Côte d' Ivoire. 1. Analyse de quelques paramètres de l'état physique du sol. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVII, 2, 141-157.

L'étude des relations entre caractéristiques chimiques et physiques des sols sous canne à sucre

Cristiane de Conti MEDINA
Ricardo RALISCH
Maria de Fatima GUIMARAES
Joao TAVARES FILHO
Fundação Universidade Estadual de Londrina

Objectifs

- Etude du comportement chimique et physique du sol en présence d'aluminium toxique et les effets sur le tassement.
 - conséquences de l'utilisation des résidus agro-industriels sur le comportement du sol.

L'essai est réalisé sur les sols ferrallitiques de Sao Paulo, Brésil (Latossolo Vermelho Escuro et Terra Roxa Estruturada), sous canne à sucre (production d'alcool).

Le profil cultural a été utilisé pour étudier l'influence de l'apport de gypse et vinasse.

Les volumes morphologiques ont été prélevés et analysés pour les aspects chimiques et la densité apparente (méthode de motte paraffinée).

Traitements

1 - LVE avec gypse et vinasse

- plantation: 400 kg/ha 2-16-36 (NPK)

- repousse : 1 t/ha de gypse + 440 kg/ha 13-00-42 +

100 m³/ha vinasse + 120 kg/ha urée.

2 - LVE <u>avec vinasse</u>

- plantation : 40 t/ha tourteau de filtration (résidu de la production de sucre)

300 kg/ha 22-00-30 + 100 kg/ha KCl

- repousse: 100 m³/ha vinasse.

3 - LVE sous forêt

4 - TRE avec gypse et vinasse

- plantation: 250 kg/ha MAP + 100 kg/ha urée

- repousse : $100 \text{ m}^3/\text{ha gypse} + 500 \text{ kg/ha } 22,5-00-30.$

5 - TRE avec vinasse

- plantation: 200 kg/ha MAP

- repousse: 100 m³/ha vinasse + 260 kg/ha urée.

6 - TRE sous forêt

Observations

- Le travail du sol est très intense, avec 3 à 8 opérations.

- Cette pratique est très commune sous la culture à canne à sucre.
- En 1991/1992, il y a eu une production de 153 millions de litres de vinasse.

Résultats

Les premiers résultats de l'étude en cours montrent :

- une compactation très importante jusqu'à 70 cm de profondeur,
- qu'il n'y a pas d'augmentation significative de MO % avec l'apport de vinasse,
- qu'il n'y a pas de corrélation entre la densité et les volumes morphologiques identifiés dans le profil.

LISTE DES PARTICIPANTS A LA REUNION DU GROUPE THEMATIQUE STRUCTURE ET FERTILITE DES SOLS TROPICAUX, 13 SEPTEMBRE 1995

A. ALBRECHT	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
G. BELLIER	ORSTOM	32 avenue Henri Varagnat - 93143 Bondy cedex
E. BLANCHART	ORSTOM	BP 8006 - 97259 Fort-de-France - MARTINIQUE
J.L. CHOTTE	ORSTOM	BP 1386 - Dakar Hann - SENEGAL
P. DE BLIC	ORSTOM	01 BP 182 - Ouagadougou 01 - BURKINA
B. DENIS	ORSTOM	213 rue la fayette - 75480 Paris cedex 10
C. FELLER	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
P.L. de FREITAS	EMBRAPA/ ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
F. GANRY	CIRAD	Avenue Agropolis - BP 5035 - 34032 Montpellier
C. LARRE-LARROUY	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
H. MANICHON	CIRAD	Avenue Agropolis - BP 5035 - 34032 Montpellier
R. MOREAU	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
R. OLIVER	CIRAD	Avenue Agropolis - BP 5035 - 34032 Montpellier
P. PEREZ	CIRAD	Avenue Agropolis - BP 5035 - 34032 Montpellier
J.A. PETARD	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
M. SICOT	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
A. TAMIA	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
J.F. VIZIER	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1
P. ZANTE	ORSTOM	911 avenue Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier cedex 1