



Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération

1ère Réunion du groupe thématique

STRUCTURE ET FERTILITE DES SOLS TROPICAUX

Montpellier - 6 septembre 1993



5 SEP. 1996

Ø68
PEDAPP
MON

Montpellier Orstom 1994

#200077512 → 527
(11ref)
2 ex FD1
Non Num



010052401

F

SOMMAIRE

	Pages	
1. R. MOREAU :	Structure et fertilité des sols tropicaux. Motivations et finalités pour un groupe thématique.	1-4
2. Ph. DE BLIC :	L'organisation macrostructurale du sol : intérêt et limites d'une approche morphologique, méthode d'étude.	5-18
3. Ph. BLANCANEAUX :	Approche méthodologique utilisée pour les recherches agropédologiques dans les Cerrados du Brésil Central et premiers résultats.	19-26
4. C. HARTMANN :	Laboratoire d'étude des sols cultivés (LESC) de Brazzaville Programme : Transformation structurale de sols acides tropicaux.	27-28
5. H. COLLEUILLE :	Mise au point d'une méthode de fractionnement en agrégats.	29-51
6. B. DENIS :	Compléments méthodologiques concernant le fractionnement en unités élémentaires d'un échantillon de sol non perturbé.	52-67
7. J.L. CHOTTE :	Structure et fertilité. Sites des activités microbiologiques.	68-70
8. E. BRAUDEAU :	Le problème de la définition et de la caractérisation des propriétés du sol. Plaidoyer pour l'établissement d'un modèle de fonctionnement structural unique du sol compatible avec la description morphologique adoptée en micro morphologie du sol.	71-74
9. G. BELLIER :	Mise en évidence de l'anisotropie et conséquence de la cohésion sur le retrait (Etude expérimentale : premiers résultats)	75-83
10. G.H. SALA :	Rôle de l'état énergétique de l'eau dans le tassement et modélisation de la rétention de l'eau des matériaux argileux non saturés.	84-87
11. Liste des participants		88-89

STRUCTURE ET FERTILITE DES SOLS TROPICAUX MOTIVATIONS ET FINALITES POUR UN GROUPE THEMATIQUE

R. MOREAU*

Le 6 septembre 1993, s'est tenue à Montpellier une première réunion regroupant une vingtaine de personnes concernées par l'étude de la structure en relation avec la fertilité des sols tropicaux (Cf. liste des participants en annexe).

1. LES MOTIVATIONS

Cette réunion a été suscitée par les principaux constats suivants.

- L'étude de la structure du sol, en rapport avec la production végétale et l'activité agricole, fait l'objet de recherches de plus en plus nombreuses. La perception des phénomènes de compaction en tant que contrainte édaphique majeure, en particulier dans le cas des agricultures mécanisées qui se sont développées en zone tropicale, peut expliquer dans une certaine mesure une telle évolution. Par ailleurs, l'étude des relations entre structure et fonctionnement du sol, longtemps surtout cantonnée aux aspects physique et hydrodynamique du fonctionnement des sols, tend également à s'étendre à d'autres aspects tels que les aspects biologiques ou agrochimiques..

Plusieurs chercheurs travaillent séparément, dans différents pays du monde, sur la structure du sol. Ils ont souvent développé, en fonction de leur centre d'intérêt particulier et des conditions de leur milieu de travail, des réflexions et des approches originales. Il m'a semblé judicieux de susciter une réunion, afin que ces collègues puissent, dans un premier temps, avoir un large échange de vue, sur leurs expériences, leurs préoccupations et leurs espérances respectives, et qu'ils puissent, ensuite, juger de l'utilité d'établir des relations de travail plus étroites et soutenues qu'actuellement.

- Au cours des vingt dernières années, les connaissances en pédologie ont beaucoup progressé, en particulier sur le plan de la caractérisation des organisations pédologiques et de leur rôle déterminant sur le fonctionnement des sols. Cette évolution a été facilitée par l'amélioration des techniques et méthodes appliquées à la caractérisation du sol. Le développement de l'utilisation de la microscopie et microsonde électroniques, par exemple, a été déterminant pour l'avancée des études réalisées au niveau des microstructures. Les résultats ont mis en évidence l'étroitesse des relations entre organisation et fonctionnement, montrant, en particulier, l'importance des organisation vis-à-vis du fonctionnement hydrogéochimique et des phénomènes de pédogenèse, jusqu'aux niveaux les plus fins de l'organisation et des transformations de la phase solide du sol.

Cette période a aussi connu une importante évolution des concepts et démarches de recherche en **pédologie**. On peut voir, dans le développement de l'approche de l'analyse structurale, un effort de meilleure prise en compte de l'organisation en tant qu'élément de caractérisation de la matière figurée et de ses relations avec le fonctionnement, à différents niveaux de considération du sol. En se référant aux conditions de terrain, le sol étant considéré comme un milieu organisé fonctionnel, on est en effet conduit à subordonner l'appréhension du fonctionnement à celle de l'organisation, et à appliquer, également sur le plan opérationnel, ce principe de subordination pour l'ordonnance des actions de recherche.

Il ne me semble pas que, dans le domaine de l'agropédologie*, l'avancée des connaissances et des concepts hérités de la pédologie se soit traduite par une évolution correspondante des démarches et des pratiques, en particulier pour l'analyse des fonctions agronomiques du sol et l'étude des relations avec les pratiques culturales. La question mérite en tout cas d'être soulevée, en considérant la nécessité de renforcer le développement et la cohérence de recherches approfondies sur les relations sol-plante et sur le comportement cultural des sols, en vue d'accroître l'efficacité des interventions culturales et de développer et/ou préserver la capacité de production des sols tropicaux.

2. L'IMPORTANCE DE LA STRUCTURE VIS-A-VIS DES FONCTIONS DU SOL

L'état structural du sol et la porosité qui en est le corollaire influencent divers aspects des propriétés et du fonctionnement des sols. Il suffit d'une rapide évocation dans trois principaux domaines pour juger l'importance de cette influence.

L'état d'agrégation et les rapports entre phase solide, liquide et gazeuse influencent notamment :

pour les aspects physiques

- les caractères du système poral,
- les mouvements de matière sous l'action de la pesanteur : eau, matières dissoutes ou figurées ; processus d'infiltration et drainage, lessivage et lixiviation, en relation avec la *macroporosité* ; érosion, en relation avec l'érosivité (*stabilité structurale*) et le ruissellement,
- la rétention d'eau par le sol et sa disponibilité pour les plantes, en relation avec la *méso* et la *microporosité*,
- d'une façon générale, le comportement du sol à l'action de l'eau et les conditions d'alimentation hydrique pour les plantes ;

pour les aspects biologiques

- la qualité de l'espace offert à l'enracinement et à l'activité des êtres vivants du sol : microflore, méso et microfaune, en relation avec la *macro* et la *mésoporosité*,
- le développement du système racinaire et la distance d'accessibilité entre éléments minéraux et racines,
- les conditions d'évolution et de minéralisation de la matière organique du sol ;

pour les aspects chimiques

- l'importance des surfaces de contact entre les phases solide et liquide ; en particulier les processus d'échange ionique à l'interface sol/solution en relation avec la *méso* et la *microporosité*,
- les transferts chimiques associés au déplacement d'eau libre (*macroporosité*) et à la solution non saturante, par convection et diffusion ionique (*méso et microporosité*),
- la capacité de renouvellement des éléments minéraux dans la solution du sol, en fonction de l'éloignement des racines et des caractères du *spectre poral* (influence sur les facteurs intensité et vitesse),
- d'une façon générale, le déplacement des éléments minéraux en solution ; avec l'incidence sur le devenir des engrais dans le sol et leur efficacité agronomique ;

* Agropédologie (1970) : étude scientifique de l'application des données de la pédologie à l'agriculture (Grand Robert).

Les caractères d'organisation influencent donc plusieurs aspects du fonctionnement du sol, en particulier de ses fonctions agronomiques. La structure subit aussi une action en retour et se transforme sans l'effet des processus de fonctionnement naturels ou induits par l'homme. Mais elle définit toujours le contexte physique des phénomènes liés au fonctionnement du sol et elle en fixe les limites, en fonction du cadre organisationnel, à différents niveaux d'échelle. Elle représente également, dans le domaine de l'**agropédologie**, un terme essentiel à prendre en compte pour l'analyse des fonctions et du comportement cultural des sols.

3. CONCLUSIONS DE LA JOURNEE DU 06/09/93 ET CREATION D'UN GROUPE THEMATIQUE STRUCTURE ET FERTILITE DES SOLS TROPICAUX

Cette journée a permis aux participants d'exposer leurs centres d'intérêts et leurs travaux respectifs, en rapport avec la structure des sols. Les études sont conduites dans différents pays d'Afrique, d'Amérique Latine et en France, où elles concernent trois principales catégories de sols tropicaux : sols ferrallitiques, sols ferrugineux, vertisols. Il s'agit surtout de recherches centrées sur l'analyse de l'état structural du sol et ses relations avec la fertilité et les pratiques culturales. L'ensemble intéresse différents niveaux d'appréhension de l'organisation du sol ; les études étant réalisées sur le terrain ou au laboratoire.

Les principaux sujets et éléments de discussion peuvent être résumés en considérant quatre niveaux de préoccupations : les finalités agronomiques, la morphologie de l'état structural, les aspects de fonctionnement et les problèmes méthodologiques.

Les finalités agronomiques

- Connaissance des relations entre structure du sol, enracinement des plantes, fonctionnement hydrique.
- Phénomènes de dégradation structurale (compaction en particulier), en relation avec les pratiques culturales.
- Possibilité d'amélioration de l'état structural par des interventions techniques ou par l'action d'auxiliaires biologiques (jachère, faune...).

La morphologie de l'état structural

- Identification et caractérisation des volumes structuraux (enveloppe et contenu) à différents niveaux d'organisation (méga, macro, méso et micro) ; l'importance du profil cultural a été soulignée, comme niveau d'approche privilégié pour l'étude de la structure du sol : en particulier pour l'analyse de l'effet des travaux du sol, celle des relations sol-enracinement et comme niveau d'articulation entre études de terrain et de laboratoire.
- Fractionnement des agrégats "naturels" du sol, pour la caractérisation précise (nature, organisation, fonctionnement) des éléments constitutifs d'un niveau d'organisation particulier du sol, ou pour la caractérisation des microsites d'activité microbiologique.

Les aspects de fonctionnement

- Relation entre agrégation et système poral d'une part et fonctionnement hydrique d'autre part (infiltration, ruissellement, alimentation hydrique...).
- Comportement rhéologique du sol en relation avec les contraintes hydriques : gonflement et rétraction en fonction de l'humidité, ou mécaniques : compression, tassement.
- Importance de l'état énergétique de l'eau pour la compréhension du comportement physique des sols ; rôle d'autres facteurs tels que nature des constituants et garniture cationique, en relation avec les activités de surface.

Les interrogations et difficultés méthodologiques

- Profil cultural : quelle représentativité à l'échelle parcellaire ? Quelle est la période d'analyse la plus opportune en rapport avec les cycles de culture ?
- séparation des agrégats : quelles techniques de fractionnement ménagé sont les mieux appropriées pour respecter les agrégats naturels du sol d'une part et pouvoir ensuite soumettre ces agrégats à différents types d'analyses (incluant des analyses chimiques et biologiques) d'autre part ?
- isotropie ou anisotropie des variations de volume des échantillons de sol en fonction des teneurs en eau ;
- problèmes de conditionnement des échantillons pour en étudier le comportement en laboratoire, en particulier (mais non exclusivement) pour les études de rétractométrie.

* * *

Malgré des finalités et des niveaux d'approche différents entre les études réalisées, les exposés et les discussions qui ont suivi font apparaître une convergence des points de vue sur l'importance et l'orientation des recherches à réaliser sur la structure et ses relations avec les fonctions du sol. Certaines idées et principes d'actions communs ont été rappelés à l'occasion de cette réunion, par exemple :

- l'adhésion au concept de hiérarchisation de l'organisation du sol, en volumes structuraux emboîtés à différents niveaux d'échelle,
- la volonté de travailler au plus près des réalités de terrain et la nécessité de respecter au mieux les caractères d'organisation effectifs du sol, pour les études réalisées sur le terrain comme au laboratoire.

Les participants ont exprimé leur souhait de prolonger et de développer les liens établis, en particulier avec le souci de :

- valoriser les techniques et les résultats acquis par une plus large diffusion et la transmission des expériences existantes ;
- améliorer les méthodes et techniques d'étude aux différents niveaux d'organisation du sol qu'il est nécessaire de prendre en compte ;
- intégrer, pour différents niveaux d'organisation, l'étude de la structure et du fonctionnement dans le cadre de recherches pluridisciplinaires ;
- travailler, d'une façon générale, à la mise en cohérence des démarches et des activités de recherches entre les différents participants.

Dans cette perspective, un groupe thématique **Structure et fertilité des sols tropicaux** est créé, avec un comité d'animation provisoire constitué de G. BELLIER, LFS-ORSTOM, Bondy ; P. de BLIC, ORSTOM, Ouagadougou, Burkina-Faso et R. MOREAU, LCSC-ORSTOM, Montpellier (coordinateur).

"La Structure gouverne la Fonction"

Dr A.T. STILL, fondateur de l'Ostéopathie (1830-1917)

L'ORGANISATION MACROSTRUCTURALE DU SOL :
INTERET ET LIMITES D'UNE APPROCHE MORPHOLOGIQUE,
METHODE D'ETUDE

Philippe de BLIC*

I - INTRODUCTION

La structure apparaît pour les pédologues comme une caractéristique majeure des couvertures pédologiques quant à leur fonctionnement actuel et passé (régime hydrique, transferts d'eau, processus physico-chimiques), leur classification, leurs transformations.

Agronomes et phytoécologues s'intéressent à la structure dans la mesure où elle leur permet d'évaluer les qualités trophiques du milieu sol pour la végétation, qui résultent de ses propriétés de transfert et de stockage, ainsi que des propriétés mécaniques qui déterminent la croissance des organes souterrains (STENGEL-1990).

Quels que soient les objectifs et motivations présidant à son étude, la structure peut être définie comme la constitution physique du sol, exprimée par la dimension, la forme et l'arrangement des particules solides (primaires et composées) et des vides associés (McKEAGUE et al.-1988).

La macrostructure du sol représente l'aspect de la structure que l'on peut décrire sur le terrain à l'oeil nu ou sous un faible grossissement. Elle comprend les unités solides et les vides de dimensions supérieures à 0,5mm. La microstructure du sol se réfère à la dimension, la forme et l'arrangement des unités solides et des vides plus petits que 0,5mm.

Cette distinction macro-micro est commode. Elle corrobore bien la partition que l'on peut effectuer de l'espace poral suivant deux ensembles de pores d'origines différentes, à savoir (STENGEL-1979) :

- Un espace poral textural résultant de l'assemblage des particules constitutives du sol.
- Un espace poral structural généré sous l'action de facteurs externes (techniques culturales, climat, organismes vivants) et qui fait référence à une échelle d'observation macroscopique.

Si l'on attache une importance particulière à la description et à la mesure de la macrostructure (et donc de l'espace poral structural) , c'est en raison :

- Du rôle important qu'elle joue dans le contrôle des transferts hydriques rapides (infiltration des pluies, en particulier) et des échanges gazeux, ainsi que dans le développement des systèmes racinaires.
- De ses relations étroites avec les techniques culturales et la faune du sol et des évolutions rapides dont elle est susceptible en fonction de la modification des facteurs régissant le fonctionnement du système sol-plante.

* ORSTOM, B.P. 182 OUAGADOUGOU 01, BURKINA FASO

II - APPROCHE MORPHOLOGIQUE

Intérêt d'une telle approche

L'organisation de la partie supérieure des sols cultivés est souvent caractérisée par une variabilité importante, spatiale et temporelle. La prise en compte de cette variabilité est souvent plus pertinente pour la compréhension des mécanismes de fonctionnement du sol que ce que l'on peut attendre de l'utilisation de moyennes statistiques. L'observation morphologique assure une perception immédiate, et dans une certaine mesure quantifiable, de cette variabilité.

Les mesures physiques effectuées in situ ou sur échantillons non remaniés n'ont de sens que si elles concernent des volumes pédologiques homogènes bien identifiés dans le schéma général de l'organisation spatio-temporelle du sol établi grâce aux observations morphologiques.

L'agronome utilise l'approche morphologique comme un outil d'aide à la décision en matière de techniques culturales, de conseil aux agriculteurs, d'évaluation des risques encourus tant au niveau des propriétés du sol que des rendements

La méthode du Profil cultural

Mise au point il y a plus de trente ans (HENIN et al.-1969), la méthode d'examen diagnostic du profil cultural a été perfectionnée de façon à devenir un outil de recherche efficace pour l'étude, d'une part des relations sol-techniques culturales (MANICHON-1982), d'autre part des relations entre état du sol et comportement des peuplements végétaux (TARDIEU et MANICHON-1986). La méthode a été codifiée (GAUTRONNEAU et MANICHON-1987) et adaptée au milieu tropical, avec le souci de concilier point de vue des agronomes et savoir-faire des pédologues (BLIC-1990).

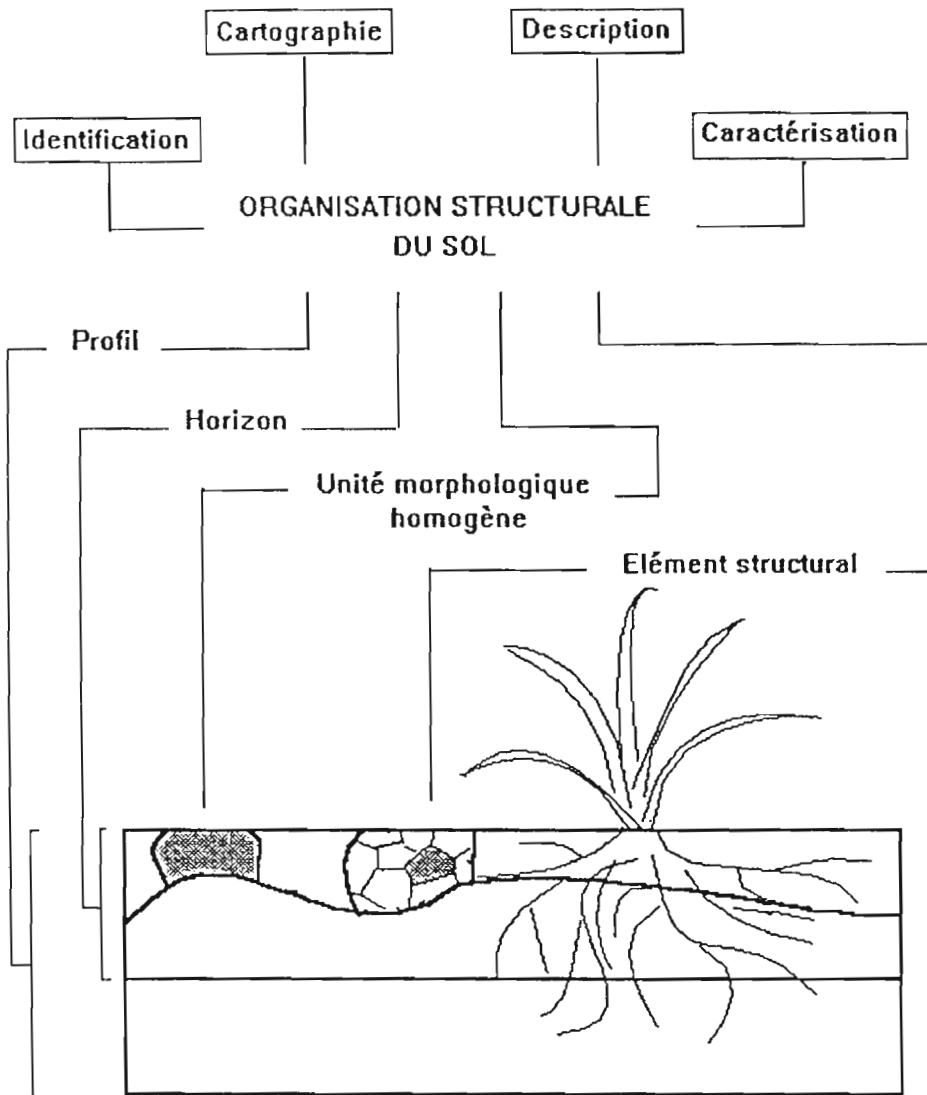
Quatre niveaux peuvent être reconnus dans l'organisation macrostructurale du sol (Figure 1) : le profil cultural, l'horizon, l'unité morphologique homogène (UMH) qui constitue l'unité de base de la description des sols, l'élément structural. Les UMH sont identifiées et cartographiées sur la face d'observation verticale de la fosse pédologique. C'est la macrostructure qui constitue le critère d'identification immédiate des UMH ; sa description est donc nettement privilégiée. Elle est complétée par l'évaluation d'autres paramètres, tels que la compacité, et par l'observation du système racinaire.

La carte structurale est un document de base à partir duquel on peut, par exemple, quantifier les types de macrostructures présents dans un horizon ou une épaisseur donnée de sol. Cela permet :

- De comparer les schémas structuraux correspondant, sur un même sol, à des contextes végétaux et/ou culturels différents (Tableau I).
- D'évaluer le caractère contraignant de certains états structuraux (tassements par exemple) et de suivre leur évolution au cours du temps.
- D'étudier en parallèle des séquences évolutives structurales et végétales (dynamique des jachères, par exemple).

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

Fig. 1 - Analyse du Profil cultural



en relation avec morphologie et répartition des racines

Tableau I
Répartition des structures (%) dans les 20 cm supérieurs du
sol suivant leur type et leur degré de développement

Traitement \ Structure	Jachère naturelle	Manioc traditionnel	Manioc mécanisé	Mais/Soja intensif
Grumeleuse	25	21	11	15
Polyédrique	75	63	11	20
Motteuse	-	16	71	57
Massive	-	-	7	8
Très nette	57	34	65	60
Nette	43	66	26	24
Peu nette	-	-	2	8
Massive	-	-	7	8

Source : Essai IBSRAM Sol/Manioc, vallée du Niari, 1989

Les limites de la méthode

Extrapolation des observations : comme il n'est pas question de multiplier les fosses d'observation (méthode lourde et destructrice), on est conduit à essayer de corrélérer les schémas structuraux observés à l'intérieur du sol avec d'autres indices, tels que les états de surface, l'aspect et le comportement des peuplements végétaux, l'histoire de la parcelle.

Quantification des observations : confrontés, au cours d'inventaires pédologiques, à la nécessité d'évaluer les aptitudes culturales des sols, les pédologues ont souvent tenté d'estimer certains paramètres et comportements du sol à partir des observations morphologiques (McKEAGUE et al.-1988). Dans le cadre d'études de fonctionnement menées à l'échelle de la parcelle, il est fort contestable qu'une telle démarche puisse remplacer la mesure directe des phénomènes mis en cause.

Dépendance des observations : l'approche morphologique reste, malgré la codification des observations, empreinte d'une certaine subjectivité. Son efficacité paraît souvent liée à l'expérience et au savoir-faire du praticien. D'où l'intérêt d'associer approche morphologique et mesures de l'état structural.

III - METHODE D'ETUDE DE LA MACROSTRUCTURE

L'étude de la macrostructure du sol en relation avec le fonctionnement des peuplements végétaux (cultures, jachères) implique que l'on ait au préalable,

- caractérisé l'organisation pédologique du paysage,
- retracé aussi rigoureusement que possible l'histoire du milieu étudié afin de distinguer les caractères hérités de ceux qui sont liés à l'utilisation actuelle des sols.

L'approche morphologique fournit ensuite un schéma structural du sol à partir duquel on peut,

- d'une part, mesurer in situ un certain nombre de paramètres structuraux dont la pertinence a été suggérée par les traits morphologiques observés dans le sol,
- d'autre part, sélectionner et extraire des échantillons représentatifs des différents niveaux d'organisation étudiés (UMH, élément structural) en vue de procéder au laboratoire à diverses mesures et tests de comportement de la macrostructure.

Caractérisation de l'organisation pédologique

Cette première étape consiste à analyser, au moyen de toposéquences, la différenciation spatiale des sols sur un échantillon représentatif du paysage. Cet échantillon peut être défini sur des critères géographiques (versant, petit bassin versant), agronomiques (périmètre agricole, champ d'essai), socio-économiques (terroir villageois), écologiques (peuplements végétaux).

Cette démarche qui privilégie l'étude des limites séparant les diverses structures pédologiques est plus connue sous le nom de "Analyse structurale tridimensionnelle de la couverture pédologique" (BOULET et al.-1982 ; RUELLAN et al.-1989). Elle permet notamment d'établir les rapports existant entre les propriétés et comportements observés sur les différents compartiments du paysage.

Les stations d'observation

Le choix de leur implantation est fonction, d'une part des modes d'utilisation étudiés (techniques culturales, jachères), d'autre part de l'organisation pédologique du paysage.

La station d'observation représente, au moment où sont effectuées les observations, une unité homogène au point de vue du sol, du peuplement végétal et de l'utilisation humaine. En zone de cultures, son échelle de définition est généralement celle du champ. Dans les jachères, l'implantation des stations doit tenir compte de l'ancienneté relative des peuplements ainsi que de la répartition spatiale des espèces et groupes d'espèces végétales.

La description des stations est effectuée par les différents intervenants. En l'absence de spécialistes dans les différents domaines concernés, on peut retenir les variables suivantes :

- Structure du couvert végétal, pourcentage de recouvrement estimé visuellement.
- Résidus végétaux.
- Microrelief.
- Etats de surface (y compris les constructions de la mésofaune) dont on peut effectuer une cartographie détaillée (CASENAVE et VALENTIN-1989).

Description et mesure de la macrostructure

1°) Choix et préparation des emplacements

L'observation du profil cultural nécessite le creusement de fosses d'observation rectangulaires dont l'emplacement et le nombre sont guidés par l'hétérogénéité apparente de la station. Dans le cas de cultures en ligne, les fosses sont implantées perpendiculairement aux lignes.

La longueur de la face d'observation est réglée de manière à prendre en compte la variabilité latérale d'échelle métrique (minimum 2m). Sa hauteur est fonction de la différenciation pédologique verticale et de l'enracinement de la végétation (Fig. 1).

2°) Description du profil cultural

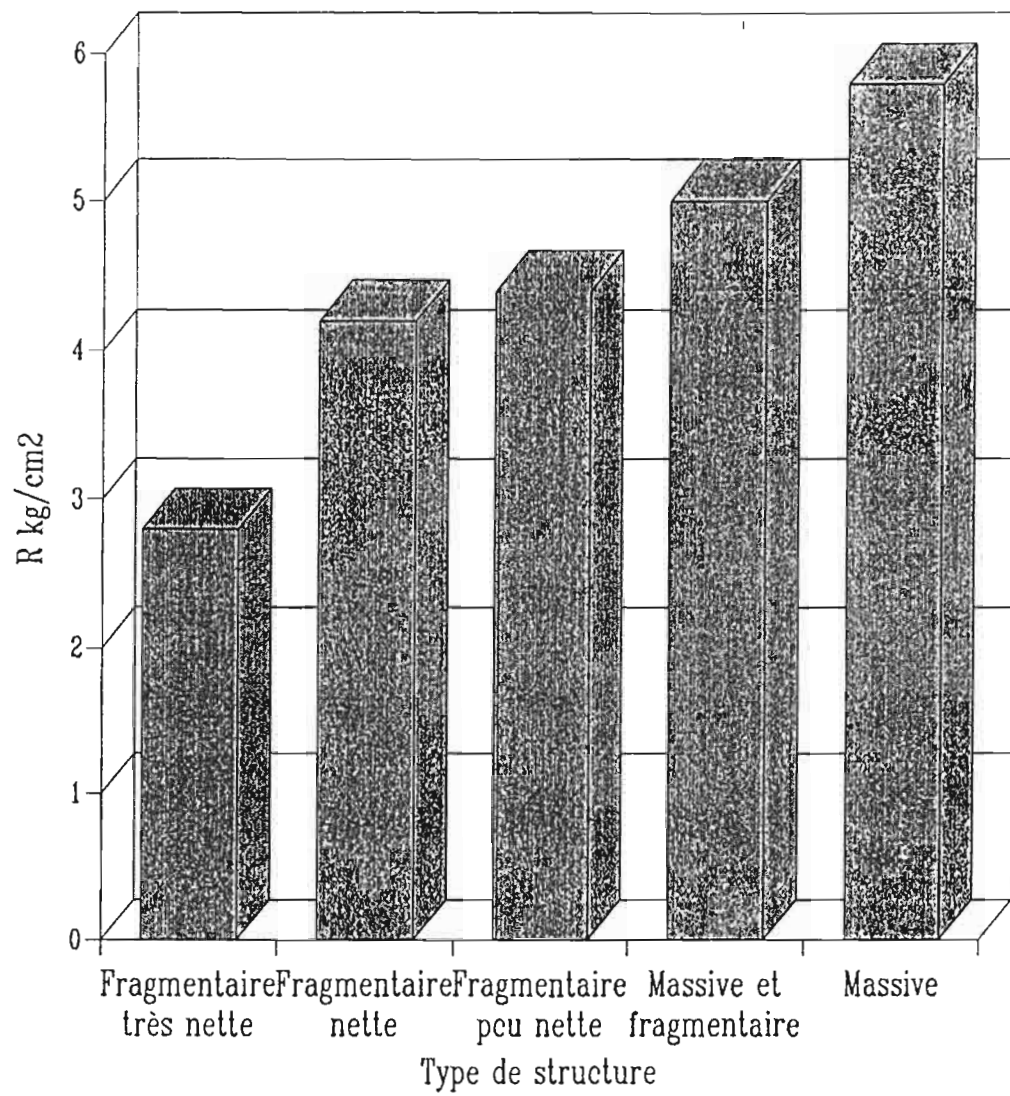
Mise en évidence et cartographie, sur la face d'observation du profil, des unités morphologiques homogènes (UMH) définies précédemment. Ces UMH se différencient par leur état structural et/ou leur compacité. L'évaluation de ce dernier critère est facilitée par l'utilisation d'un pénétromètre de poche, comme le montre l'exemple suivant tiré d'une étude en cours au Burkina Faso sur l'évolution de la structure de sols ferrugineux tropicaux lessivés en fonction du stade de la jachère (Fig. 2).

3°) Densité apparente des UMH

Les mesures sont effectuées in situ et sur mottes et agrégats ramenés au laboratoire, de façon à identifier et mesurer les porosités texturale et structurale.

L'exemple suivant, tiré d'une étude menée au Congo sur sols ferrallitiques jaunes argileux fortement désaturés, compare les valeurs de densité apparente mesurées in situ (au moyen de cylindres de 250cc) et les caractères morphologiques des UMH : type de structure et consistance appréciée suivant la résistance plus ou moins grande opposée à l'enfoncement d'une lame de couteau

Fig. 2- Structure et Résistance à la pénétration



(Tableau II).

Dans cet exemple, l'utilisation du test de Mann-Whitney met en évidence des différences hautement significatives entre les populations de densités apparentes correspondant aux différentes classes de consistance. Il en va généralement de même pour les types de structure ; seules les structures polyédrique et massive ne se différencient pas de façon significative selon le critère densité apparente.

4°) Mesure de la macroporosité par désorption d'eau

Des échantillons non perturbés sont prélevés dans les UMH dont on désire analyser plus finement la macroporosité. Les courbes de pF eau sont établies aux basses tensions d'humidité (sur un bac à sable) en vue d'estimer la répartition des macro et mésopores selon leur diamètre. Basée sur l'utilisation d'un modèle capillaire qui assimile les pores à des tubes cylindriques isodiamétriques (pores équivalents), la méthode par désorption d'eau implique que la géométrie de l'espace poral ne varie pas significativement en fonction de l'humidité ; elle est surtout applicable aux matériaux rigides pauvres en colloïdes argileux. Son domaine d'utilisation se situe dans une gamme de diamètres poraux compris entre 30 μm et 200 μm .

L'exemple suivant, tiré d'une étude en cours au Burkina Faso sur sols ferrugineux tropicaux lessivés, compare les distributions dimensionnelles des pores obtenues par désorption d'eau sous culture et sous divers groupements végétaux caractéristiques d'une séquence évolutive observée dans une jachère herbacée (Fig. 3).

5°) Caractérisation morphométrique de la macroporosité

La méthode précédente devient très imprécise pour des diamètres de pore supérieurs à 200 μm . Elle ne convient donc pas à la caractérisation de toute une gamme de macropores - souvent d'origine biologique - susceptibles de jouer un rôle essentiel vis à vis des écoulements préférentiels rapides et de la pénétration racinaire. En outre, elle ne renseigne pas sur la morphologie des vides qui est un paramètre important de l'organisation structurale du sol.

Les techniques d'analyse morphométrique permettent généralement de surmonter ces difficultés ; elles représentent la seule véritable alternative aux méthodes physiques pour la caractérisation de la macroporosité grossière et de la bioporosité (RINGROSE-VOASE-1987).

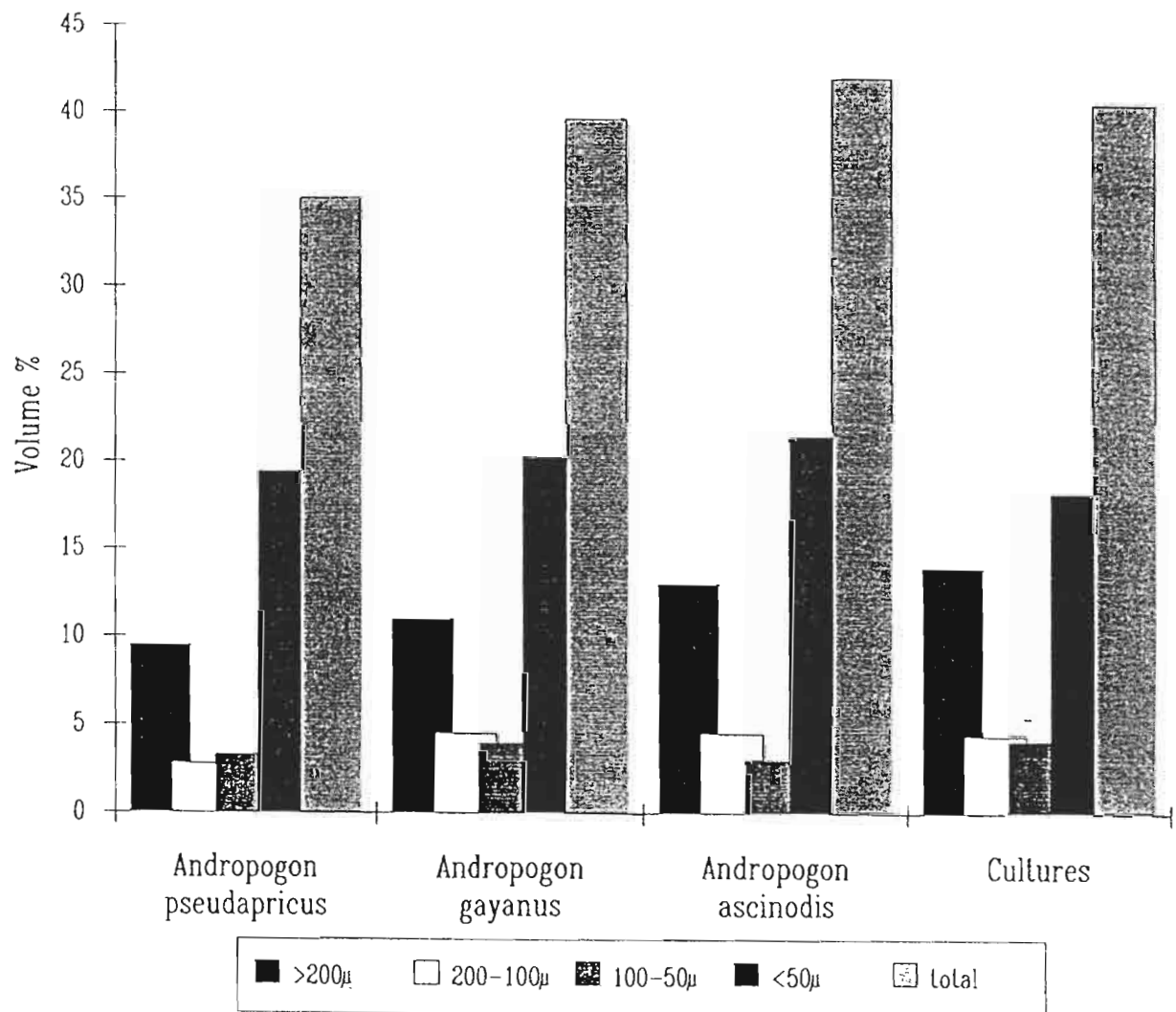
Des échantillons de sol non perturbés sont imprégnés avec une résine additionnée d'un pigment fluorescent. Après durcissement, on confectionne une tranche polie qui est photographiée en lumière ultra-violette pour mettre en évidence le système poral. Le rapport d'agrandissement est choisi de façon à concilier un champ d'observation suffisamment étendu avec une bonne définition des macropores dans la gamme de tailles retenue (>150 μm , par exemple). L'image obtenue est ensuite analysée en vue de déterminer les caractéristiques morphométriques de l'espace macroporal (MORAN et al.-1989 ; MURPHY et al.-1977).

Tableau II
Classes de compacité, types de structure et densité apparente

	Effectif	da médiante	Intervalle contenant au moins 80 % des observations
Meuble	9	0,79	0,71 - 0,85
Peu compact	31	0,88	0,80 - 1,01
Assez compact	21	1,06	0,88 - 1,14
Assez compact à Compact	8	1,12	0,98 - 1,24
Compact et Très compact	32	1,26	1,15 - 1,33
Structure grumeleuse	27	0,84	0,78 - 1,01
Structure motteuse	24	0,95	0,84 - 1,11
Structure polyédrique	39	1,21	0,91 - 1,32
Structure massive	11	1,18	1,14 - 1,32

Source : Essai IBSRAM Sol/Manioc, vallée du Niari, 1989

Fig 3 - Distribution dimensionnelle des pores sous culture de mil et sous jachères herbacées



Macrostructure et développement racinaire

Il est souvent intéressant d'effectuer une cartographie simultanée des macrostructures identifiées dans le profil cultural et du système racinaire de la couverture végétale (BLIC-1987 ; TARDIEU et MANICHON-1986, 1987).

On procède à un relevé des impacts racinaires sur la face d'observation du profil en s'aidant d'un grillage à maille carrée et en utilisant un système de notation normalisé fondé sur des caractères tels que le diamètre des racines, leur morphologie, l'abondance des radicelles, etc.

A partir des cartes racinaires on peut calculer un certain nombre de paramètres et d'indices caractéristiques de la géométrie du système racinaire : densité, régularité, courbe densité-profondeur, distribution latérale, par exemple.

Macrostructure et infiltration

Dans les régions tropicales sèches caractérisées par des pluies orageuses de forte intensité, la capacité d'infiltration du sol est un critère particulièrement pertinent de l'état structural. Deux techniques simples à mettre en oeuvre permettent une évaluation satisfaisante de la macrostructure :

1°) Infiltration d'une lame d'eau superficielle

Le paramètre recherché étant d'ordre structural plutôt qu'hydrodynamique, les mesures peuvent être simplifiées et miniaturisées ce qui permet de les multiplier tant en surface qu'au sein des profils.

En pratique, on dispose sur la surface étudiée des cylindres en tôle de 10 à 15 cm de diamètre puis, après les avoir légèrement enfoncés et remplis d'eau, on note le temps d'infiltration d'une lame d'eau de 10 cm. Ces mesures peuvent être avantageusement couplées avec le prélèvement d'échantillons de sol non perturbés.

Le tableau suivant présente les résultats de mesures effectuées à la surface du sol sous diverses couvertures végétales dans la région de BOUAKE (Côte d'Ivoire) ; chaque valeur représente la médiane de 15 mesures.

2°) Infiltration sous des tensions d'eau négatives

On utilise des infiltromètres pouvant délivrer l'eau sous des tensions négatives (ou succions) réglables. La gamme de réglage des tensions permet, en accord avec la théorie de la capillarité, d'estimer la répartition de la macroporosité fonctionnelle selon le diamètre des pores.

En pratique, on procède à plusieurs séries d'infiltrations au même endroit, sous différentes tensions d'eau, chaque infiltration étant poursuivie jusqu'à obtention d'un régime permanent. La comparaison des différentes valeurs de conductivité hydraulique ainsi obtenues permet d'évaluer la contribution des macropores de différents diamètres au processus d'infiltration. On peut, en appliquant la formule de Poiseuille, en déduire les valeurs correspondantes de macroporosité fonctionnelle (WATSON et LUXMOORE-1986; SAUER et al.-1990).

IV - CONCLUSION

J. Bouma, dans un article récent (BOUMA-1990), regrette que l'on n'accorde pas assez d'importance à la morphologie des sols avant de définir des schémas d'échantillonnage et des méthodologies d'analyse. Il est en effet très rare de trouver dans les revues de science du sol ou d'agronomie de langue anglaise une caractérisation physico-chimique du sol qui soit guidée par une analyse morphologique préalable de la variabilité inter et intrahorizon.

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

Les quelques réflexions qui ont précédé ont essayé de montrer l'intérêt que présente pour l'étude des macrostructures dans les sols tropicaux cultivés une démarche associant l'approche morphologique familière au pédologue et les méthodes physiques propres à mesurer l'organisation des constituants du sol ou certaines propriétés en découlant.

C'est ainsi que l'approche morphologique couplée à des mesures de l'espace macroporal semble particulièrement pertinente pour étudier le comportement physique des sols peu structurés des régions tropicales sèches.

BIBLIOGRAPHIE

BLIC (P. de), 1987. - Analysis of a cultivation profile under sugarcane : methodology and results. In : Land development and management of acid soils in Africa. IBSRAM Proceedings, n°7, Bangkok : 275-285.

BLIC (P. de), 1990. - L'examen du profil cultural : un outil pour mieux comprendre le comportement du sol soumis à des travaux aratoires. In : Organic matter management and tillage in humid and subhumid Africa. IBSRAM Proceedings, n°10, Bangkok : 385-399.

BOULET (R.) et al., 1982. - Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 19 (4) : 309-351.

BOUMA (J.), 1990. - Using morphometric expressions for macropores to improve soil physical analyses of field soils. Geoderma, 46 : 3-11.

CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1989. - Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, 229 p.

GAUTRONNEAU (Y.), MANICHON (H.), 1987. - Guide méthodologique du profil cultural. CEREF- GEARA, 71 p.

HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1969. - Le profil cultural. 2è édition, Masson, Paris, 332 p.

- MANICHON (H.), 1982. - L'action des outils sur le sol : appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. Sc. du Sol, 3 : 203-219.
- McKEAGUE (J.A.), WANG (C.), COEN (G.M.), 1988. - Description et interprétation de la macrostructure des sols minéraux. Rapport préliminaire, Agriculture Canada, Bull. techn. 1986-2F, 57 p.
- MORAN (C.J.), McBRATNEY (A.B.), KOPPI (A.J.), 1989. - A rapid method for analysis of soil macropore structure. I - Specimen preparation and digital binary image production. Soil Sci. Soc. Am. J., 53 : 921-928.
- MURPHY (C.P.), BULLOCK (P.), TURNER (R.H.), 1977. - The measurement and characterisation of voids in soil thin section by image analysis. Part I - Principles and techniques. J. of Soil Sci., 28 : 498-508.
- RINGROSE-VOASE (A.J.), 1987. - A scheme for the quantitative description of soil macrostructure by image analysis. J. of Soil Sci., 38 : 343-356.
- RUELLAN (A.), DOSSO (M.), FRITSCH (E.), 1989. - L'analyse structurale de la couverture pédologique. Sc. du Sol, 27 (4) : 319-334.
- SAUER (T.J.), CLOTHIER (B.E.), DANIEL (T.C.), 1990. - Surface measurements of the hydraulic properties of a tilled and untilled soil. Soil Tillage Res., 15 : 359-369.
- STENGEL (P.), 1979. - Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ. Ann. Agron., 30 (1) : 27-49.
- STENGEL (P.), 1990. - Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et méthodes. In : La structure du sol et son évolution. Les colloques de l'INRA, n°53:15-36.
- TARDIEU (F.), MANICHON (H.), 1986. - Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. II - Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. Agronomie, 6 (5) : 415-425.
- TARDIEU (F.), MANICHON (H.), 1987. - Etat structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs. II - Croissance et disposition spatiale du système racinaire. Agronomie, 7 (3) : 201-211.
- WATSON (K.W.), LUXMOORE (R.J.), 1986. - Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. Soil Sci. Soc. Am. J., 50 : 578-582.

RESUME

L'organisation macrostructurale du sol régit les transferts hydriques rapides et exerce une influence qui peut être déterminante sur le développement du système racinaire. Elle est étroitement liée aux techniques culturales et à la faune du sol.

Après avoir discuté l'intérêt et les limites d'une approche morphologique, une méthode d'étude est présentée qui associe étroitement description de la macrostructure et mesures physiques réalisées in situ et sur échantillons non remaniés.

Une première démarche consiste à caractériser, par la méthode des toposéquences, la couverture pédologique à l'échelle du versant. Des stations d'étude sont ensuite identifiées et décrites à l'échelle du champ.

Au cours des étapes suivantes, l'organisation macrostructurale est décrite et mesurée, d'abord à l'échelle du profil cultural, puis à celle des unités morphologiques homogènes, c'est à dire de volumes de sol individualisés dans le profil et se distinguant les uns des autres par leur état structural.

En fonction des objectifs recherchés, l'organisation macrostructurale du sol peut être mise en relation avec la morphologie du système racinaire et/ou avec la capacité d'infiltration mesurée in situ.

ABSTRACT

Soil macrostructural organisation : interest and limits of a morphological approach, method of characterisation.

Soil macrostructure is undoubtedly one of the most important soil characteristics insofar as it is mainly concerned with rapid water flows and root development and closely related to tillage practices and faunal activity.

This report starts with some discussion about interest and limits of a morphological approach of macrostructure. Then, a method of evaluating soil macrostructure is presented which tightly associates morphological approach with physical measures achieved in situ and in the laboratory.

The proposed step consists in the following stages :

- 1- Analysis of soil mantle organisation by means of toposequences.
- 2- Settling and description of studying stations representative of the soil-plant system at the scale of the field.
- 3- Macrostructure description and measuring at pedon and lower organisation levels.
- 4- Characterisation of some plant-soil parameters closely related to macrostructure, i.e. morphology of rooting system and infiltration rate.

APPROCHE METHODOLOGIQUE UTILISEE POUR LES RECHERCHES
AGROPEDOLOGIQUES DANS LES CERRADOS DU BRESIL CENTRAL ET
PREMIERS RESULTATS

Philippe BLANCANEUX*, Pedro Luiz de FREITAS, Armanda Moreira de
CARVALHO et Joao Roberto CORREIA

OBJECTIF : Les programmes de recherches entrepris en coopération entre l'ORSTOM et l'EMBRAPA/CNPS-CRCC dans les cerrados du Brésil central sont étroitement liés aux systèmes culturaux actuels et sont orientés vers une meilleure caractérisation des propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols.

L'objectif est de proposer des pratiques culturales alternatives comme solutions de conservation visant à la maintenance ou à l'augmentation de la productivité des cultures, tout en réduisant au minimum les opérations de préparation du sol, de façon à éviter la pulvérisation excessive des couches superficielles qui est l'un des facteurs de la compaction du sol auquel on assiste depuis quelques années .

MATERIEL ET METHODES

1 - Stratégie d'action

L'étude de systèmes alternatifs, incluant le Semis Direct, est réalisée dans le centre-ouest du Brésil en divers sites expérimentaux de l'état du Goiás : Goiânia (station du CNPS/EMGOPA), Rio verde, Jataí, Morrinhos (station de l'EMGOPA et Bassin versant), ainsi que dans diverses propriétés rurales directement avec les agriculteurs.

Les expérimentations installées parfois depuis 1970 visent à l'observation et à la comparaison des successions de cultures et de préparation du sol, considérées comme conventionnelles et alternatives, sous conditions d'irrigation (Pivot central) ou non.

Les systèmes de préparation du sol retenus sont ceux qui sont le plus largement utilisés dans la région à savoir : a) Pulvérisation par utilisation de pulvérisateur à disques autoporteur lourd ("Grade pesada"), suivi de deux pulvérisations légères (système conventionnel le plus largement utilisé actuellement); b) labour profond avec passage successif de charrue à disques, charrue à socs, suivi d'un nivellement; c) Semis Direct sur les restes de la culture antérieure avec une semeuse spécialement adaptée.

Parmi les cultures suivies on retiendra : le maïs (été, chaud et pluvieux) et le haricot (hiver, froid et sec). Mais le semis direct est également étudié dans des aires de cultures variées (engrais verts) ainsi qu'après pâturages à Brachiaria ruzinensis, Panicum maximum ou cajanus cajan.

Les successions de ces systèmes sont testées en parcelles de 40 X 15 mètres, sur des sols ferrallitiques faiblement ou non désaturés en B rouges, argileux (Latossolo Roxo),

* EMBRAPA, GOIANIA, BRESIL.

développés sur basaltes ou sur des sols ferrallitiques fortement désaturés en B rouges ou jaune-rougeâtres, argileux (latossolos vermelho-escuro ou vermelho-amarelo) développés sur les couvertures détrito-latéritiques argileuses rouges du tertiaire et du quaternaire.

2 - Méthodologie

2.1 - Systématisation et adaptation de la méthodologie du Profil Cultural . Organisation macroscopique.

La méthodologie utilisée se base sur une adaptation du "Guide Méthodique du Profil Cultural" de Gautronneau et Manichon, 1987. Notre méthodologie se fonde sur une caractérisation morphologique (analyse structurale) des différents volumes pédologiques reconnus au cours de l'examen des profils, tant verticalement que latéralement, mais elle s'appuie également sur un certain nombre de déterminations analytiques et de mesures effectuées tant in situ, qu'au laboratoire, Blancaneaux et al, 1991.

Les différents paramètres utilisés pour la description des profils pédologiques anthropisés sont résumés dans le tableau annexé.

Pour chaque site considéré, un profil de référence, sous végétation naturelle, situé à proximité des parcelles étudiées, est systématiquement caractérisé.

L'objectif de la description est la caractérisation morphostructurale et physico-hydrrique du sol, ainsi que ses relations avec la couverture végétale et les opérations culturales. La description doit inclure principalement les observations sur l'état structural, la consistance, la porosité, en plus du développement et de l'orientation des racines. L'ensemble des résultats obtenus, confirmés par les mesures diverses effectuées sur le terrain en fonction des variations des états structuraux (pénétrométries verticale et horizontale, tests d'infiltration etc..), doivent permettre la compréhension des diverses interventions agricoles antérieures à la description des profils, ainsi que le rôle des cultures antérieures. Elle permet entre autre d'établir les relations entre l'état structural et le développement racinaire.

2.2 - Organisation microscopique

La caractérisation microscopique est réalisée par observation à la loupe de mottes et de lames minces, et au microscope optique de ces dernières. Pour l'analyse micromorphologique, les lames étudiées correspondent à des échantillons non remaniés prélevés en fonction de l'analyse morphostructurale.

2.3 - Caractérisation de l'espace poral.

Les observations morphostructurales et microscopiques de l'espace poral sont complétées par la quantification de la porosité totale et de la distribution de la taille des pores,

pour divers intervalles, en fonction des différents traitements culturaux. A cette fin, sont déterminées les densités, apparente et de solide, et la rétention en eau à différentes pressions, ainsi que le spectre poral par porosimétrie à mercure.

23.1 - Densimétrie et porosité

Les déterminations sont réalisées sur des échantillons non remaniés, prélevés verticalement dans les horizons diagnostiqués, avec des cylindres volumétriques de 100cm³. Après saturation, les échantillons sont soumis à des pressions de 6, 33 et 100KPa. Après équilibre de chaque pression, la teneur en eau des échantillons est mesurée par gravimétrie et les échantillons sont légèrement réhumidifiés. Deux répétitions sont faites par horizon étudié. Les résultats sont rapportés à l'humidité volumétrique.

La densité apparente est déterminée dans les mêmes échantillons, après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24h. La densité de solides et de vides est déterminée dans des ballons volumétriques avec l'alcool éthylique. Les densités sont exprimées en g/cm³.

La distribution de la taille des pores est réalisée sur la base du rayon équivalent à partir de la théorie des tubes capillaires pour les différentes pressions appliquées. Sont déterminées les pourcentages de micropores dans les intervalles de 50-9µm, 9-3µm et <3µm, qui composent la microporosité (Freitas,1988) et >50µm ou macroporosité, exprimés en pourcentage du volume total de l'échantillon.

23.2 - Porosimétrie à mercure

L'étude du système poral par intrusion de mercure dans de petits échantillons de 2 à 4cm³, séchés à l'étuve, permet d'étudier la distribution de la taille des pores, en fonction du rayon équivalent, dans les intervalles de 0,004 à 80µm (Bruand, 1985, 1991). Les déterminations jusqu'à fin 1993 ont été réalisées au laboratoire ORSTOM de Cayenne; elles le seront dorénavant soit à Versailles (M.Grimaldi), soit à Orléans (A.Bruand). Les résultats sont exprimés par l'indice des vides v_e et du "spectre de vide", calculé sur la base de l'indice des vides et du logarithme du rayon équivalent (Tessier, 1984).

23.3 - Rétractométrie

Cette nouvelle méthode de caractérisation des propriétés physiques du sol (Braudeau,1987) nous permet également d'étudier différents aspects des propriétés de sa structure (porosité, réserves en eau, gonflement-retrait..). La méthodologie qui lui est liée permet une approche quantitative et standardisée de cette structure. Celle ci évolue du fait de nombreux facteurs naturels et anthropiques. Il nous est possible de suivre les modifications et transformations apportées par les changements du fait des conditions climatiques, chimiques ou agronomiques, que celles-ci soient simulées ou naturelles. Les échantillons non remaniés prélevés au Brésil sont acheminés au laboratoire d'hydrophysique de

Bondy où sont effectuées les différentes déterminations analytiques (G. Bellier).

2.4 - Stabilité d'agrégats

La détermination de la stabilité des agrégats permet l'étude de la résistance de ces derniers à leur humectation et aux forces de désintégration. Plus la stabilité des agrégats est faible dans l'eau, plus la susceptibilité du sol à la détérioration de sa structure par l'impact des gouttes d'eau ou par l'action des outils de préparation culturale du sol, ou son tassement par le passage des machines agricoles, sera grand.

La détermination de la stabilité des agrégats dans l'eau suit la méthodologie présentée par Freitas et Blancaneaux, 1990, Freitas et al 1991, d'après Kemper, 1965. Les échantillons sont prélevés sous la forme de monolithes dans les horizons décrits lors de l'analyse morphostructurale. Au laboratoire les agrégats compris entre 4 et 8mm sont soumis à une humidification par "brumisation" et tamisés dans l'eau grâce à un jeu de tamis de taille variant de 2 à 0,053mm d'ouverture.

2.5 - Caractéristique chimique (Fertilité)

Parallèlement aux déterminations précédentes un certain nombre de déterminations analytiques visant à suivre l'évolution de la fertilité chimique des sols sous différentes conditions d'utilisation et de préparation sont faites. C'est ainsi que sont déterminés :

- carbone organique : méthode volumétrique par le bichromate de potassium et titrage au sulfate ferreux (EMBRAPA/CNPS, 1979).
- Matière organique : à partir du carbone (M.O% = C X 1.724)
- caractérisation des différentes fractions organiques : C.Feller et équipe du LCSC de Montpellier à partir de 1994.
- N total par distillation Kjeldahl
- pH eau par potentiométrie
- H + Al (acidité échangeable) par la méthode volumétrique et titrage par la soude
- Ca + Mg échangeables par complexométrie et titrage par EDTA
- P assimilable : méthode colorimétrique par acide ascorbique.
- K échangeable : méthode directe par photométrie de flamme
- Al échangeable : méthode volumétrique par titrage à la soude.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ces études sont réalisées sur les sols ferrallitiques caractéristiques de la région des cerrados du Brésil central, en particulier dans l'état du Goiás. Dans les conditions de végétation naturelle, ces sols présentent une structure microagrégée bien organisée qui engendre une porosité importante tant en surface qu'en profondeur, sur un profil généralement épais.

Lorsqu'ils sont soumis à une exploitation intensive, quelque soit le système utilisé, mais surtout quand ils le sont avec des outils agricoles inadéquats, en particulier les

pulvérisateurs autoporteurs à disques lourds ("grade pesada"), ces sols souffrent une pulvérisation excessive des couches superficielles qui conduit à un tassement des horizons de moyenne profondeur, ce qui augmente la susceptibilité à l'érosion et leur encroûtement superficiel.

L'étude comparative de plusieurs systèmes de préparation du sol avec la méthodologie proposée montre : a) une tendance au tassement des horizons subsuperficiels quelque soit les traitements effectués mais surtout remarquables dans les traitements par charrues à disques; b) une activité biologique nettement plus forte sous semis direct; c) une humidité relativement plus forte de tous les horizons des profils sous semis direct

L'analyse micromorphologique des profils de références montre que l'unité d'assemblage élémentaire est le microagrégat et que la taille et la forme des pores sont conditionnées par le type d'organisation de ces agrégats. Elle montre également que les chenaux/cavités sont beaucoup mieux représentés dans les horizons qui ne sont pas soumis à l'influence des outils agricoles.

Cette même analyse micromorphologique appliquée aux différents traitements culturaux montre un tassement très net des horizons sub-superficiels des sols soumis au traitement par charrue à disques lourds ou pulvérisateurs lourds autoporteurs. Les traitements par semis direct, bien que présentant un certain tassement localisé, révèle l'existence d'une forte activité biologique responsable d'une macroporosité non négligeable dans ces mêmes horizons.

La densimétrie et la distribution de la taille des pores, déterminées de manière globale par la rétention de l'eau dans le sol, et de manière particulière, par l'intrusion du mercure, permettent la quantification des différents types de pores et leur évolution :

- la porosité interne des microagrégats est constante dans les profils et n'apparaît pas modifiée par les traitements culturaux;

- la porosité d'assemblage des microagrégats qui est également importante en profondeur, est affectée par le tassement des horizons superficiels; on observe une diminution des pores. *Cette variation est fonction du système cultural utilisé.*

- La porosité d'ordre biologique, grossière, composée de chenaux/cavités et de gros pores tubulaires, notable en profondeur, apparaît globalement réduite dans les horizons sub-superficiels (quelque soit le traitement); elle est parfois totalement éliminée par le tassement.

La distribution de ces types de pores dans les horizons est fonction de leur structure et de leur sous-structure.

Le compactage et le tassement produit par les traitements culturaux, particulièrement ceux relatifs aux systèmes conventionnels avec utilisation de pulvérisateurs autoporteurs à disques lourds, affectent les propriétés physico-hydrauliques des

horizons superficiels du sol. La réserve en eau du sol est réduite, l'eau restante est confinée dans les pores de tailles très fines.

Ces modifications mettent en évidence la résistance et la stabilité des microagrégats, mais rendent également compte de la fragilité de la structure globale du sol. Le travail intensif avec des outils agricoles inappropriés, provoque une pulvérisation excessive des couches superficielles du sol, et lorsqu'il est associé à une irrigation mal contrôlée, conduit à des risques importants de dégradation de l'environnement, en plus des chutes de rendements des cultures. Le Semis Direct, en ce sens, montre une série d'avantages, confirmés dans tous les traitements considérés dans nos études, notamment quand on le compare avec le système conventionnel.

Néanmoins l'augmentation de la densité du sol, et la conséquente diminution de la porosité interagrégat observées dans les traitements sous Semis Direct montrent la nécessité d'une période de transition entre le traitement conventionnel et le système alternatif (Semis Direct). Cette transition inclue la préparation du sol en profondeur, afin de diminuer le tassement des horizons sub-superficiels par un labour ou une scarification jusqu'à 30cm de profondeur environ. Cette préparation profonde doit être complétée par une correction chimique du sol (chaulage et phosphatage), et par l'introduction d'espèces végétales à haut rapport C/N, comme les engrais verts, en succession avec la culture principale, visant à l'augmentation des taux en matière organique et de l'activité biologique du sol, ainsi qu'à la formation d'un mulch pour le Semis Direct. Nous menons actuellement à la station de Goiânia des essais d'introduction d'engrais verts compte-tenu des spécificités climatiques du cerrado du Goiás et évaluons les divers effets de ces derniers tant sur les propriétés physiques que chimiques des sols.

Les conclusions agronomiques que nous présentons dans l'article intitulé : Le "Semis Direct" comme pratique de conservation des sols des "cerrados" du Brésil central. Ph. Blancaneaux, P.L de Freitas, R.F. Amabile et A.M de Carvalho., Cah. ORSTOM, Sér. Pedol., Spécial Erosion, 1993, à paraître, ont été obtenus sur deux cycles culturaux. Pour être tout à fait objectif, et sans rien diminuer aux qualités reconnues pour le Semis Direct, il convient de confirmer ces résultats sur des périodes suffisamment longues pour porter un jugement définitif, pour toutes les catégories de plante cultivée et pour le contrôle de tous les effets pouvant résulter d'une utilisation abondante d'herbicides et de pesticides, au niveau du sol, sous-sol et produits végétaux.

Toutefois parmi les avantages relatifs au Semis Direct vérifiés dans nos études, nous citerons en outre : la tolérance au "verânico" et les risques moindres des cultures aux variations climatiques, un intervalle plus grand pour la préparation du sol, une meilleure rentabilité du fait du coût inférieur des dépenses (engrais, machines, agrototoxiques etc.), un meilleur contrôle de l'érosion qui favorise globalement un

meilleur équilibre écologique et une meilleure protection de l'environnement.

Tableau II -

Identification:	- numéro du profil, désignation de l'horizon et, profondeur, en cm
Humidité:	- sec, légèrement humide, humide, très humide
Couleur:	- sec et humide
Taches:	- quantité: peu (< 2 %), communes (2 à 20 %), abondantes (20 - 30 %), très abondantes (30 - 50 %) - taille: petites (< 5 mm), moyennes (5 - 15 mm), grandes (> 15 mm) *noter: contraste, couleur de fond, couleur des taches, associations, orientations, nature.
Matière Organique:	- présence et forme: - débris organiques, débris organiques décomposés ou en décomposition, directement décelable (humifiée et/ou organisée), non directement décelable (supposée par la couleur), et apparemment non organique. *noter: teneur estimée en matière organique.
Oxydes et/ou hydroxydes:	- quantité: très peu (< 5 %), peu (5 - 15 %), fréquent (15 - 40 %), dominant (> 80 %) - taille: petit (< 1 cm), grand (> 1 cm). - forme: diffuse, taches, nodulaire, concrétions, carapaces - nature: ferrugineux, ferro-manganésifère, sesquioxides non identifiés *noter: dureté et couleur
Éléments grossiers:	- graviers (2 - 20 mm), cailloux (20 - 200 mm), blocs (> 20 cm) - forme et degré d'arrondissement: anguleux, arrondi, roulé
Texture:	- très argileux (> 60 %), argileux (40 - 60 %), argilo-sableux (35 - 55 %), limono-argilo-sableux (20 - 35 %), limono-sableux (15 - 25 %), sableux (< 15 %)
État structural:	- nature générale: particulière, massive, fragmentaire - netteté: peu nette, nette, très nette - généralisation: localisée, généralisée - type: lamellaire, prismatique, polyédrique (anguleuse, subanguleuse), granulaire, grumeleuse, microagrégée - classe: très fine, fine, moyenne, grossière, très grossière - degré de développement: faible, modérée, forte
Porosité de l'horizon:	- volume des vides entre les agrégats: faible, important, très important
Porosité de l'agrégat:	- quantité: sans pores visibles, pores peu nombreux, nombreux, très nombreux - taille: très fins (< 1 mm), fins (1 - 2 mm), moyens (2 - 5 mm), larges (5 - 10 mm), très larges (> 10 mm). - forme: tubulaire, vacuolaire, intergranulaire - orientation: verticale, horizontale, oblique, sans orientation dominante - porosité globale: non poreux, peu poreux, poreux, très poreux
Revêtements:	- nature (argileux, organo-argileux, argilo-ferrugineux, sesquioxides); épaisseur (minces, épais, très épais); quantité (peu, communs, abondants); localisation (face des agrégats, grains, vides); et, surfaces (friction, compression).
Consistance:	- état général: rigide, semi-rigide, malléable, pâteuse, élastique - sec (dureté et ténacité): peu dur, dur, très dur, extrêmement dur - humide (friabilité): libre, très friable, friable, ferme, très ferme, extrêmement ferme (compacité): compact, très compact, extr. compact - mouillé (plasticité) non plastique, peu plastique, plastique, très plastique (adhésivité): non collant, peu collant, collant, très collant
Racines:	- abondance: rares, peu communes, communes, fréquentes - type: fasciculées, pivotantes, secondaires, autres - grosseur: fines, moyennes, grosses *noter: disposition, orientation et localisation
Activité biologique:	- intensité: très forte, forte, moyenne, faible - type: vers, termites, fourmis, tatous, etc. - distribution
Observations Complémentaires:	
Transition:	- netteté: abrupte (< 2.5 cm), distincte (2.5 - 7.5 cm), graduelle (7.5 - 12.5 cm), diffuse (> 12.5 cm)

**LABORATOIRE D'ETUDE DES SOLS CULTIVES (LESC) DE BRAZZAVILLE
PROGRAMME : TRANSFORMATION STRUCTURALE
DE SOLS ACIDES TROPICAUX**

Christian HARTMANN*

Contrairement à la texture, la structure ne possède actuellement pas de définition universellement reconnue. La notion de structure fait aussi bien référence aux caractéristiques du volume poral, au mode d'arrangement des constituants ou à l'existence d'agrégats stables (dans l'eau ou autres liquides).

L'objectif du Laboratoire d'Etude des Sols Cultivés (LESC) de Brazzaville est de mieux définir les concepts de "sol dégradé" et de "perte de fertilité physique" en milieu agricole et sur des sols de type acide. Pour atteindre cet objectif, nous avons choisi 2 démarches complémentaires, l'une quantitative, l'autre plus qualitative.

A - MESURES DE POROSITE

La quantification de la porosité passe souvent par une simple mesure du volume poral le long d'un profil. Cette donnée, très globale, doit nécessairement être complétée par des mesures qui permettent de préciser les caractéristiques du spectre poral, à savoir le volume occupé par chaque classe de pores. Ce sont *in fine* les capacités de rétention et de transfert de l'eau dans le sol, en relation avec le développement des plantes, qui nous intéressent. Le volume poral est alors divisé en trois compartiments :

- les pores d'une taille supérieure à environ 150 μm qui assurent l'écoulement gravitaire,
- les pores entre environ 150 et 1,5 μm qui contiennent l'eau retenue par le sol et facilement utilisable par l'activité biologique végétale et animale,
- les pores d'une taille inférieure à environ 1,5 μm qui correspondent à l'arrangement des cristallites d'argile où l'eau est fortement retenue et peu utilisable par l'activité biologique.

Le compartiment des pores les plus grands est particulièrement important car il détermine à la fois l'aération, les écoulements rapides de l'eau, les possibilités d'implantation du système racinaire et les conditions de vie de l'activité biologique animale. L'étude de ce compartiment fera l'objet d'un programme spécifique et d'une mise au point méthodologique : observation de la porosité sur sections polies et mesures effectuées à l'aide d'un analyseur d'image. Des observations identiques, à des niveaux plus fins d'organisation, permettront de confronter des données basées sur la rétention de l'eau et des données concernant la géométrie du système poral (notamment la connexité) si importante dans les transferts.

B - DESCRIPTION DU MODE D'ORGANISATION DE LA PHASE SOLIDE

La dégradation d'un sol tropical mis en culture est la plus souvent caractérisée par la disparition d'une structure agrégée au profit d'une structure massive. Par conséquent les méthodes de réhabilitation ont souvent pour objectif de recréer un état motteux par l'intermédiaire de

* MAA - ORSTOM, PARIS, FRANCE.

travaux mécanisés. Malgré le fractionnement et l'état motteux observé après les labours, ces travaux ne permettent pas toujours de retrouver les rendements initiaux : la structure originelle du sol n'est pas réellement recréée.

En effet, le sol ne s'organise pas seulement à l'échelle macroscopique mais à différentes échelles, jusqu'au niveau d'arrangement des cristallites d'argiles et de la matière organique. Pour mettre en évidence les mécanismes de dégradation de la structure des observations sont effectuées à toutes les échelles.

La structure est tout d'abord décrite sur le profil, c'est-à-dire telle qu'on peut l'observer à l'oeil. Des échantillons non remaniés sont prélevés, particulièrement dans les horizons repérés comme dégradés (mesures de porosité) ; ils sont inclus dans une résine et des lames minces sont fabriquées. Des prélèvements sont effectués au sein de la phase argileuse, réinclus dans une résine spécifique, des lames ultraminces sont confectionnées et des observations effectuées au MET.

CONCLUSION

La démarche qui vient d'être exposée permet de prendre en compte simultanément les différents niveaux d'organisation du sol (de la motte à l'arrangement du cristallite). Le diagnostic de la dégradation est effectué par des mesures de l'évolution du spectre poral, sans privilégier *a priori* une échelle par rapport à une autre. Pour proposer des techniques culturales conservatives, les changements d'organisation de la phase solide sont décrits et confrontés à des données physico-chimiques, biologiques, minéralogiques, etc... afin de préciser le rôle des différents facteurs dans la dégradation.

MISE AU POINT D'UNE METHODE DE FRACTIONNEMENT EN AGREGATS*

Hervé COLLEUILLE **

Le principe du fractionnement repose sur la notion de friabilité du sol et la bimodalité du spectre poral des sols. S'inspirant de quelques méthodes de fractionnement basées sur l'intervention d'un solvant organique, nous avons recherché les conditions opératoires les plus appropriées, notamment la teneur en eau initiale des échantillons, pour que le fractionnement soit plus une individualisation et une séparation d'agrégats préexistants qu'une fragmentation arbitraire qui ne tiendrait compte ni de l'assemblage des constituants, ni de l'état hydrique de l'échantillon.

Nous avons montré, dans le chapitre I, la nécessité de mieux définir, identifier et séparer les agrégats du sol. En s'appuyant sur les acquis des formules préexistantes, il s'agit de proposer une nouvelle méthode pour fractionner les échantillons de sols en éléments structuraux naturels, constitutifs d'un niveau d'organisation donné.

Dans ce chapitre, nous présenterons les objectifs et les principes du fractionnement en agrégats, et nous définirons précisément les différentes étapes du protocole de fractionnement. Nous proposerons, ensuite, une méthode d'analyse des agrégats issus du fractionnement, basée sur l'analyse des distributions dimensionnelles des agrégats et la séparation des sables libres.

1 OBJECTIFS DU FRACTIONNEMENT EN AGREGATS

L'étude morphologique du sol à différentes échelles d'observation, a montré depuis longtemps l'aspect organisé du sol en plusieurs niveaux hiérarchisés (OADES et WATERS, 1991), chaque niveau correspondant à un assemblage relativement homogène d'éléments structuraux, auxquels on donne le nom générique d'agrégats. La caractérisation morphologique de la structure du sol devrait passer par une détermination préalable de ses niveaux d'organisation, à l'image de l'approche des micromorphologues (BULLOCK et al., 1985).

* Extrait de thèse soutenue le 10/12/1993 sous le titre "Approche physiques et morphologiques de la dynamique structurale des sols. Application à l'étude de deux séquences pédologiques tropicales" (Chapitre IV, pp. 91-127).

** ORSTOM, BONDY, FRANCE.

Sur le terrain, s'il est assez facile de reconnaître un horizon de sol, de lui associer un ou plusieurs types d'assemblage et d'en prélever un fragment (motte) représentatif, il est beaucoup plus difficile de différencier les niveaux d'organisations d'ordre inférieur autrement que par une analyse micromorphologique sur lame mince ; or celle-ci ne donne pas la possibilité de séparer et de manipuler les éléments structuraux constitutifs. C'est dire que si l'on reconnaît bien dans une motte de sol un ou plusieurs sous-niveaux de structure, aucune méthode n'existe actuellement qui permette de résoudre cette motte en ses agrégats élémentaires¹ ou secondaires², c'est-à-dire constitutifs d'un niveau d'organisation donné.

Pourtant, comme nous l'avons vu précédemment, de nombreuses méthodes de fractionnement d'un échantillon de sol ont été proposées, mais les objectifs étaient tout autre :

- d'obtenir les différentes fractions de la matière organique (e.g. FELLER, 1979 ; ANDREUX et al., 1980 ; TURCHENEK et OADES, 1979) ;
- d'évaluer la stabilité structurale (e.g. TIULIN, 1928 ; BAVER et ROADES, 1932 ; YODER, 1936 ; HENIN, 1938) ou d'obtenir un indice de structure (e.g. BOYD et al., 1983 ; UTOMO et DEXTER, 1981).

La plupart de ces méthodes de fractionnement sont basées sur le principe selon lequel un niveau d'organisation correspond à une force de cohésion déterminée, qui peut être rompue par un traitement chimique ou énergétique.

Seules quelques études se sont attachées au fractionnement pour identifier et séparer les éléments structuraux naturels du sol (TRI, 1968 ; HENIN et SANTAMARIA, 1975 ; BRAUDEAU, 1982 ; KANE et MOTT, 1983). Ces auteurs ont montré que par l'intervention d'un solvant organique, comme l'alcool éthylique ou méthylique, il était possible d'obtenir des unités structurales non dénaturées.

Cependant les agrégats obtenus ne correspondent pas à un niveau d'organisation structurale précis, en raison d'un manque de normalisation des protocoles de fractionnement proposés, de la sous-estimation de l'importance de l'état hydrique initial des échantillons de sol sur le produit du fractionnement.

S'inspirant de la méthode de fractionnement proposée par BRAUDEAU en 1982, l'objectif de ce travail sera de rechercher les conditions opératoires les plus appropriées, et notamment l'état d'humidité des échantillons, pour que le fractionnement soit plus une individualisation et une séparation d'agrégats préexistants qu'une fragmentation arbitraire qui ne tiendrait compte ni de l'assemblage, ni de l'état hydrique de l'échantillon.

¹ Les agrégats élémentaires sont les agrégats visibles en micromorphologie, de quelques dizaines de μm à quelques millimètres, formés de l'assemblage des particules primaire fines du sol, indépendamment des particules grossières du squelette, et séparés les uns des autres par des traits pédologiques particuliers (cutanes...).

² Les agrégats secondaires correspondent à des assemblages d'agrégats élémentaires incorporant des sables et limons grossiers.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 Les échantillons de sol

Les sols retenus pour la mise au point du protocole expérimental et son application, proviennent des deux séquences pédologiques que nous avons présentées dans le chapitre II :

- une séquence de sols ferrallitiques-ferrugineux de Basse-Casamance ;
- une séquence de sols alluviaux à caractère verticale, de la vallée du fleuve Sénégal.

Les principales caractéristiques physico-chimiques des échantillons retenus pour élaborer la méthode de fractionnement sont présentées dans l'annexe IV.1.

Le volume de sol considéré dans cette étude est de l'ordre de 60 à 100 cm³. Il peut s'agir soit d'une motte de sol prélevée telle quelle au sein de l'horizon de sol, soit d'un prélèvement cylindrique découpé par un carottier, à bords tranchants, sans perturbation de la structure. Ce volume de sol est jugé représentatif de l'horizon. Les échantillons ont été prélevés au champ et placés dans des sachets hermétiques afin de conserver l'organisation de la phase solide (e.g. VAN OORT, 1984).

2.2 Le principe du fractionnement en agrégats

Le principe du fractionnement est basé sur deux propriétés générale des sols :

- la friabilité du sol, c'est-à-dire la propriété du sol, à se déliter en agrégats millimétriques cohérents, dans des gammes d'humidité du sol particulières (UTOMO et DEXTER, 1981) ;
- la bimodalité du spectre poral des sols, correspondant à l'existence d'une séparation entre un système microporal où les eaux et solutés sont retenus par capillarité (porosité texturale ou intra-agrégats (élémentaires)), et un système macroporal, où l'écoulement des eaux et solutés est plus rapide (porosité structurale ou porosité inter-agrégats) (NIKIFOROFF, 1941 ; FIES et STENGEL, 1984).

La démarche retenue se base sur l'utilisation d'un liquide organique qui permet d'affaiblir les forces de liaisons inter-agrégatives, sans dénaturer la cohésion interne des agrégats. Le méthanol semble le plus approprié pour répondre aux objectifs fixés parce qu'il possède les propriétés suivantes :

- une miscibilité totale avec l'eau sans formation d'azéotrope, contrairement à l'éthanol

(BRAUDEAU, 1982) : ainsi le méthanol assure la disparition complète de l'eau par évaporation ;

- une viscosité du liquide peu élevée : la diffusion à travers les milieux poreux est supérieure à celle de l'eau, de l'éthanol et de leurs mélanges (MALICK et al., 1979) ;

- une taille moléculaire proche de l'eau permettant son incorporation au sein de la structure même des argiles (CHEN et al., 1987 ; CHARTRES et al., 1989). BRINDLEY et al., 1969 montrent que l'acétone peut provoquer une expansion des espaces interparticulaires et interfoliaires dans le cas de smectites, contrairement au dioxane et au méthanol ;

- une chaleur de vaporisation également peu élevée : la tension superficielle développée au sein de l'échantillon lors de l'évaporation du méthanol est pratiquement négligeable par rapport celle de l'eau et restreint par conséquent les forces capillaires provoquant le retrait (MALICK et al., 1979) ;

- une constante diélectrique beaucoup plus faible que celle de l'eau : le méthanol provoque un faible retrait/gonflement par rapport à l'eau, mais légèrement plus élevé par rapport à l'acétone ou au dioxane (MURRAY et QUIRK, 1980) ;

- une faible réactivité chimique (GREENE-KELLY, 1974).

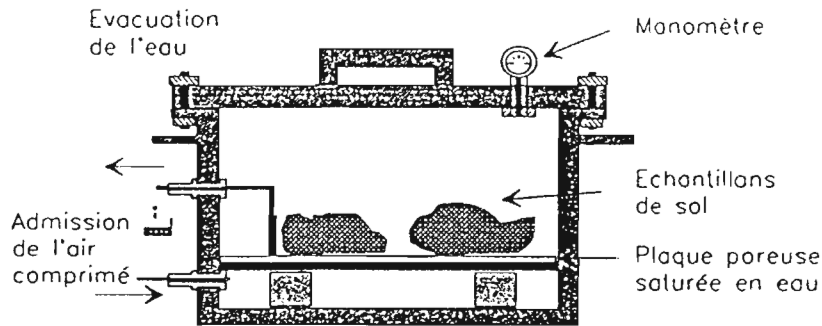
Enfin, il est à noter que le méthanol possède un prix relativement modique par rapport au dioxane (CHARTRES et al., 1989), et une toxicité moindre : le dioxane est cancérigène et explosif (MORAN et al., 1989). Cependant, le méthanol est aussi un produit inflammable, il émet des vapeurs toxiques qui peuvent entraîner une baisse de l'acuité visuelle aboutissant à la cécité (PICOT et GRENOUILLET, 1989). Il est donc impératif de réaliser le fractionnement sous une hotte aspirante.

2.3 Mode opératoire

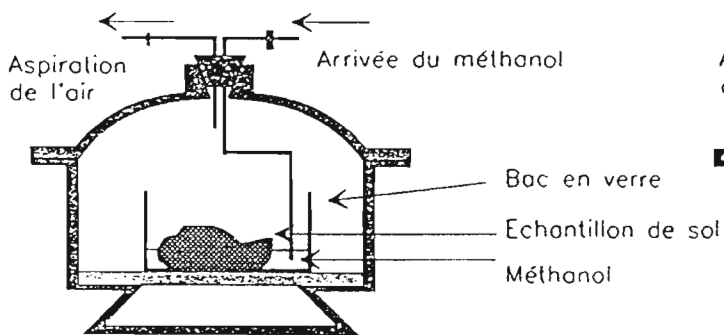
Le protocole proposé s'effectue en trois étapes principales :

2.3.1 Mise en équilibre de l'échantillon de sol à l'état hydrique désiré

Placés sur une plaque poreuse, les échantillons de sol sont réhumectés lentement par capillarité jusqu'à saturation. Cette opération s'effectue à la pression atmosphérique, ce qui semble permettre la réhumectation complète des échantillons (en moins de 24 H) sans affecter la structure (DICKSON et al., 1991). Les échantillons sont ensuite placés sur la plaque poreuse de l'appareil de RICHARDS (1941) et soumis à la pression correspondant à l'état hydrique désiré (fig. IV.1a).

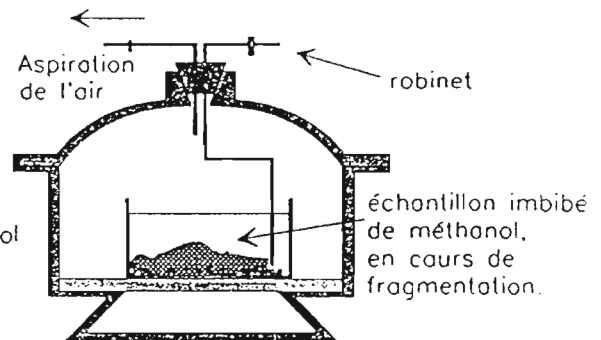


a Mise en équilibre de l'échantillon de sol à l'état hydrique désiré

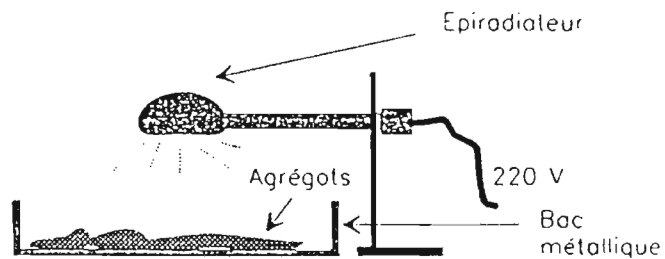


Enceinte en verre type dessiccateur

b Imbibition lente de l'échantillon par le méthanol



c Immersion complète de l'échantillon dans le méthanol



d Séchage des agrégats sous lampe infra-rouge

Figure IV.I :
Dispositif expérimental permettant le fractionnement d'un échantillon de sol non remanié en agrégats.

2.3.2 Imbibition lente de l'échantillon par du méthanol

La méthode mise au point consiste à humecter puis à imbiber lentement l'échantillon de sol par du méthanol.

La pénétration du méthanol dans l'échantillon s'effectue, en premier lieu, par humectation lente à la base de l'échantillon (fig. IV.1b). Les mécanismes de désagrégation par éclatement des agrégats, pouvant être provoqués par la compression de l'air piégé dans la motte de sol lors de l'humectation, sont réduits par la mise en contact du méthanol dans une enceinte en verre sous vide contrôlé (YODER, 1936 ; HENIN, 1938 ; EMERSON, 1954). Le niveau du méthanol est ensuite augmenté lentement jusqu'à l'immersion complète de l'échantillon, évitant toute turbulence qui pourrait éroder l'échantillon et disperser les particules fines (e.g. CONCARET, 1967 ; STENGEL, 1979 ; BOIFFIN, 1984) (fig. IV.1c).

Cette étape correspond au fractionnement de l'échantillon : lors de l'imbibition de l'échantillon par le méthanol on constate l'individualisation puis le détachement progressif des éléments structuraux (planche IV : photos 5 et 6), enfin l'écroulement complet de l'échantillon après immersion.

Le méthanol semble entraîner la suppression des forces de capillarité dans la macroporosité, puis, par échange d'eau avec la microporosité intra-agrégat, provoque le retrait des agrégats lorsque ceux-ci sont saturés en eau. Ce retrait semble fournir l'impulsion nécessaire à la séparation des agrégats entre eux.

2.3.3 Séchage et tamisage des agrégats

La dernière étape du protocole consiste à sécher les agrégats obtenus sous un système de lampes infra-rouge (épiradiateur à silice) (fig. IV.1d). L'atmosphère chaude et sèche créée par les lampes permet d'éviter la condensation atmosphérique consécutive au refroidissement, lors de l'évaporation du méthanol (BRAUDEAU, 1982). Les unités structurales restent ainsi individualisées lors du séchage qui dure une quinzaine de minutes, tout au plus, selon la teneur en eau initiale de l'échantillon.

Les éléments structuraux obtenus par fractionnement sont alors bien individualisés, cohérents et relativement résistants pour subir l'ensemble des manipulations nécessaires à l'étude des agrégats eux-mêmes, ou de leur constitution physico-chimique.

Ainsi, en vue de leur étude, les agrégats sont ensuite tamisés à sec sur une batterie de vingt-six tamis de 16 mm à 50 μm et conservés dans des tubes plastiques hermétiques.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Présentation des résultats

Les résultats du fractionnement sont présentés par la distribution dimensionnelle des agrégats, soit sous forme d'histogramme de poids des agrégats par classe de taille (fig. IV.2a), soit sous forme de courbe de poids cumulée (fig. IV.2b) pour 100g de sol sec.

Les mailles des tamis utilisés sont rangées selon une suite géométrique (de raison $10\sqrt[10]{10}$), l'axe des abscisses représente, en fait, la taille des agrégats en données logarithmiques.

Chaque fractionnement a fait l'objet de trois répétitions. La variabilité est donnée par l'écart-type du poids moyen des agrégats par classe de taille.

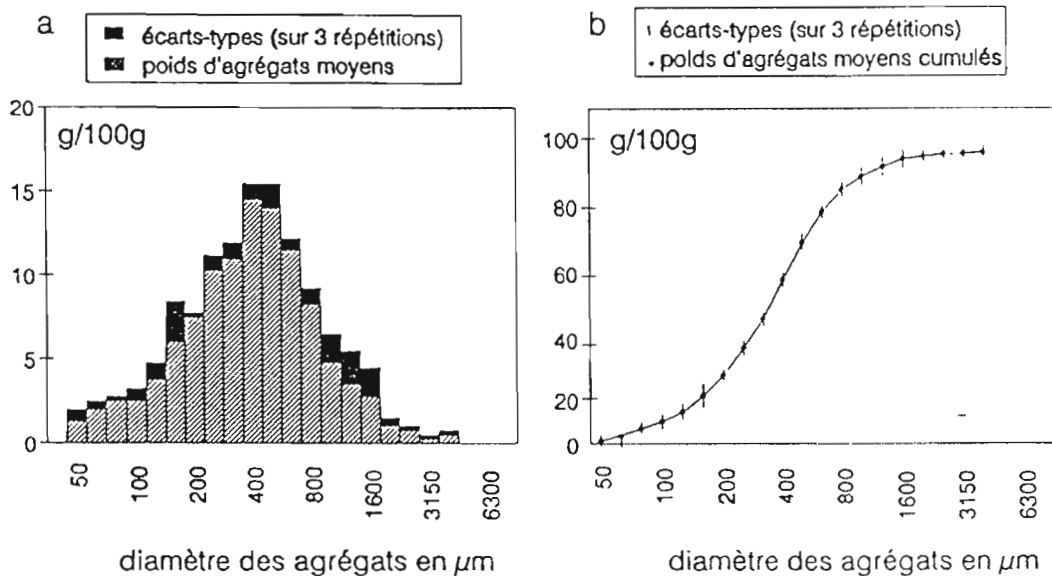


Figure IV.2 :

Mode de présentation des distributions dimensionnelles d'agrégats issus du fractionnement (3 répétitions) :

- histogramme des poids moyens d'agrégats pour 100g de sol sec (a) ;
- courbe des poids moyens cumulés d'agrégats pour 100g de sol sec (b).

3.2 Etude des modalités de l'humectation et de tamisage

L'analyse des distributions dimensionnelles d'agrégats, complétée par une appréciation visuelle du fractionnement et du séchage des agrégats, nous permet d'apprécier l'influence du mode d'humectation des échantillons de sol sur le produit du fractionnement.

3.2.1 Etude des modalités de l'humectation

Quatre modalités ont été testées sur trois types de sols différents : alluvial hydromorphe, vertique et ferrallitique (fig. IV.3) :

- imbibition lente sous vide contrôlé ;
- imbibition rapide sous vide contrôlé ;
- imbibition lente à la pression atmosphérique ;
- imbibition rapide à la pression atmosphérique.

Les échantillons testés ont été mis dans un état hydrique donné ($pF=3$), avant de subir une imbibition par capillarité, puis une submersion par du méthanol.

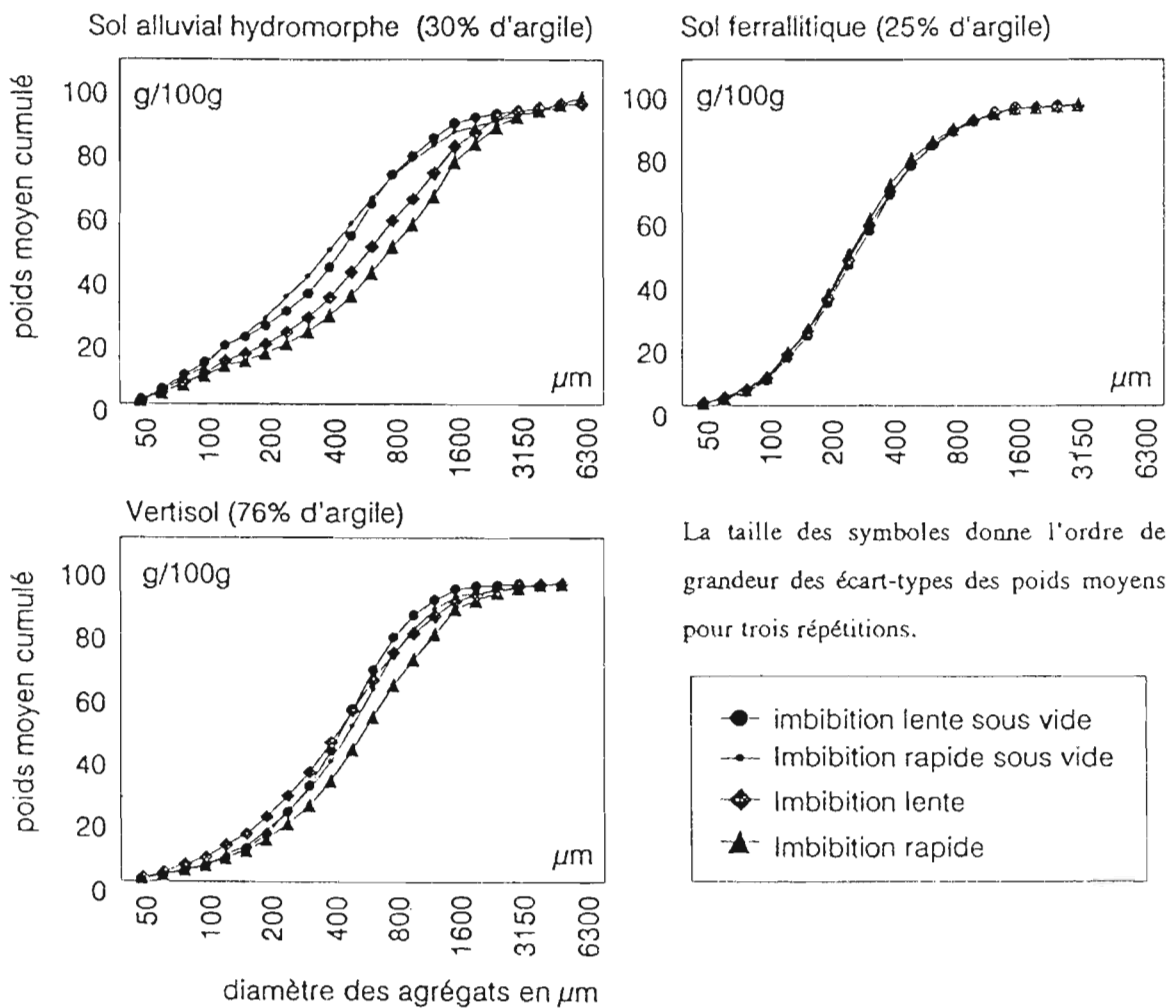


Figure IV.3 :

Influence du mode d'humectation des échantillons de sols sur la distribution du poids moyen d'agrégats par classe de taille.

Sur la figure IV.3, on constate que les mécanismes de désagrégation par éclatement (provoqué par la compression de l'air piégé dans le matériau de sol, dispersion des argiles) sont plus importants pour les sols argilo-limoneux à faible stabilité structurale, plus faibles pour les sols vertiques non sodiques et négligeables pour les sols ferrallitiques.

Pour ces échantillons une imbibition trop brutale, ou à l'air libre, provoque la désagrégation des agrégats et la dispersion des colloïdes. Lors du séchage, la formation d'une croûte par coalescence des agrégats explique l'abondance des "agrégats" de grande taille. Ces mécanismes de désagrégation puis de réagrégation des agrégats s'expriment également par une plus grande variabilité des résultats sur 3 répétitions.

En résumé, on retiendra que pour l'ensemble des sols testés, c'est l'imbibition, sous vide et lente qui semble la plus appropriée.

3.2.2 Etude de l'influence du liquide d'humectation

A titre de comparaison, nous avons également effectué des fractionnements suivant le même protocole, mais en utilisant, cette fois-ci, de l'eau et de l'acétone comme liquide d'imbibition. La figure IV.4 montre les distributions dimensionnelles des agrégats obtenus avec un échantillon de vertisol non salé :

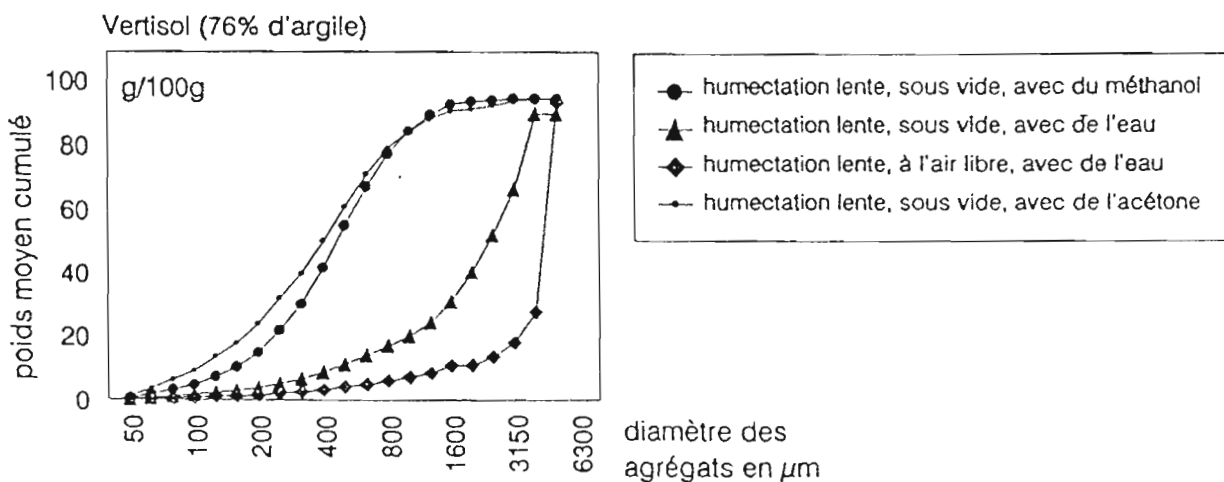


Figure IV.4 :

Influence du liquide d'imbibition sur la distribution du poids moyen d'agrégats par classe de taille (pour 3 répétitions).

L'imbibition puis la submersion par l'eau, même lente et sous vide, provoque toujours la dispersion des argiles et, lors du séchage, la formation d'une croûte par coalescence des agrégats. La variabilité des résultats pour trois répétitions est plus élevée que pour le méthanol et les agrégats obtenus correspondent essentiellement à des assemblages hétérogènes d'agrégats et de colloïdes argileux.

Les distributions dimensionnelles des agrégats issus d'un fractionnement à l'acétone et au méthanol diffèrent légèrement. BRINDLEY et al. (1969) montrent que l'acétone peut provoquer une expansion des espaces interfoliaires dans le cas de smectites, contrairement au méthanol. Cette propriété pourrait expliquer le pourcentage plus élevé des petits agrégats dans le cas de l'utilisation d'acétone, qui serait dû à la rupture des particules argileuses.

En résumé, le méthanol permet de fractionner l'échantillon de sol, puis lors de son évaporation, de l'assécher rapidement et complètement sans formation de croûte, contrairement à l'eau.

3.2.3 Etude de l'influence de la durée de tamisage

L'échange eau-méthanol s'accompagne toujours d'un petit retrait favorisant l'affermissement des agrégats (GREENE-KELLY, 1973 ; BRAUDEAU, 1982). Cet affermissement, loin d'être un handicap, permet la stabilisation de la structure des agrégats et ainsi toutes les manipulations nécessaires pour accéder à l'étude des agrégats.

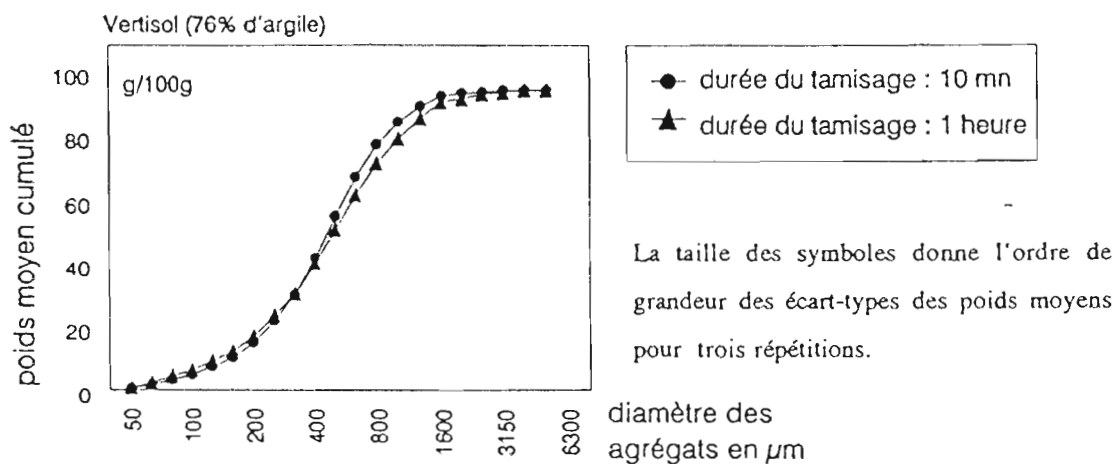


Figure IV.5 :

Influence de la durée du tamisage sur la distribution du poids moyen d'agrégats par classe de taille.

Le tamisage à sec ne provoque pas de désagrégation des agrégats traités au méthanol ; seul un émoussage négligeable peut être constaté, sous loupe binoculaire, sur certains agrégats.

Une durée de tamisage de 10 minutes environ, par série de tamis, est préconisée pour séparer les agrégats par classe de taille. La prolongation de la durée du tamisage jusqu'à 1 heure ne provoque qu'une désagrégation superficielle, quasi-négligeable en regard de la variabilité entre trois répétitions (fig. IV.5).

Le tamisage sous l'eau est le point faible des techniques traditionnelles de fractionnement par l'eau, car les agrégats humides sont plastiques et peu cohérents, et leur morphologie s'altère au cours de cette opération. Par contre le tamisage à sec ne semble pas provoquer de dégradation des agrégats traités au méthanol.

3.3 Choix de l'état hydrique initial des échantillons de sol

De nombreux auteurs ont montré l'influence de l'état hydrique initial des échantillons de sols dans les processus de désagrégation à l'eau (CERNUDA et al., 1954 ; PANABOKKE et QUIRK, 1957 ; COUSEN et FARRER, 1984 ; LE BISSONNAIS, 1988 ; MBAGWU et BAZZOVI, 1988 ; KAY et DEXTER, 1990). Par contre, la prise en compte de l'état hydrique des échantillons de sol a été, la plupart du temps, négligée par les auteurs s'intéressant au fractionnement en agrégats.

3.3.1 Etude expérimentale

Des essais de fractionnement à différents états hydriques ont été pratiqués afin de déterminer l'état hydrique optimum pour fractionner les échantillons de sols en agrégats : $pF=1$, $pF=2$, $pF=3$, $pF=4,2$, échantillon sec à l'air et séché à 105°C dans une étuve.

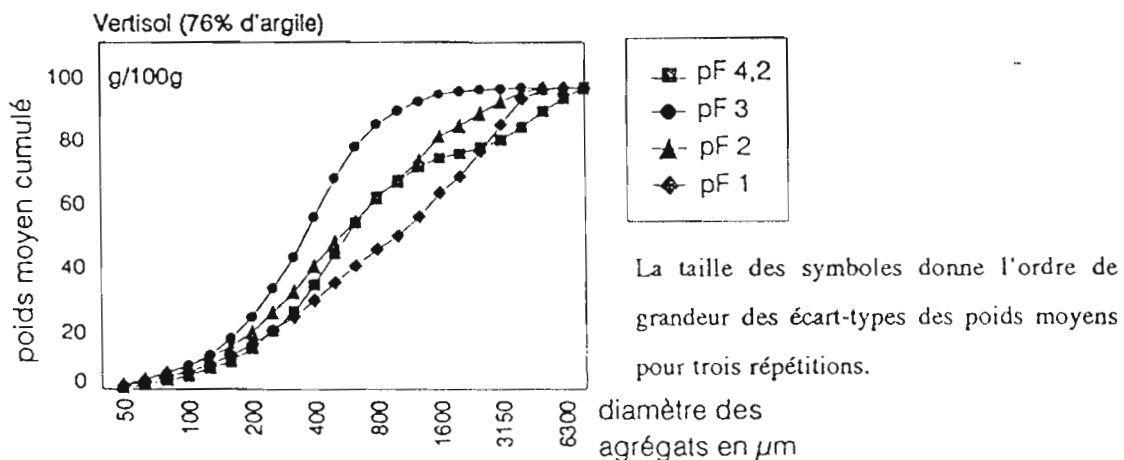


Figure IV.6 :

Influence de l'état hydrique initial des échantillons de sol sur la distribution du poids moyen d'agrégats par classe de taille. (échantillon A1, horizon supérieur).

La figure IV.6 montre les courbes de poids moyens cumulés d'agrégats d'un sol vertique non salé, fractionné à différents états hydriques. Les histogrammes de poids moyens d'agrégats par classe de taille de deux grands types de sols (vertisol non salé et sol ferrallitique) sont présentés aux pages suivantes sur les figures IV.7 et IV.8. D'autres exemples sont donnés dans l'annexe IV.2.

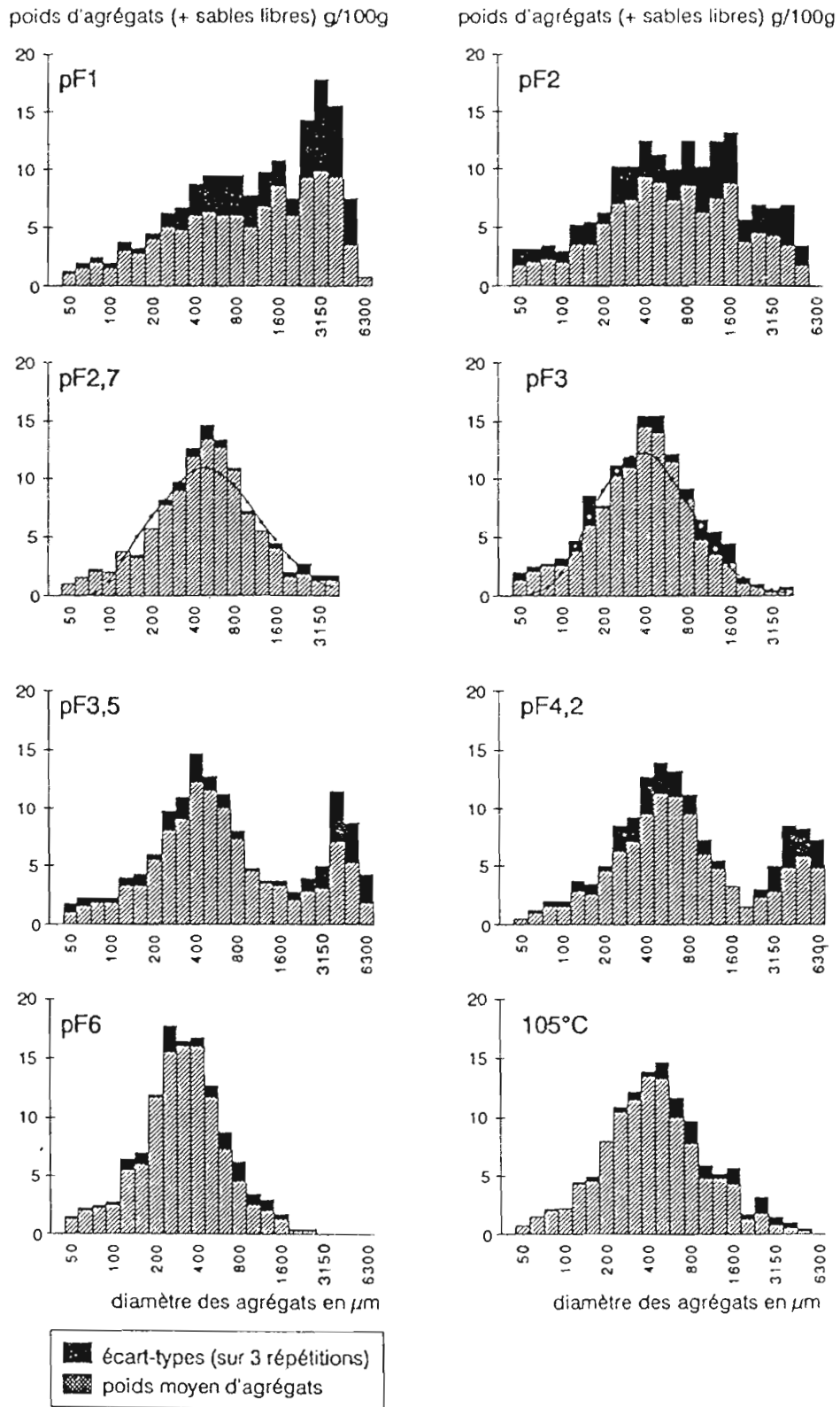


Figure IV.7 :
Influence de l'état hydrique initial d'un échantillon de vertisol sur la distribution du poids moyen d'agrégats par classe de taille.
Vertisol non salé (A1) : horizon supérieur (0-35 cm) (76% d'argile)

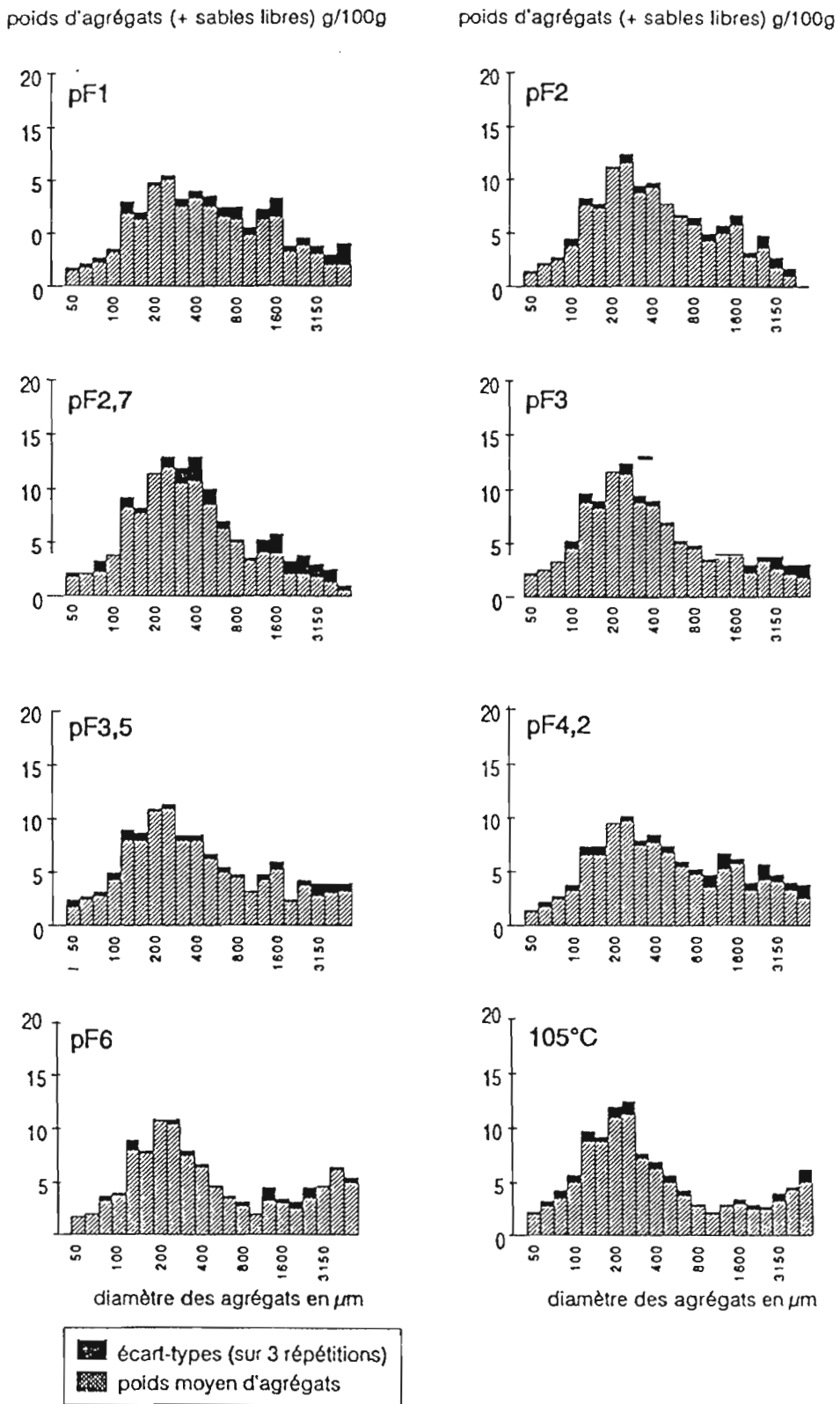


Figure IV.8 :
 Influence de l'état hydrique initial d'un échantillon de sol ferrallitique sur la distribution du poids moyen d'agrégats par classe de taille.
 Sol ferrallitique rouge "amont" : horizon B2 (25% d'argile)

en eau à $pF=3$. Nous constatons également pour l'ensemble de nos échantillons (fig. IV.11) une relation statistique linéaire (de pente 1 et passant par l'origine) entre la teneur en eau à ce point et celle à $pF=3$.

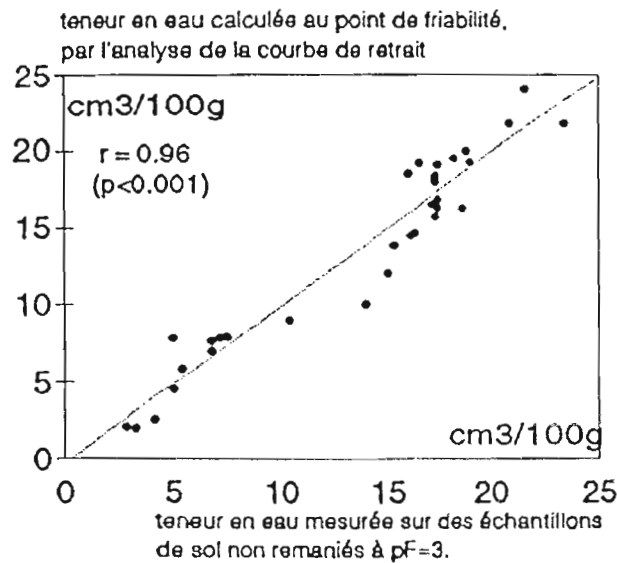


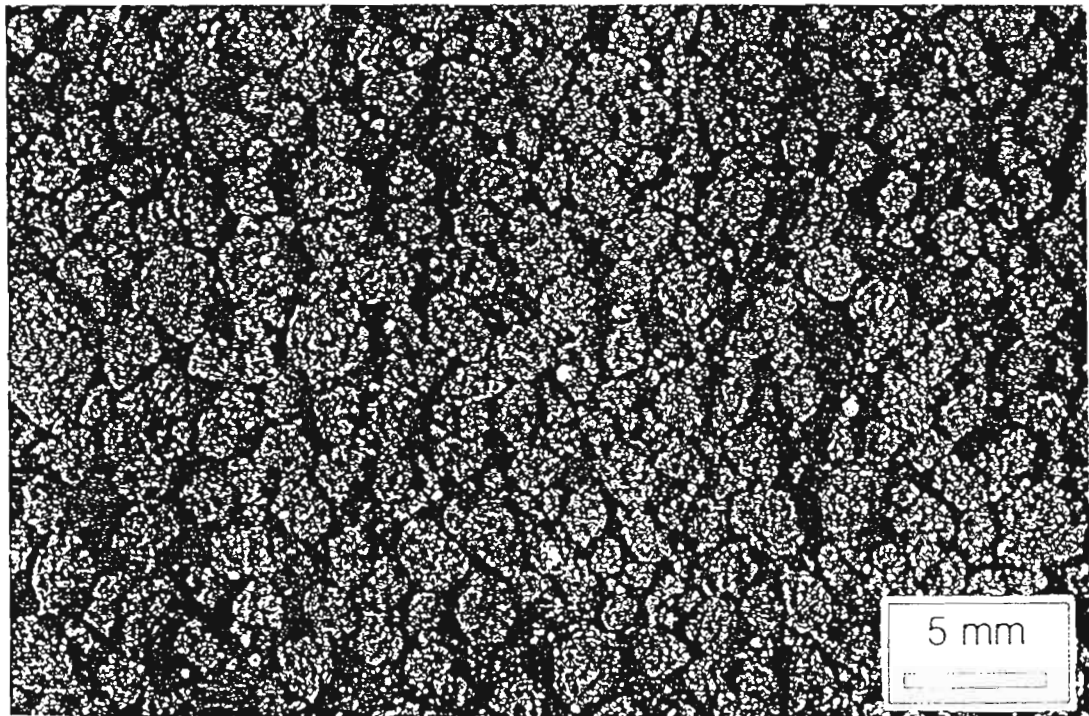
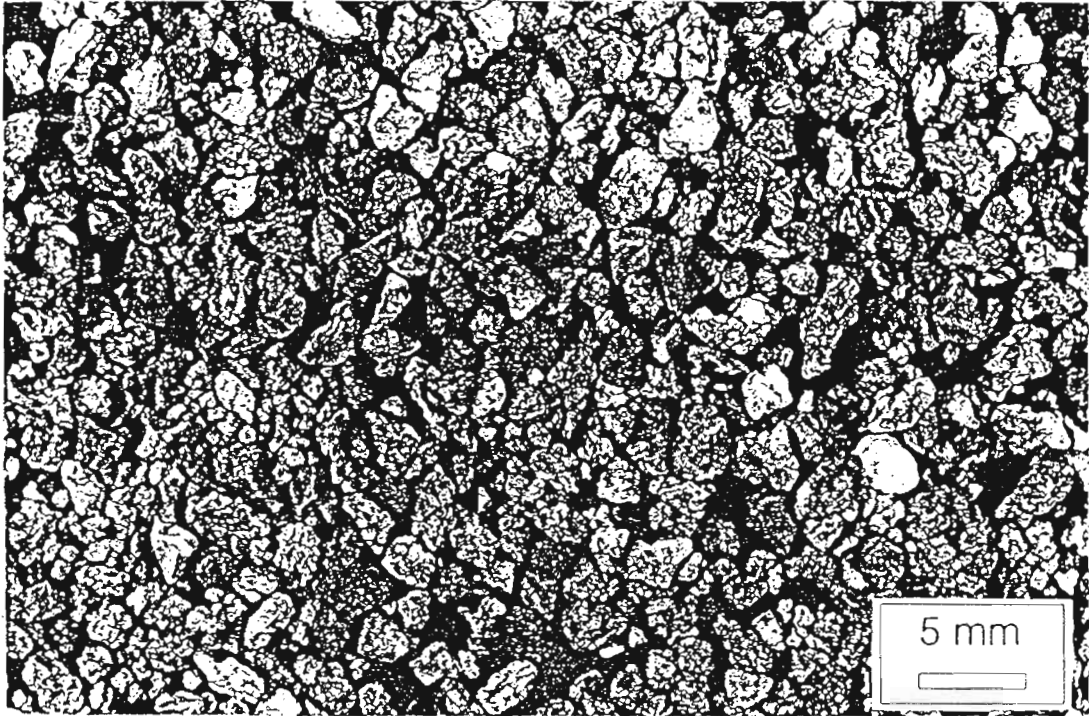
Figure IV.11 :

Relation entre teneur en eau mesurée sur des échantillons non remaniés à $pF=3$, et teneur en eau calculée, au point de friabilité, par l'analyse de la courbe de retrait de cet échantillon non remanié.

Ce point de friabilité est défini par BRAUDEAU (1988) comme étant le point exact où l'eau entourant les agrégats a complètement disparu. Il correspond bien à l'état hydrique préconisé pour fractionner un échantillon de sol en ses agrégats constitutifs.

En résumé, de nombreux auteurs, utilisant des techniques très différentes, s'accordent sur le fait que le sol possède des propriétés physiques particulières dans une gamme de pF proche de 3. La meilleure fragmentation d'un échantillon de sol serait obtenue au maximum de fissuration, ou d'anisotropie, de cet échantillon, c'est-à-dire au maximum d'individualisation des agrégats. C'est donc la gamme de pF de 2,7 à 3 qui semble la plus appropriée pour fractionner un échantillon de sol en éléments structuraux naturels du sol.

Nous avons proposé un protocole de fractionnement en agrégats, qui a pour objectif de séparer les éléments structuraux naturels du sol. Il est important de vérifier si les agrégats issus du fractionnement correspondent bien à des éléments structuraux naturels, préexistants dans le sol. Pour cela les agrégats issus du fractionnement seront comparés à ceux observés dans une lame mince de l'échantillon "mère" non remanié, imprégné par de la résine, à $pF=3$.



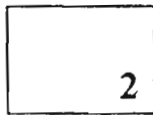
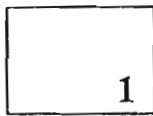


Planche photographique V :
AGREGATS ISSUS DU FRACTIONNEMENT
(photos en lumière naturelle)

Photo 1 : macro-agrégats d'un vertisol

Photo 2 : macro-agrégats d'un sol ferrallitique rouge "amont" (horizon B2)

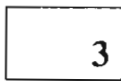
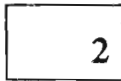
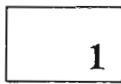


Planche photographique VI :
AGREGATS D'UN SOL FERRALLITIQUE
(rouge "amont"-horizon B2)

observés en lumière transmise sous microscope optique polarisant

Photo 1 : microorganisation d'un échantillon non remanié

Photo 2 : détail de la microorganisation d'un échantillon non remanié :
macro-agrégats, micro-agrégats (agrégats élémentaires),
et squelette (quartz)

Photo 3 : macro-agrégats issus du fractionnement

Photo 4 : micro-agrégats (ou agrégats élémentaires) issus du fractionnement

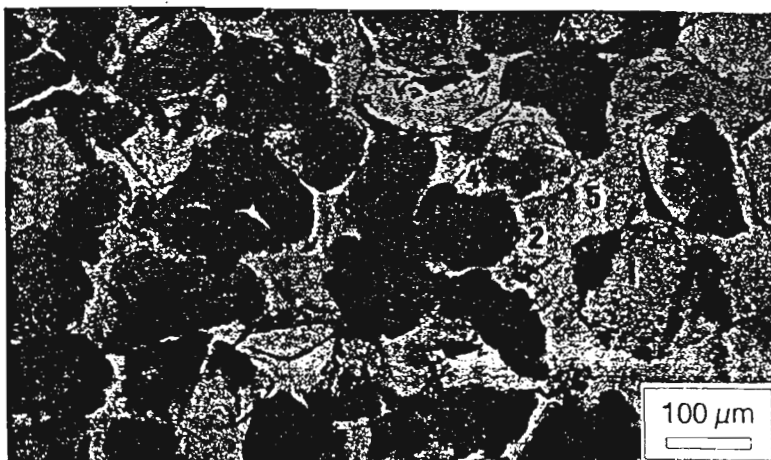
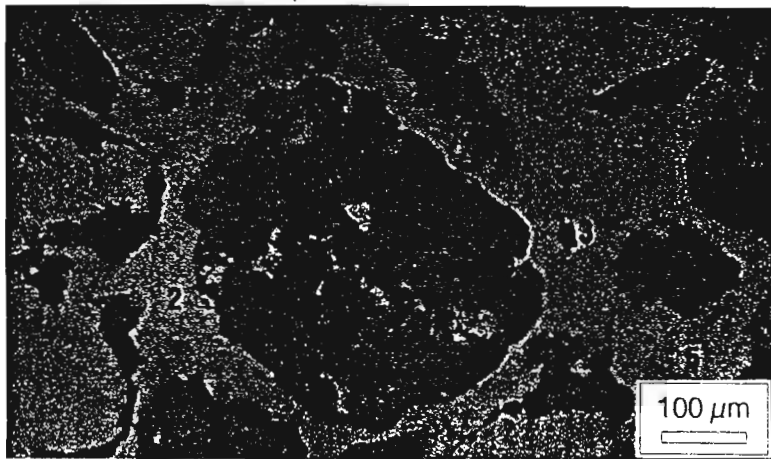
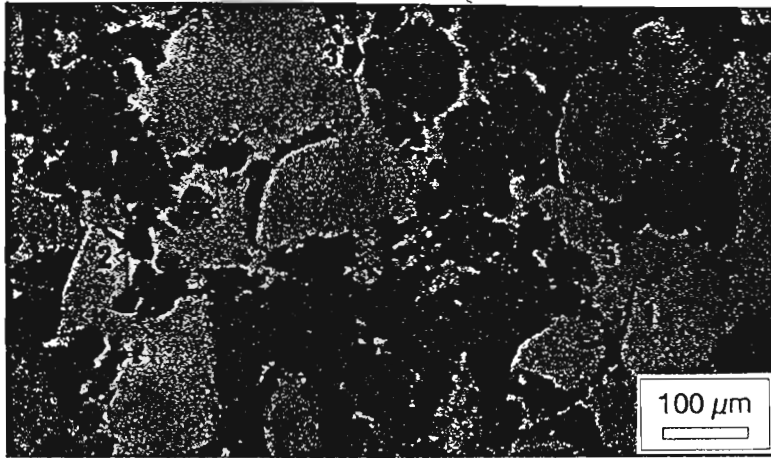
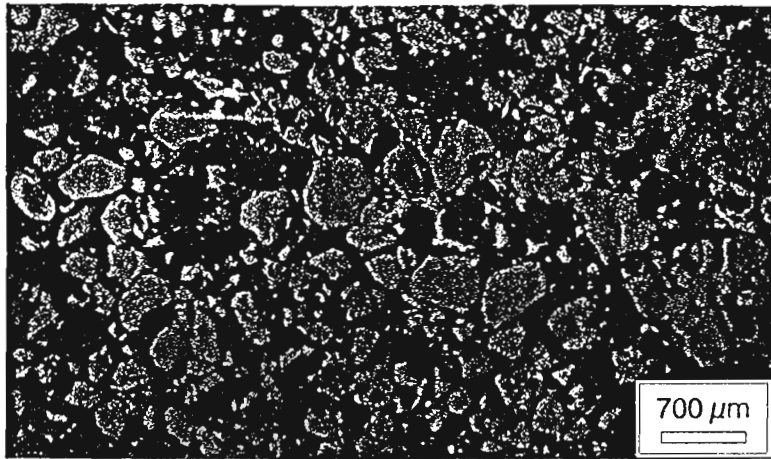
1 : quartz

2 : micro-agrégat

3 : macro-agrégat

4 : cutane

5 : vide



3.4 Observation micromorphologique des agrégats

La caractérisation des différents niveaux d'organisation des échantillons analysés sera présentée plus en détail, dans le chapitre V pour les sols ferrallitiques et ferrugineux, et dans le chapitre VII pour les vertisols. Dans ce paragraphe, nous présenterons uniquement quelques points caractéristiques de la morphologie des agrégats.

Les planches photographiques I V et V montrent les agrégats issus du fractionnement d'échantillons de sols (ferrallitiques et vertiques) avant tamisage (planche IV : photo 4) et après tamisage (planche V).

On remarque que les agrégats sont cohérents, propres et, dans l'ensemble, de forme sub-arrondie pour les sols ferrallitiques, et sub-angulaire pour les vertisols. Ils ne semblent pas présenter des traces de dégradation ou d'érosion particulières.

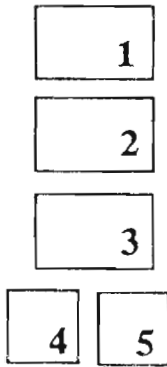
Les planches photographiques VI (sols ferrallitiques) et VII (vertisols) présentent les agrégats issus du fractionnement vus, cette fois-ci, en coupe, et les agrégats observés sur les échantillons non remaniés correspondants. On distingue, pour les sols ferrallitiques, des agrégats élémentaires formés uniquement par l'assemblage des particules primaires les plus fines (de taille $< 250 \mu\text{m}$) (planche VI : photo 4) et des agrégats secondaires formés par l'assemblage d'agrégats élémentaires, de limons grossiers et de sables ($> 250 \mu\text{m}$) (planche VI : photo 3).

Ce fait est moins net pour les agrégats des vertisols, en raison de la faible proportion de sables et limons grossiers dans ces sols.

Les agrégats issus du fractionnement et les agrégats non remaniés présentent des similitudes morphologiques frappantes : en dehors des critères de taille et de forme, c'est l'existence de traits pédologiques caractéristiques, soulignant l'individualité des agrégats, qui atteste de la validité du protocole de fractionnement. En effet d'après BREWER (1960) les agrégats de sol peuvent être identifiés par la présence de cutanes, c'est-à-dire par l'existence d'une modification de la texture ou d'une différenciation plasmique entre les agrégats.

Les agrégats semblent avoir été séparés les uns des autres selon des surfaces structurales reconnaissables sur les lames minces d'échantillons de sol indurés à $\text{pF}=3$ par la présence de cutanes. Ces cutanes sont très nettes dans les sols ferrallitiques étudiés et correspondent à de fins liserés biréfringents micrométriques, enveloppant l'ensemble des microagrégats de sol (planche VI : photo 4).

Pour les sols vertiques, les cutanes sont différentes : il s'agit de cutanes de "contraintes mécaniques", de "stress-cutanes" selon la définition de BREWER (1960). Elles sont révélées par des motifs de biréfringence striés plus accentués à la périphérie des agrégats. Cependant, il est



**Planche photographique VII :
AGREGATS DE VERTISOLS**

observés en lumière transmise sous microscope optique polarisant

Photo 1 : microorganisation d'un échantillon non remanié (horizon profond)

**Photo 2 : détail de la microorganisation d'un échantillon non remanié
(horizon supérieur)**

Photo 3 : macro-agrégats issus du fractionnement (horizon profond)

**Photo 4 : micro-agrégats (ou agrégats élémentaires) issus du fractionnement
(horizon profond)**

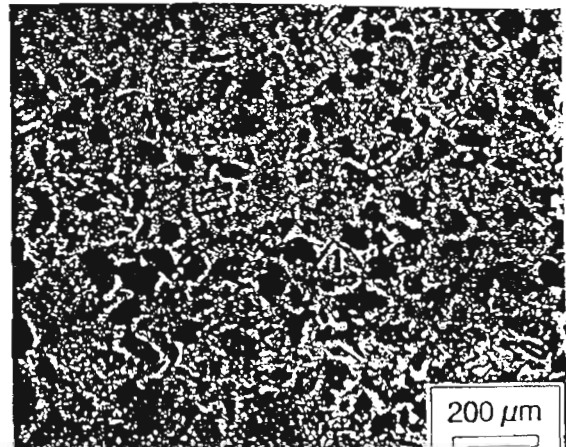
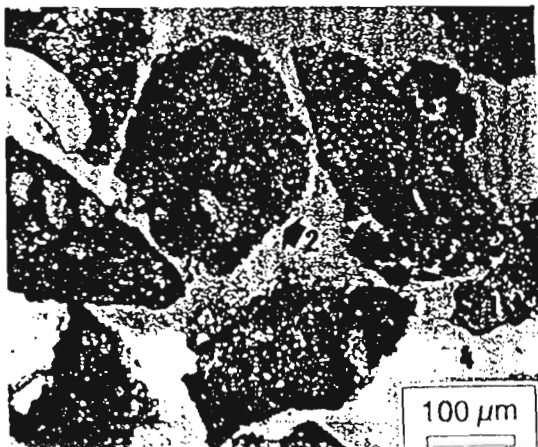
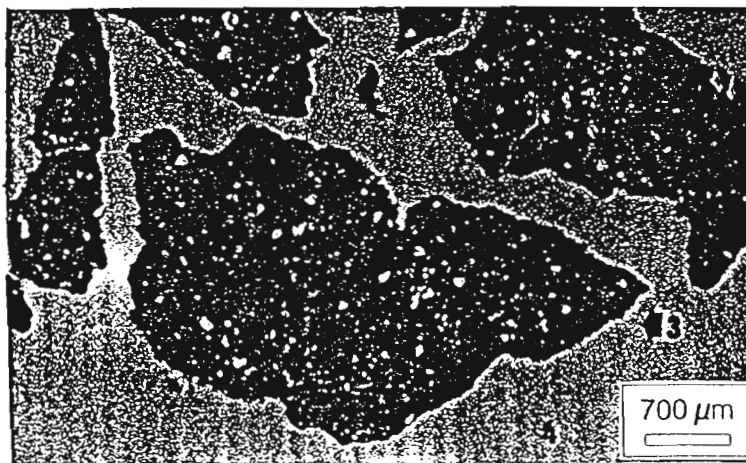
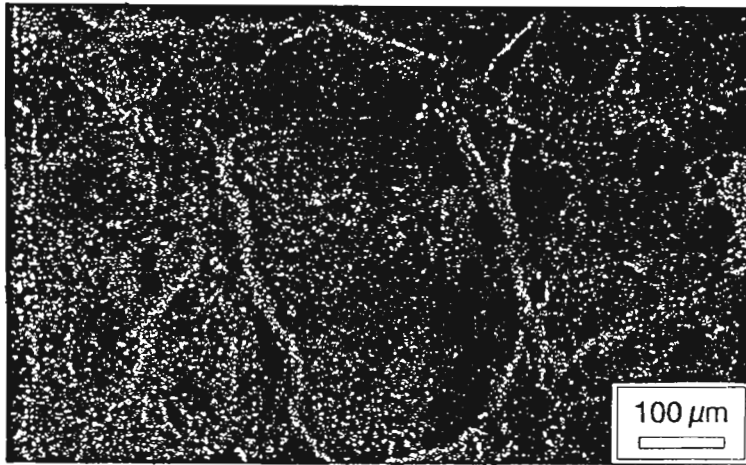
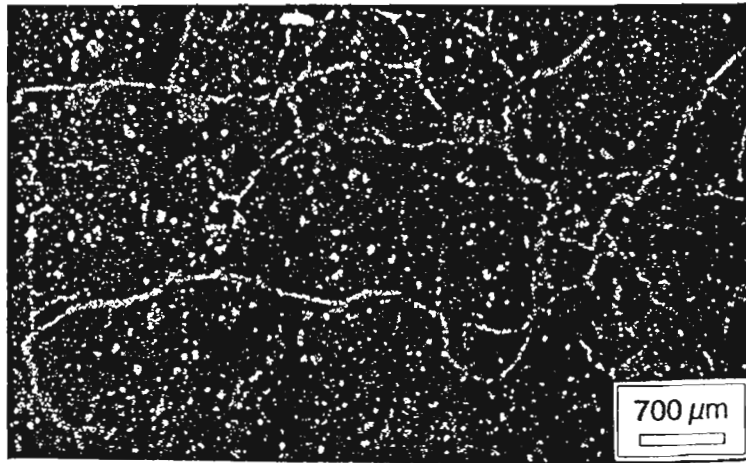
Photo 5 : micro-agrégats et limons grossiers/sables libres issus du fractionnement

1 : quartz

2 : micro-agrégat

3 : macro-agrégat

4 : vide



à souligner que ces traits pédologiques s'observent également à l'intérieur des agrégats, témoignant ainsi de la faible individualité des agrégats et de la constante homogénéisation de ces sols (planche XI : photos 3 et 4). Sous la loupe binoculaire, les faces des agrégats de vertisols sont franches, souvent conchoïdales et lisses, correspondant à des faces de micro-glissement (planche V : photo 1).

En résumé pour l'ensemble des sols testés, un potentiel hydrique voisin de $pF=2,7 - pF=3$ semble le plus propice au fractionnement complet et reproductible de l'échantillon en agrégats. La reproductibilité des résultats du fractionnement et la comparaison de la morphologie des agrégats issus du fractionnement avec les agrégats observés dans les échantillons non remaniés de sol permettent de supposer que le fractionnement a isolé des agrégats naturels du sol, constitutifs d'un ou de plusieurs niveaux d'organisation structurale du sol.

3.5 Séparation des sables libres

Les classes d'agrégats obtenues après fractionnement et tamisage contiennent des agrégats vrais (stricto sensu) et des sables libres, c'est-à-dire des sables non inclus dans les agrégats. C'est surtout le cas pour les sols ferrallitiques et ferrugineux qui sont peu argileux, et où les sables non agrégés et nus se trouvent en quantité importante parmi les agrégats. Dans ce cas, afin d'étudier et caractériser la distribution dimensionnelle des agrégats seuls, il est nécessaire de pouvoir la distinguer de celle des sables libres.

3.5.1 Estimation des sables libres

La distribution des sables libres peut être appréciée par un comptage sous loupe binoculaire. D'un point de vue pratique et même conceptuel, il faut noter que la séparation entre agrégats et sables libres n'est pas chose aisée dans les sols sableux ferrugineux. En effet de nombreux quartz présentent des incrustations et imprégnations de plasma argileux, d'oxydes et oxy-hydroxydes de fer. La séparation de ces sables sous loupe binoculaire est alors délicate notamment dans la gamme de taille inférieure à $200 \mu m$.

L'observation à la loupe binoculaire détermine un pourcentage en nombre des sables libres (ni) par rapport au nombre des grains dans chaque classe granulométrique. Ce pourcentage est ensuite transformé en masse de sables libres (pi) pour 100 grammes de sol sec par la formule suivante :

$$(pi) = [(ni) \cdot ds / ((100 - ni) \cdot dag + ni \cdot ds)] \cdot mi$$

où dag représente le volume massique des agrégats, ds le volume massique des sables, et mi la masse d'agrégats et sables libres pour 100 g de sol sec.

Conclusions de la deuxième partie :

Nous avons proposé un protocole de fractionnement du sol, qui a pour objectif de séparer les éléments structuraux naturels du sol, et de les conserver en vue de l'étude de leur morphologie, constitution et comportement.

S'inspirant de quelques méthodes de fractionnement basées sur l'intervention d'un solvant organique et notamment de celle proposée par BRAUDEAU en 1982, nous avons recherché les conditions opératoires les plus appropriées, principalement la teneur en eau initiale des échantillons, pour que le fractionnement soit plus une individualisation et une séparation d'agrégats préexistants qu'une fragmentation arbitraire qui ne tiendrait compte ni de l'assemblage, ni de l'état hydrique de l'échantillon.

La méthode mise au point consiste à immerger lentement l'échantillon de sol dans le méthanol. Il semblerait que le méthanol qui est entièrement miscible à l'eau, occupe la macroporosité grâce à son fort pouvoir de diffusion, supprime les forces de capillarité et par échange d'eau avec la microporosité intra-agrégat, en provoque le retrait, ce qui favorise le fractionnement en agrégats.

Pour l'ensemble des sols testés, un potentiel hydrique compris entre $pF=2,7$ et $pF=3$ semble le plus propice à une fragmentation complète et reproductible de l'échantillon en agrégats. Cette reproductibilité et la confrontation entre la morphologie des agrégats issus du fractionnement et ceux observés sur lame mince d'échantillons non remaniés et humides correspondants, permet de supposer que la fragmentation a isolé les agrégats constitutifs naturels élémentaires.

L'estimation des sables libres (sables non inclus dans les agrégats) permet de calculer la distribution des agrégats stricto sensu. Ces distributions sont présentées, soit sous forme d'histogramme de poids moyens d'agrégats, soit sous forme de courbe de poids moyen cumulé d'agrégats, pour 100g de sol sec et pour trois répétitions. Les distributions dimensionnelles d'agrégats sont caractérisées par leurs moyenne et écart-type. L'ajustement des distributions à une loi log-normale facilite la comparaison des courbes entre elles.

Pour mieux juger de la validité de la technique de fractionnement, il conviendrait de confronter le produit du fractionnement avec les caractéristiques physiques des échantillons non remaniés correspondants. C'est cette confrontation entre une approche morphologique et une approche physique que nous proposons d'appliquer, dans la suite de ce travail.

COMPLEMENTS METHODOLOGIQUES CONCERNANT LE FRACTIONNEMENT EN UNITES ELEMENTAIRES D'UN ECHANTILLON DE SOL NON PERTURBE

par Bernard DENIS¹

- Introduction - Motivations -

Plusieurs chercheurs de l'ORSTOM, ou d'autres organismes français ou étrangers¹, se sont intéressés et (ou) s'intéressent de près à la composition d'un échantillon de sol non perturbé en unités élémentaires "naturelles" et "fonctionnelles"²

En effet il apparaît de plus en plus indispensable de se rapprocher, lors des études en laboratoire ou en conditions contrôlées (sous serre, en phytotron, ...etc...), des conditions de terrain. Cela apparaît indispensable notamment pour suivre, après la mise en culture d'un sol, les modifications subies par ce sol tant sur le plan physique (et notamment structural), que chimique et biologique.

La première étape incontournable est celle qui consiste à réaliser la séparation d'un échantillon de sol en unités élémentaires "naturelles" constitutives de l'échantillon. Actuellement c'est la préoccupation de plusieurs chercheurs de l'ORSTOM; ces derniers ont obtenu un certain nombre de résultats intéressants. Mais il nous a semblé utile de préciser certains points à peine abordés afin d'aboutir à la rédaction d'un protocole de fractionnement bien argumenté.

Nous sommes donc partis de trois études méthodologiques et en avons mis en évidence les éléments originaux de chacune. Cela nous a amené à établir une "base" à partir de laquelle nous avons pu démarrer notre propre expérimentation au laboratoire.

Cette dernière a pour but de tester l'influence d'un certain nombre de paramètres qui peuvent jouer un rôle non négligeable - et souvent parasite - lors de la séparation des unités structurales d'un échantillon non perturbé. Cette étude n'a pas pour ambition d'être exhaustive mais d'apporter des éléments pour aboutir à une méthodologie aussi reproductible que possible. Dans la conclusion nous ferons part des tests qui restent encore à faire pour compléter les résultats ainsi acquis.

Cela nous a amené à utiliser le plan suivant :

- * Rappel de quelques conditions expérimentales actuellement utilisées.
- * Méthodologies envisagées
- * Tests préliminaires avant expérimentation
- * Traitements réalisés - Graphiques des résultats -
- * Conclusions actuelles - Etudes complémentaires à réaliser -

¹ Une bibliographie aussi exhaustive que possible est en cours sur ce sujet (fractionnement ménagé des éléments structuraux élémentaires) en utilisant les documentations PASCAL, CAB et CURENT CONTENT. Les articles et rapports obtenus jusqu'alors et directement liés au seul fractionnement sont relativement peu nombreux. Ils laissent entrevoir généralement un type d'approche assez proche. Nous en ferons état et nous tiendrons compte des conclusions fournies lors de la rédaction du protocole.

² Nous entendons par unités élémentaires "naturelles" les éléments constitutifs de la structure qui auront pu être séparés les uns des autres sans qu'il y ait eu utilisation de techniques destructrices telles que le broyage, le tamisage avec exercice de pression, ...etc.... En ce qui concerne le terme de fonctionnelles nous renvoyons d'une part aux études de Eric BRAUDEAU d'autre part à la thèse de Hervé COLLEUILLE.

* BRAUDEAU E. - 1988 - Méthode de caractérisation pédohydrauliques des sols basé sur l'analyse de la courbe de retrait - Cahiers ORSTOM, série pédologie, Vol. XXIV N° 3 - pp 179/189 -

* BRAUDEAU E. - 1987 - Mesure automatique de la rétraction d'échantillon de sols non remaniés - Science du Sol - 25/2 - PP 85/93 -

* COLLEUILLE H. - 1993 - Approche physique et morphologique de la dynamique structurale des sols - Application à l'étude de deux séquences pédologiques tropicales - Thèse soutenue le 10/12/93 à Paris VI -

1) Rappel de quelques conditions expérimentales actuellement utilisées -

11) Methode Eric BRAUDEAU³

Ce chercheur prélève les échantillons de sol dans des cylindres de 50 mm de diamètre et de 30 mm de hauteur. L'humidité du sol est soit proche de la capacité au champ soit suffisamment humide pour permettre un prélèvement par enfoncement sans bouleverser la structure. Il faut noter qu'il humidifie le sol si ce dernier est trop sec, pour faciliter le prélèvement.

Au laboratoire, les échantillons de sol sont soumis à une humectation brutale pour les saturer en eau. Ils sont alors séchés sous épiradiateur (infra rouge) en même temps que l'on pulvérise du méthanol sous hotte sur cet échantillon. Le but est de permettre une séparation "naturelle" des agrégats et en même temps un "durcissement" de ces derniers afin de les récupérer intacts à l'issue du tamisage. Ce dernier est effectué sur une colonne de tamis dont les ouvertures sont logarithmiquement croissante (de 50 microns à 4 ou 5 mm).

12) Methode Hervé COLLEUILLE⁴

Les échantillons sont prélevés à une humidité connue qui est voisine de la capacité au champ.

La saturation en eau est réalisée à l'air libre dans des conditions "douces" en les plaçant sur une céramique utilisée dans les presses à membrane c'est à dire avec un contact très réduit avec le plan d'eau et, de toutes façons, par remontée capillaire. D'autres essais ont montré que cette méthode "douce" était celle permettant d'avoir le plus de reproductibilité dans les courbes de répartition des agrégats.

L'humidité de l'échantillon est ramenée à celle correspondant au pF 3,0 du sol concerné grâce au passage dans une presse à membrane. Ce choix a été déterminé à la suite de l'examen de nombreux histogrammes de répartition des agrégats d'échantillons dont les humidités, au moment du "durcissement" par le méthanol, variaient de celle à pF 1,8 jusqu'à celle à pF 4,2. Les deux seules humidités permettant d'obtenir des courbes ayant des allures de courbes de Gauss étaient celles des pF 2,7 et 3,0. C'est cette dernière qui a été retenue car elles correspondaient à un point précis et représentatif de la courbe enregistrée lors des mesures de retractométrie.⁵

L'échange "Eau-Méthanol" s'effectue sous vide par goutte à goutte (dans un dessiccateur à double entrée). Puis le séchage est réalisé sous infra rouge. L'échantillon est ensuite tamisé sur colonne de tamis identique à celle de la technique précédente. Un test a permis de montrer que, si la durée de tamisage était comprise entre 15 et 60 minutes, il n'y avait pas de variation dans l'allure de l'histogramme.

13) Methode Philippe DE BLIC⁶

Ce chercheur travaille sur des mottes de terre gardées intactes après le prélèvement sur le terrain. Leur humidité de départ peut être variable.

Il a testé plusieurs méthodes de saturation par l'eau. Il a, entre autres, constaté que l'immersion brutale de l'échantillon était à proscrire; les histogrammes obtenus sont loin d'être semblables d'un essai à l'autre avec le même sol. Les mottes sont aussi saturées par remontée capillaire sans qu'il y ait contact avec la lame d'eau (utilisation d'éponges sur lesquelles les échantillons sont posés; l'eau arrive à mi hauteur de ces éponges) à l'air et sous vide.

³ Pour de plus amples renseignements nous renvoyons aux articles et rapports cités en 1 et à un rapport interne ORSTOM publié au Centre ORSTOM de DAKAR, en 1982. Ce dernier traitait de la méthodologie alors mise au point et notamment du choix du méthanol pour "durcir" les échantillons avant tamisage.

⁴ Pour de plus amples informations, nous renvoyons à sa communication faite à ce même atelier et à sa thèse (Cf 1 ci-dessus)

⁵ Pour plus de renseignements se reporter aux articles et rapports de Eric BRAUDEAU cités en 1.

⁶ Pour plus de renseignements se reporter à son article écrit avec J. FARDOUX, chimiste au Laboratoire du Comportement des Sols Cultivés de Montpellier. " Recherche d'une méthode de dissociation des agrégats constituant la macrostructure du sol " - Cahiers ORSTOM - série Pédologie - Vol. XXVI, N° 3 - 1991 - pp 193/212 -

L'humidité de l'échantillon est systématiquement ramenée à celle correspondant à pF 3,0 grâce à un dessèchement lent dans une étuve à température modérée (environ 40°C).

Il est à noter que ce chercheur a testé à la fois des méthodes de séparation uniquement physiques (chute de 1,2 ou 3 mètres de hauteur) et d'autres utilisant l'échange "Eau-Méthanol". Nous nous intéresserons à ces dernières. L'échange "Eau-Méthanol" se fait dans tous les cas par pulvérisation du méthanol sous hotte au moment où l'échantillon est placé sous épi-radiateur pour séchage rapide.

Le tamisage se réalise comme précédemment.

2) - Méthodologie envisagée -

Nous avons retenu un certain nombre de conclusions déduites des études effectuées par les trois chercheurs précédents. Elles ont servi de base de départ pour nos propres expérimentations au laboratoire. Ce sont les suivantes :

* Prélèvements d'échantillons dans des cylindres de 50 mm de diamètre et de 30 mm de haut. Ce type de cylindre a été retenu pour cette série de manipulations afin de permettre la comparaison des résultats avec ceux obtenus précédemment (BRAUDEAU, COLLEUILLE)

* la saturation se fera d'une façon ménagée, c'est à dire par capillarité (COLLEUILLE, DE BLIC) sans contact avec la lame d'eau c'est à dire sur une éponge non immergée et avec un papier filtre sur sa partie supérieure pour éviter les pertes de sol (méthode DE BLIC). Il n'y aura pas de test avec une immersion brutale dans un becher (utilisée par BRAUDEAU et testée par DE BLIC comme induisant des artefacts).

* on ramènera l'humidité - à l'aide d'une presse à membrane (COLLEUILLE) - à celle correspondant à pF 3,0 (valeur la meilleure comme cela a été démontré par COLLEUILLE et qui correspond à un point caractéristique de la courbe de retractométrie de BRAUDEAU).

* Tamisage, après "consolidation" des agrégats par le méthanol, sur une colonne d'au moins 20 tamis dont les diamètres sont en progression logarithmique. Utilisation d'un agitateur automatique pendant 20 mn (test de COLLEUILLE).

Le but de nos essais méthodologiques est triple :

* réaliser un certain nombre de tests rapides et préliminaires, pour le sol utilisé, comme le temps de saturation en eau (sous vide et à l'air), la durée d'échange "Eau-Méthanol",... etc...

* Comparer les variations induites par l'utilisation

- de 2 modes de saturation en eau (saturation ménagée sous vide et à l'air)

- de 4 modes d'échanges "Eau-Méthanol" (immersion brutale dans un becher; pulvérisation; saturation ménagée sous vide; saturation ménagée à l'air). Pour cela on compare les 8 histogrammes moyens (moyennes calculées à partir de 3 échantillons).

Ceci nous amène à 8 manipulations différentes.

* Mettre en évidence, dans chacun des cas précédents lorsque cela est possible techniquement, l'influence ou non du fait de garder l'échantillon dans le cylindre de prélèvement ou de l'en enlever. (cela n'est pas possible, par exemple, lorsqu'on pulvérise le méthanol sur l'échantillon).

3) - Tests préliminaires avant expérimentation -

Nous ne donnerons que les résultats acquis sans entrer dans le détail des manipulations.

31) Temps d'humectation à l'air libre

Dans un cristalliseur, l'échantillon est posé sur un papier filtre individuel (pesée plus facile) lui-même posé sur une éponge non immergée (l'eau arrive à mi-hauteur de l'éponge).

- *Premier test* : On pèse 3 échantillons après une durée de 2 heures et de 4 heures.

Conclusions : Saturation obtenue en moins de 2 heures (gain de 0,2% en poids si on le laisse 2 heures de plus).

- *Deuxième test* : On pèse 10 échantillons après 5', 10', 20', 30' et 40'.

Conclusions : **pour ce sol, la saturation complète est obtenue après 30'.**

32) Temps d'humectation sous vide.

On met 5 échantillons sur une éponge posée dans un cristalliseur placé lui-même dans un dessiccateur muni de deux robinets. On fait le vide maximum permis par notre pompe c'est à dire qu'on obtient une pression résiduelle de 20 centibars. Par le deuxième robinet on remplit le cristalliseur en eau jusqu'à mi-hauteur de l'éponge. On maintiendra ce niveau d'eau jusqu'à la fin de l'expérience.

On arrête l'humectation après 5', 10', ..., 40' comme dans le deuxième test précédent.

Conclusions : **la saturation est obtenue après 20'**. En effet le poids d'eau n'augmente que de 0.5% après 30 minutes d'humectation.

33) Temps d'échange "Eau-Méthanol" à l'air libre

Cette expérience suit un protocole très semblable au précédent.

Après passage à la presse à membrane durant 60 à 72 heures (pour ce sol, selon l'échantillon), on place du méthanol dans un cristalliseur dans lequel il y a une éponge recouverte d'un papier filtre sur lequel sont placés cinq échantillons. Leur humidité est égale à celle correspondant à pF 3,0. Cet échange s'effectue sous hôte aspirante.

On pèse l'échantillon à intervalle régulier.

Conclusions : **Le poids ne varie plus après 30 minutes d'échange.**

4) - Protocole utilisé - Graphiques des résultats - Discussions -

41) Protocole Expérimental

Les grandes lignes du protocole expérimental, en tenant compte des données acquises précédemment se présentent comme suit :

* prélèvement en cylindre de $d=50$ et $h=30$ mm ;

- * chaque essai se fait avec 3 échantillons ;
- * la saturation en eau se réalise soit sous vide soit à l'air mais toujours d'une façon ménagée et donc sans contact direct avec la lame d'eau ; elle dure 30 minutes.
- * on amène tous les échantillons à une humidité égale à celle du pf3,0 ;
- * on effectue l'échange "Eau-Méthanol" par 4 techniques différentes à comparer, sa durée est de 30 minutes
- * chaque fois que ce sera possible, la même expérience se fera sur des échantillons conservés dans leur cylindre ou démoulés ;
- * le séchage se fait toujours sous infrarouge ;
- * le tamisage se fait pendant 20 minutes à l'aide d'une colonne de 20 tamis montée sur un agitateur électrique. Les diamètres des mailles sont en progression logarithmique de 50 microns à 12,6 mm.

42) - Graphiques des résultats - Interprétations -

Trois ensembles de graphiques, illustrant les résultats acquis au cours de cette étude, nous permettent de répondre aux trois questions posées, à savoir :

- * L'échantillon doit-il être conservé dans son cylindre ou doit-il être démoulé ?
- * Doit-on préférer la saturation en eau sous vide ou à l'air ?
- * Quelles sont les meilleures conditions techniques à utiliser pour l'échange "Eau-Méthanol" ?

Pour répondre à la première question, nous avons établi 5 graphiques (1 à 5) qui représentent les résultats acquis en combinant les deux autres paramètres (saturation en eau sous vide ou à l'air et certaines méthodes d'échange "eau-méthanol").

Les constatations sont les suivantes :

- * peu de variations entre les deux courbes (avec ou sans cylindre) dans chacun des cas de figure, sauf en ce qui concerne le graphe 4.
- * cependant, à l'exception des traitements faisant intervenir un échange "eau-méthanol" sous vide, il y a toujours quelques agrégats résiduels vers 4 ou 5 mm.
- * dans tous les cas, la valeur de la fraction la plus importante est très voisine de 18 % et la majorité des agrégats est comprise entre 0 et 1,25 mm.

Il apparaît donc que les variations entre les deux courbes, dans chacun des cas, soient faibles ; même si l'on peut considérer qu'elles sont un peu plus "marquées" pour les petits agrégats, entre 63 et 160 microns. Il semble donc assez net que le fait de garder l'échantillon dans son cylindre de prélèvement ou de l'en sortir avant de le saturer ne soit pas un facteur important de modification des courbes de répartition des agrégats.

La réponse à la seconde question a une importance sur le plan technique. En effet il est plus facile d'opérer à l'air libre (nombre d'échantillons à traiter plus important, mise en oeuvre de la saturation plus aisée) que sous vide.

Grâce aux histogrammes représentés par les graphes 6 à 11, on peut émettre les conclusions suivantes :

- * le type de saturation en eau apparaît comme ayant une influence non négligeable. En effet les quatre combinaisons dans lesquelles l'échange eau-méthanol ne se fait pas sous vide montrent des variations importantes entre les courbes "saturation en eau sous vide" et "saturation en eau à l'air" .

- Lorsque l'échange se fait sous vide, tous les agrégats sont compris entre 0 et 1,6 mm sans agrégat résiduel dans les classes supérieures .

- Lorsque l'échange se fait d'une autre façon (immersion ou à l'air par exemple), on note des variations importantes dans les classes comprises entre 50 et 125 microns. Il y a toujours des agrégats résiduels entre 3,15 et 8 mm .

* les variations, quel que soit le type d'échange "eau-méthanol", apparaissent moins marquées lorsque l'échantillon est démoulé (hors du cylindre), surtout quand il ne se fait pas sous vide.

*** Il apparaît donc que l'échange "eau-méthanol" a une importance certaine sur l'allure des courbes de répartition, quel que soient les autres paramètres.**

La troisième question - qui, à ce niveau du dépouillement des résultats, apparaît maintenant liée aux conclusions déduites des tests réalisés précédemment - va trouver ses éléments de réponse dans l'examen des courbes des figures 12 à 15. Y sont représentées les distributions obtenues par l'ensemble des combinaisons des autres paramètres précédemment étudiés, à savoir "échantillon dans son cylindre ou démoulé" et "saturation en eau sous vide ou à l'air".

Il apparaît d'une façon claire

* que les courbes représentant l'action d'un échange sous vide ont les allures très voisines et qu'elles peuvent pratiquement se superposer ;

* que des écarts importants sont visibles entre les différents pourcentages pour les classes comprises entre 50 et 125 micron;

* qu'il y a toujours des agrégats résiduels entre 3,15 et 8 mm. Certes les pourcentages absolues sont faibles mais cela dénote un fractionnement incomplet, ce qui n'est pas le cas quand l'échange se fait sous vide.

Par contre nous retrouvons le maximum à environ 18 %, ce qui doit être une caractéristique de ce type de sol sous savane.

5) - Conclusions actuelles - Etudes complémentaires à réaliser -

51) Le protocole définitif, dans la mesure où les conclusions de ces expérimentations seront confirmées par des essais sur des échantillons provenant d'autres sols, devra tenir compte des faits suivants :

* travailler, si possible, avec des échantillons démoulés (hors cylindre);

* saturation en eau apparemment indifférente (à l'air ou sous vide) à la seule condition qu'elle soit "ménagée" (préalable acquis pour la réalisation de ces tests); elle se fait rapidement, pour ce volume d'échantillon, en 20 minutes au maximum;

* utilisation impérative de la technique d'échange "eau-méthanol sous vide". Cela évitera les artefacts qui pourraient gêner l'interprétation des variations dues

- aux différences minéralogiques et granulométriques (caractérisation des sols et donc données intrinsèques de ces derniers au même titre qu'une acidité);

- aux travaux culturaux sur un même sol (travail du sol, apport d'amendements... etc...).

52) Il y a encore d'autres tests à réaliser avant d'arriver à la rédaction d'un protocole argumenté et donc solide. Il s'agit :

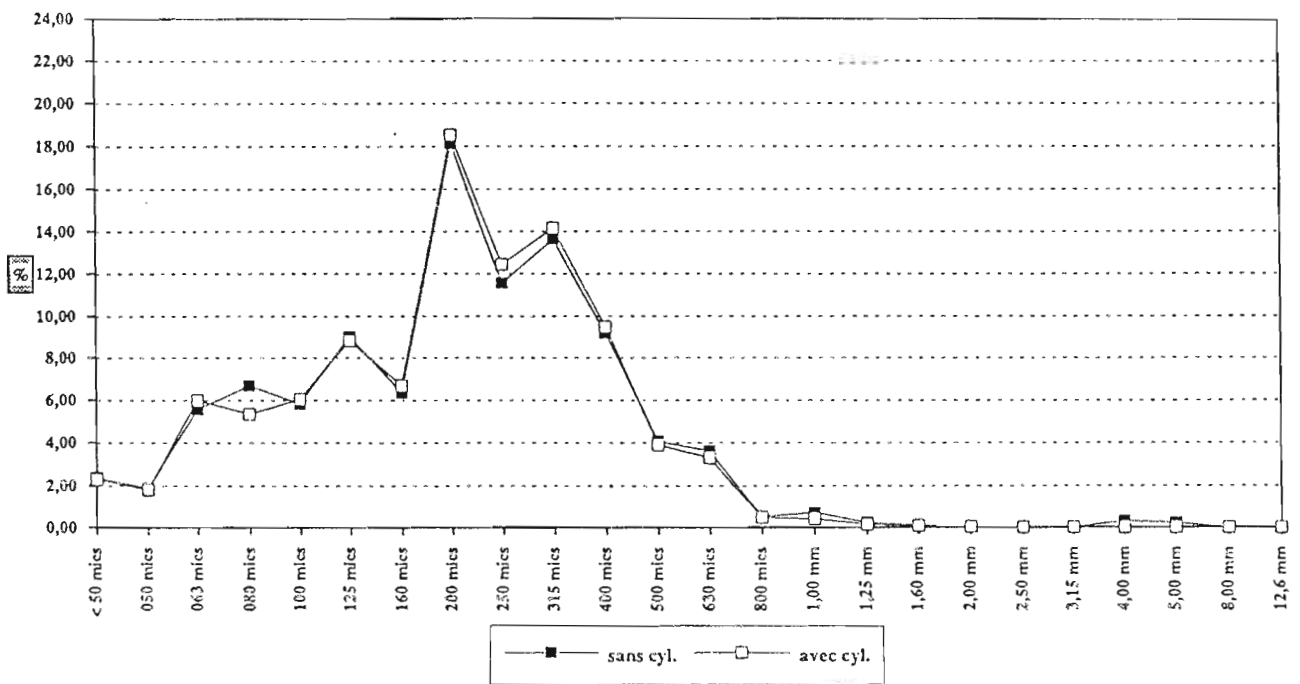
* de définir le volume optimum du cylindre de prélèvement permettant d'avoir des quantités suffisantes pour éviter les erreurs de pesées et de réaliser des analyses chimiques par classe d'agrégats représentative d'un échantillon. Les graphes 16 et 17 montrent que, même pour les traitements avec échange eau-

méthanol sous vide, il y a encore des variations à faire diminuer, voire disparaître. Cela nécessitera de refaire des tests de saturation en eau et de vitesse d'échange pour s'assurer de l'uniformité des phénomènes au sein des échantillons.

* de vérifier la répétabilité de cette technique et définir le nombre minimum de traitements par échantillon pour avoir un coefficient de variation aussi faible que possible .

* de tester le protocole alors établi sur plusieurs sols présentant des compositions minéralogiques et granulométriques différents (comme déjà souligné plus haut à deux reprises).

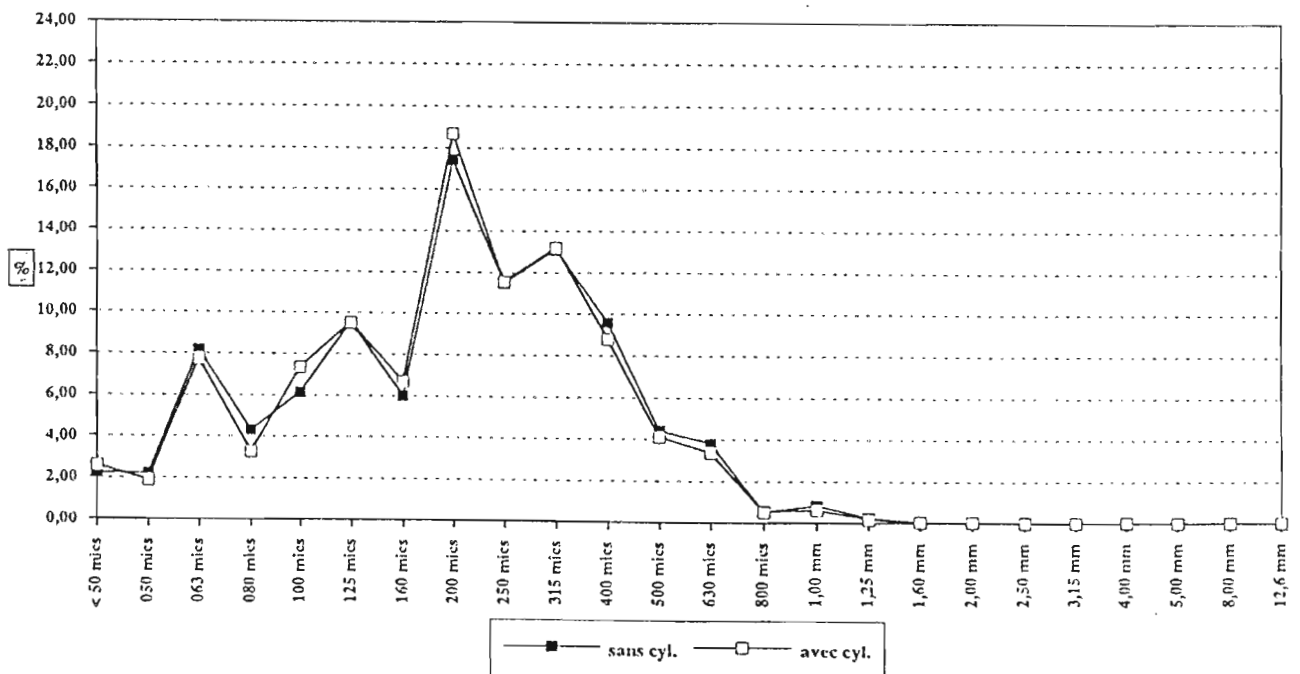
MOYENNES ABSOLUES - SATURATION A L'AIR LIBRE - METHANOL AVEC IMMERSION



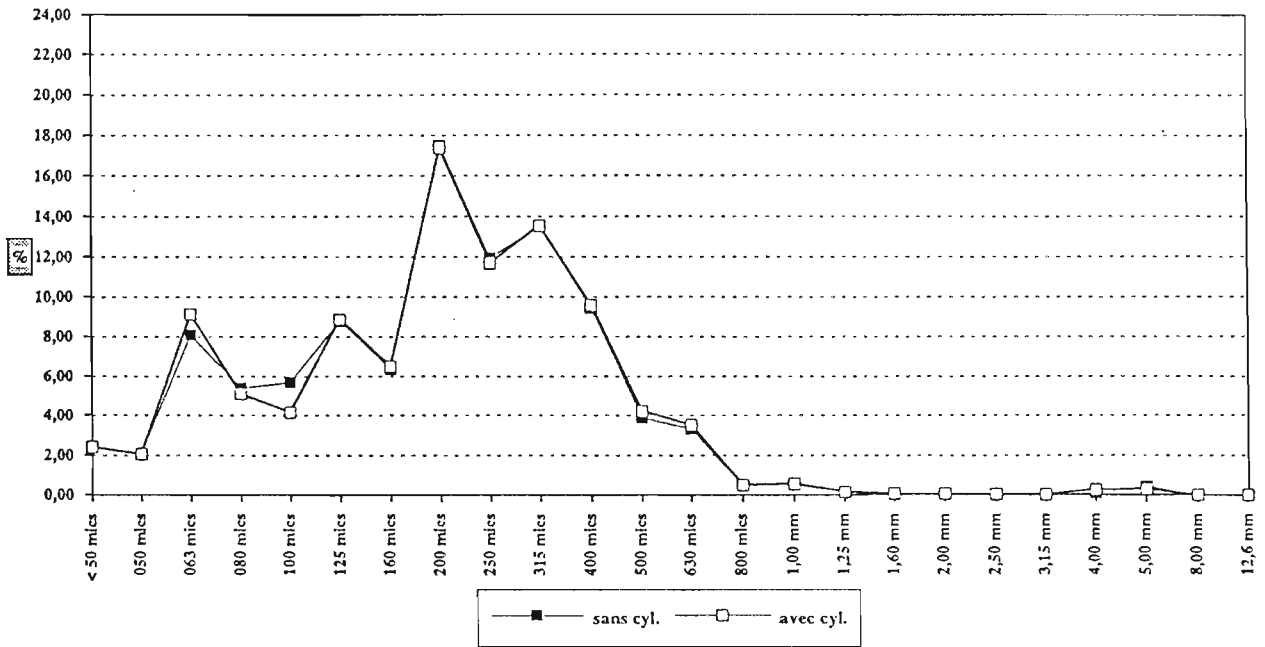
GRAPHE 1

GRAPHE 2

MOYENNES ABSOLUES - SATURATION A L'AIR LIBRE - METHANOL SOUS VIDE



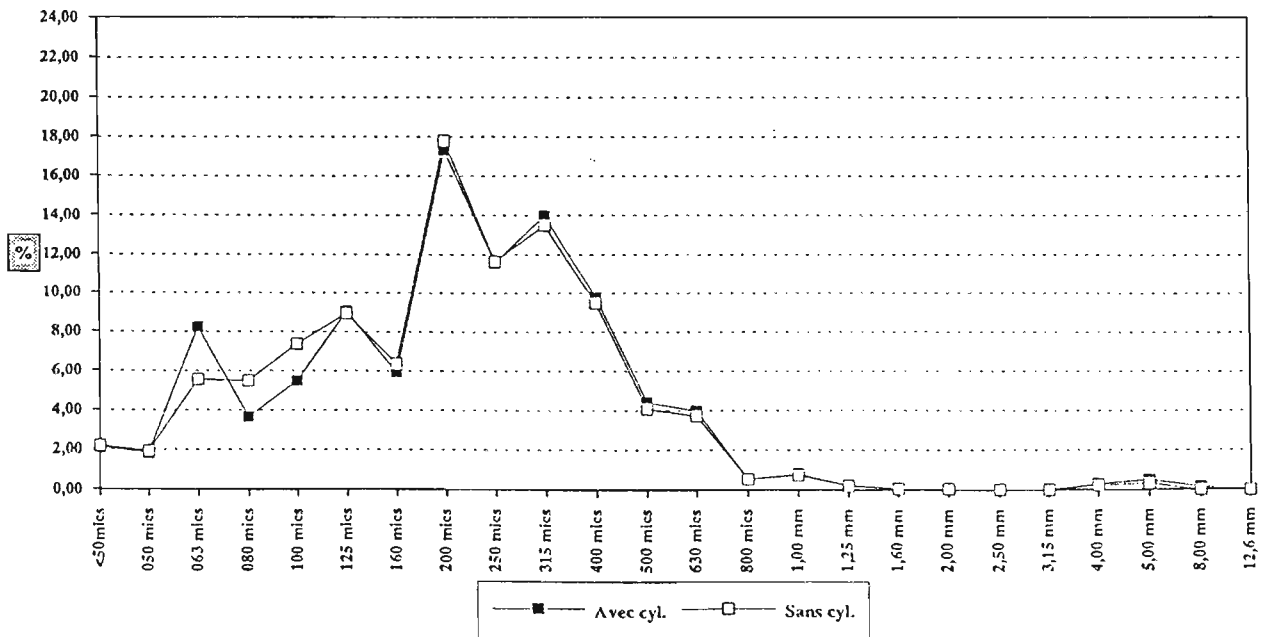
MOYENNES ABSOLUES - SATURATION SOUS VIDE - METHANOL AVEC IMMERSION



GRAPHE 3

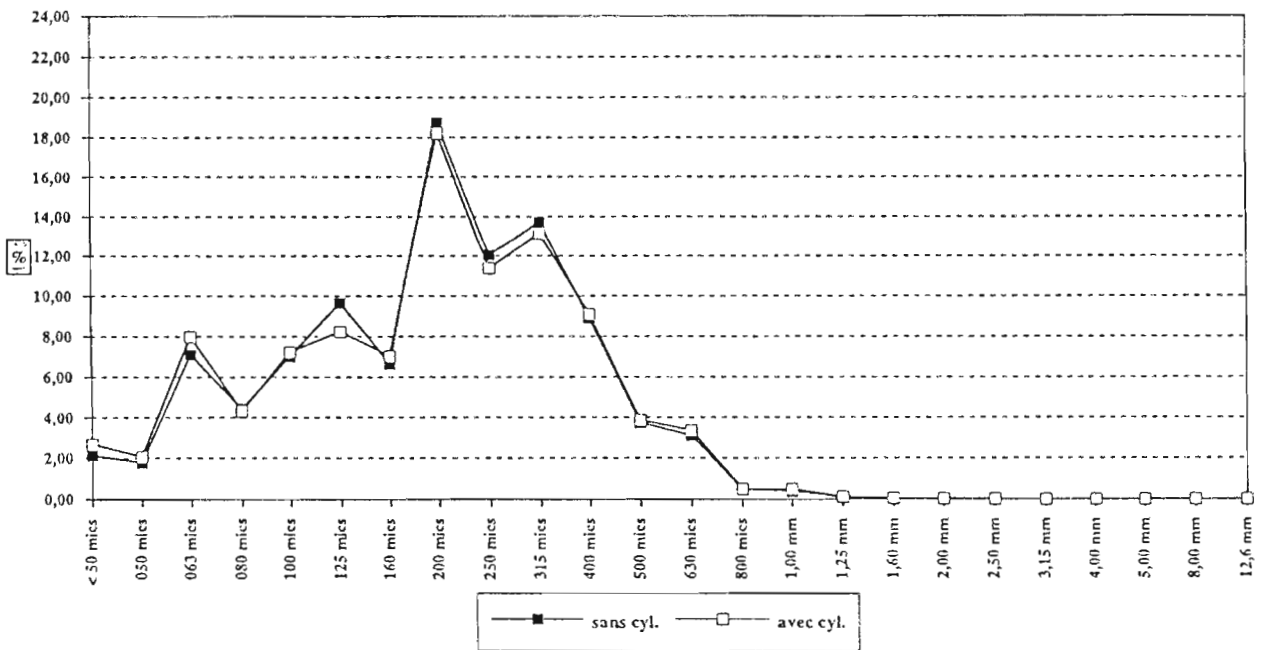
GRAPHE 4

MOYENNES ABSOLUES - SATURATION SOUS VIDE - METHANOL A L'AIR

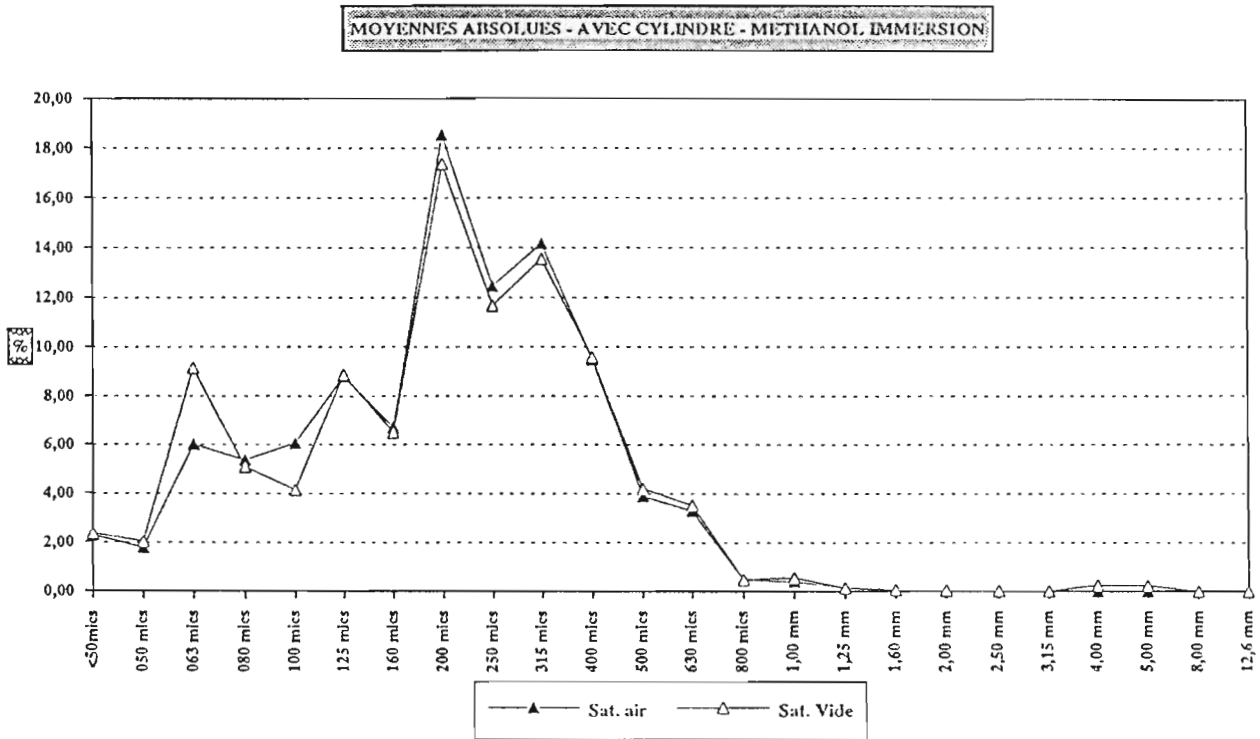


ETUDE METHODOLOGIQUE DE LA SEPARATION DES ASSEMBLAGES STRUCTURAUX EN ELEMENTS STRUCTURAUX (AGREGATS)

MOYENNES ABSOLUES - SATURATION SOUS VIDE - METHANOL SOUS VIDE -

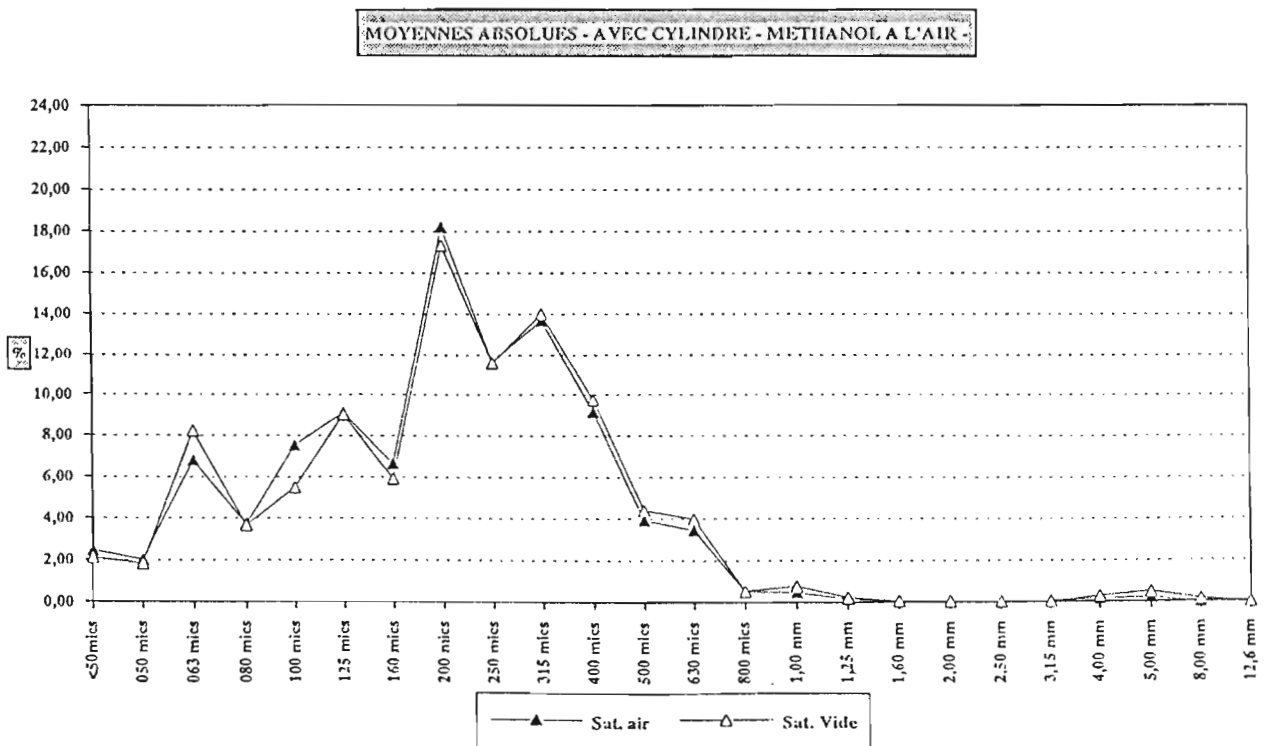


GRAPHE 5

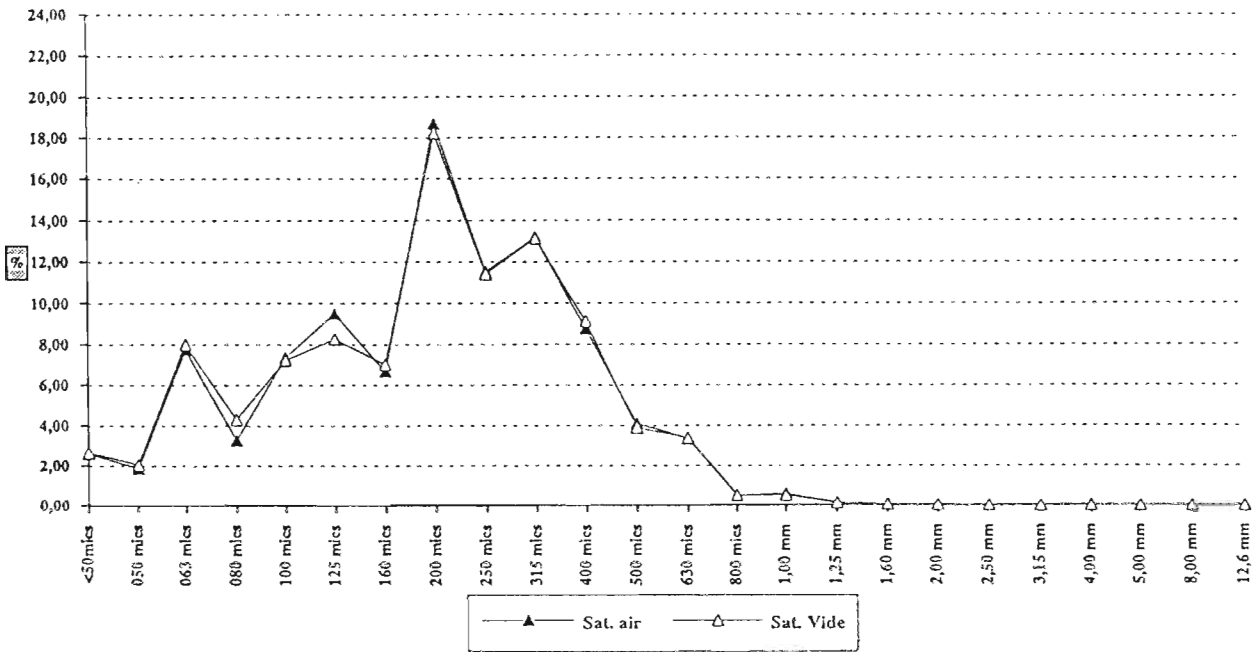


GRAPHIE 6

GRAPHIE 7



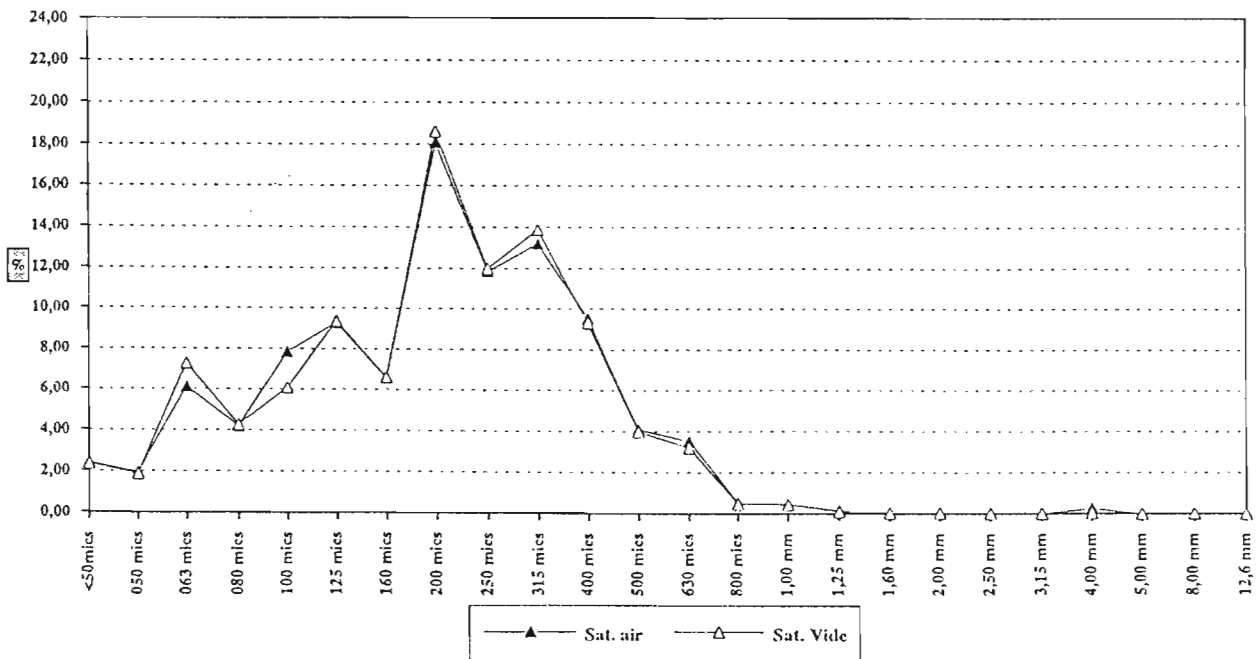
MOYENNES ABSOLUES - AVEC CYLINDRE - METHANOL SOUS VIDE



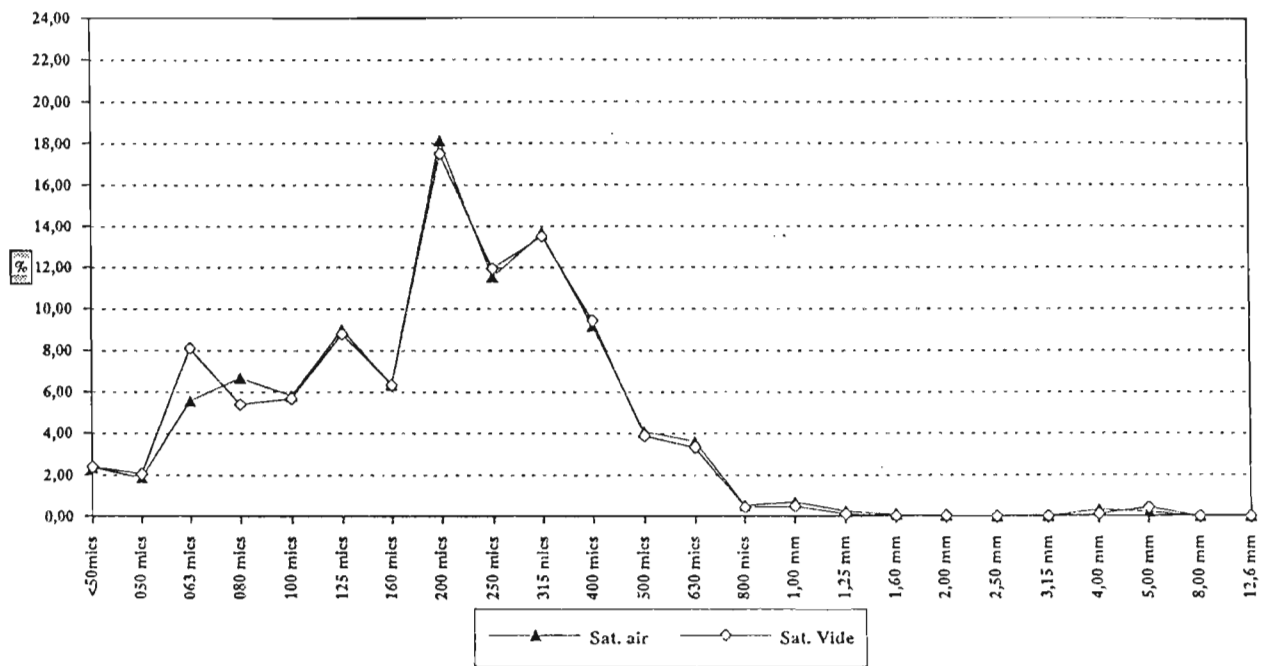
GRAPHE 8

GRAPHE 9

MOYENNES ABSOLUES - SANS CYLINDRE - METHANOL PAR PULVERISATION



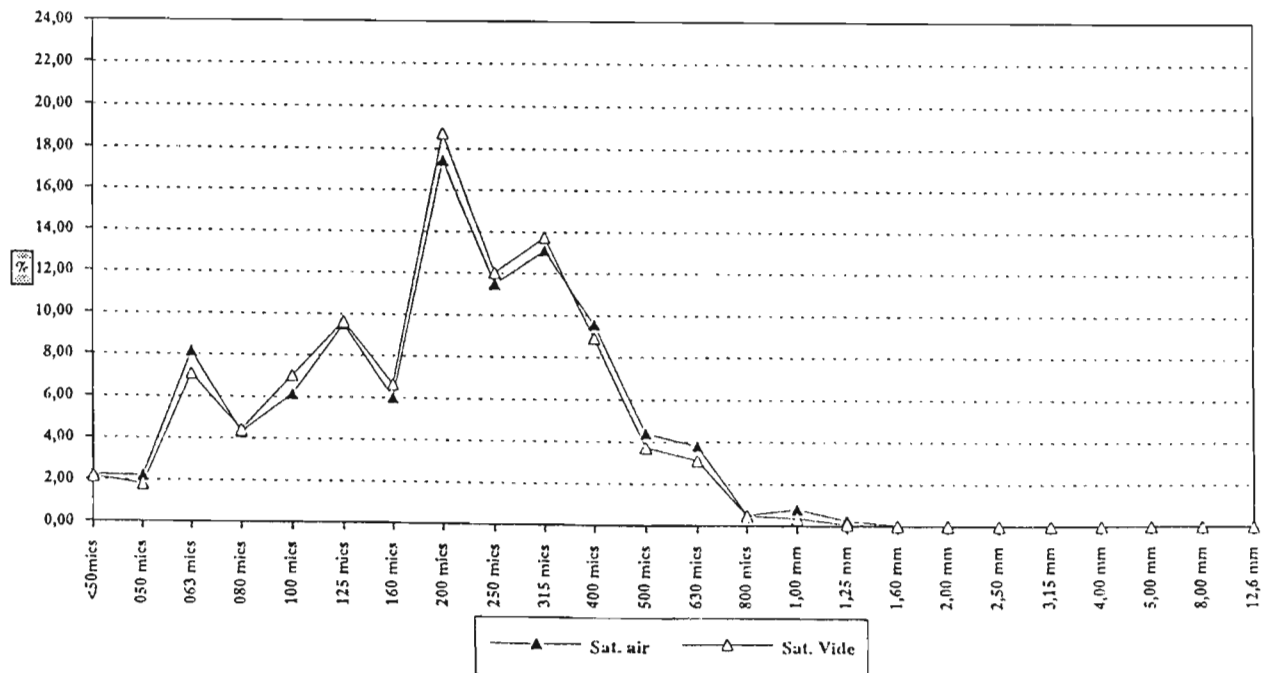
MOYENNES ABSOLUES - SANS CYLINDRE - METHANOL PAR IMMERSION -



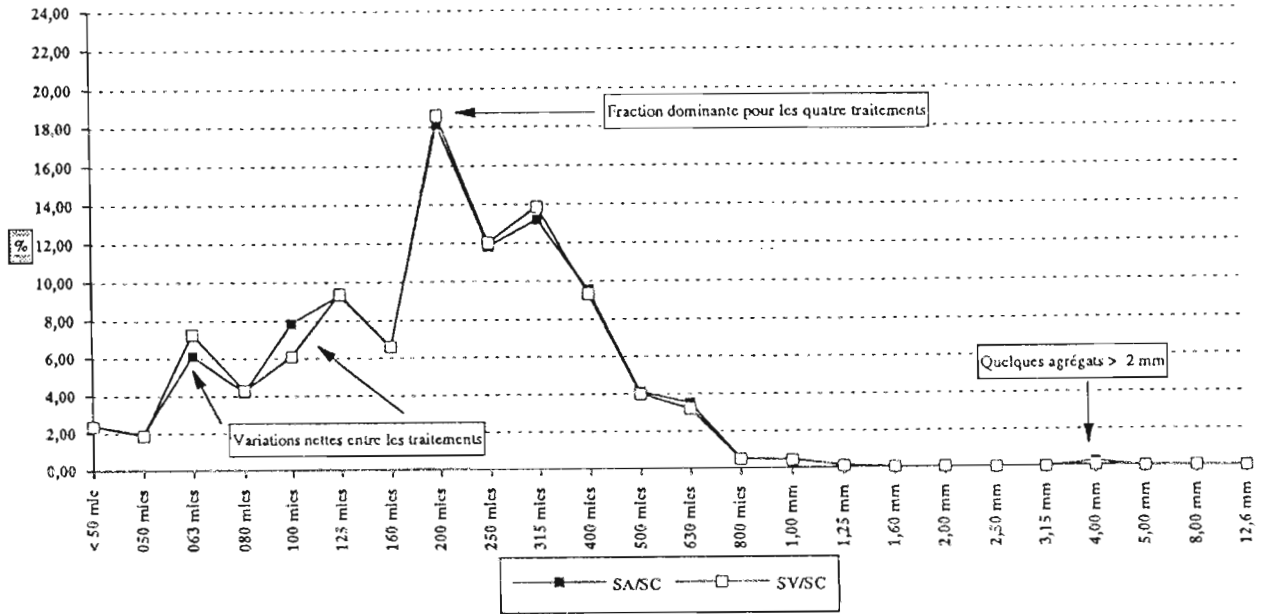
GRAPHIE 10

GRAPHIE 11

MOYENNES ABSOLUES - SANS CYLINDRE - METHANOL SOUS VIDE -

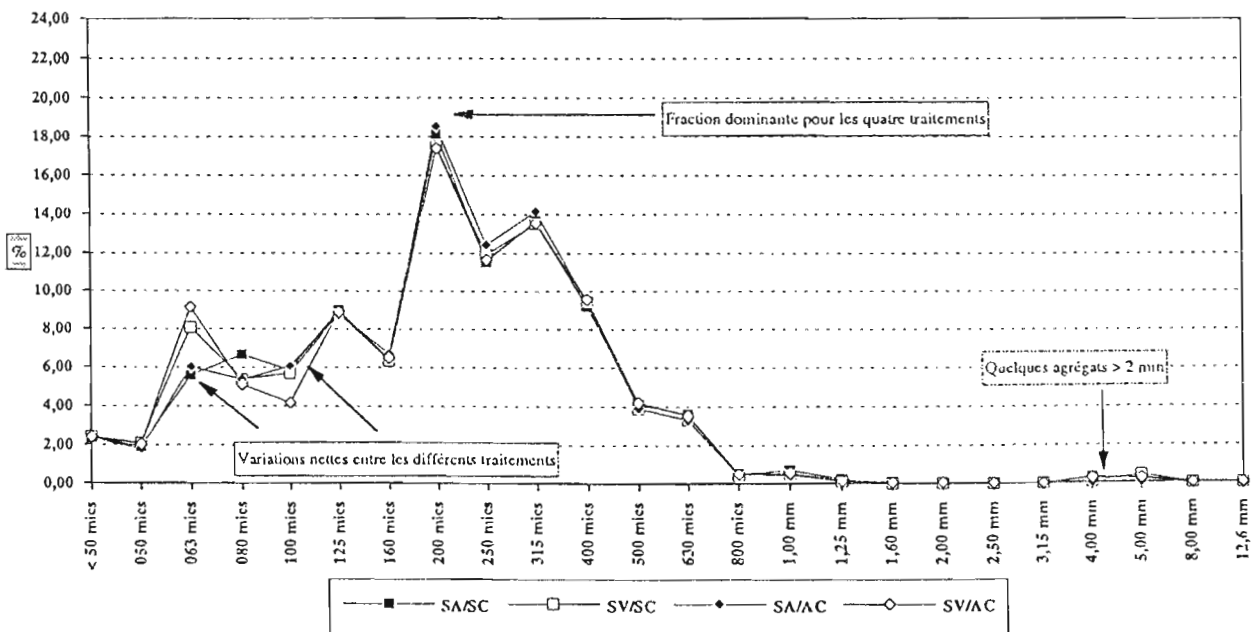


MOYENNES ABSOLUES - SATURATION A L'AIR (SA) OU SOUS VIDE (SV) - SANS CYLINDRE (SC) - ECHANGE EAU-METHANOL PAR PULVERISATION

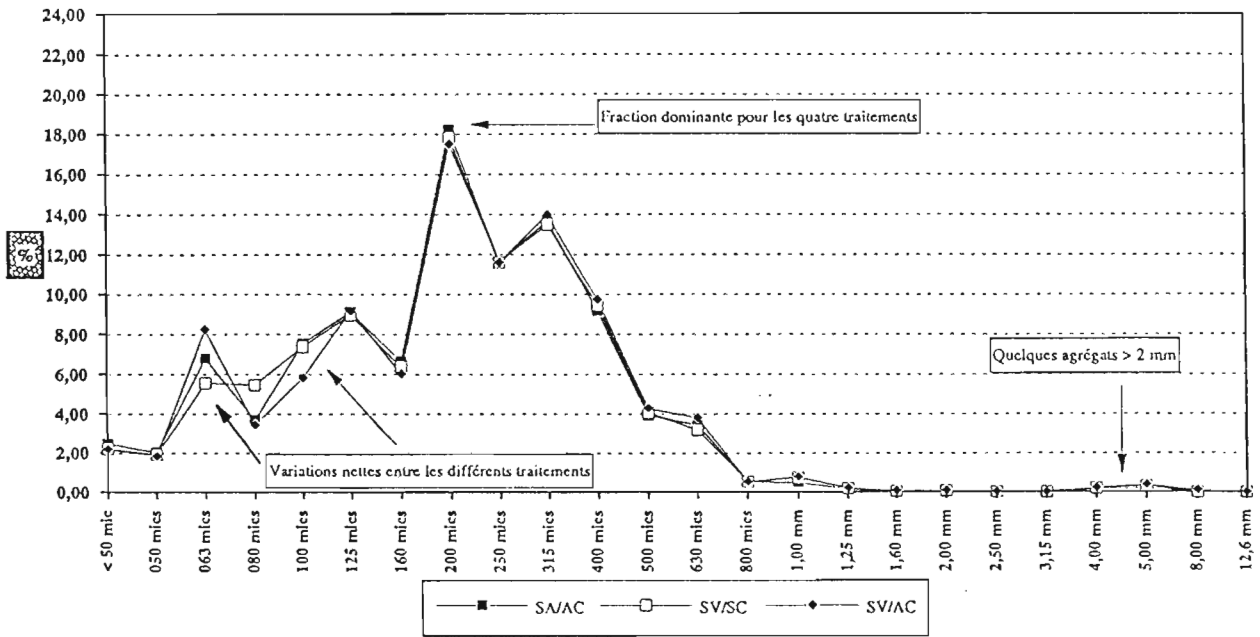


GRAPHE 12

MOYENNES ABSOLUES - SATURATION A L'AIR (SA) OU SOUS VIDE (SV) - SANS CYLINDRE (SC) OU AVEC CYLINDRE (AC) - ECHANGE EAU / METHANOL PAR IMMERSION



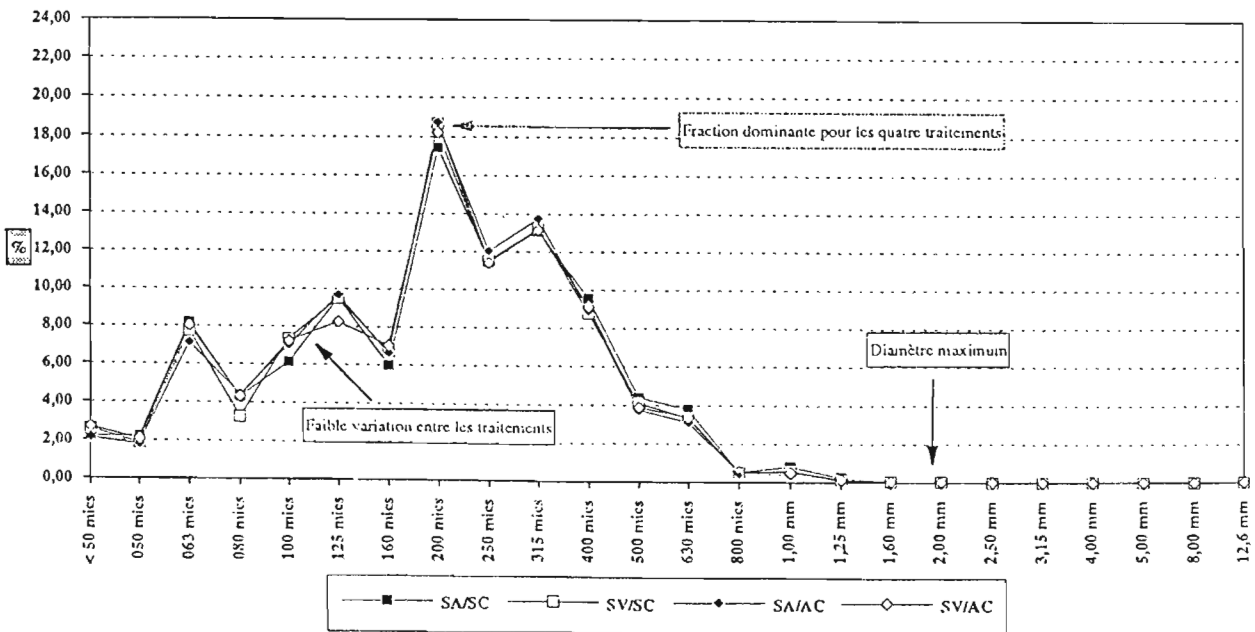
MOYENNES ABSOLUES - SATURATION A L'AIR (SA) OU SOUS VIDE (SV) - SANS CYLINDRE (SC) OU AVEC CYLINDRE (AC) - ECHANGE EAU-METHANOL A L'AIR LIBRE -



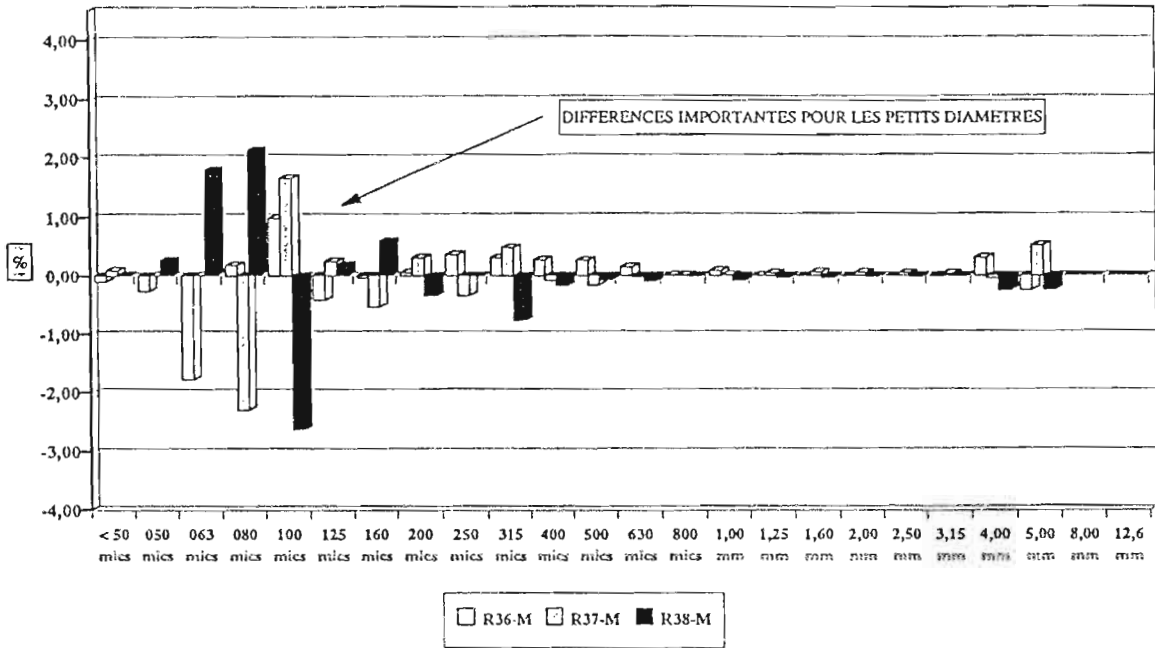
GRAPHE 14.

GRAPHE 15

MOYENNES ABSOLUES - SATURATION A L'AIR (SA) OU SOUS VIDE (SV) - SANS CYLINDRE (SC) OU AVEC CYLINDRE (AC) - ECHANGE EAU / METHANOL SOUS VIDE -



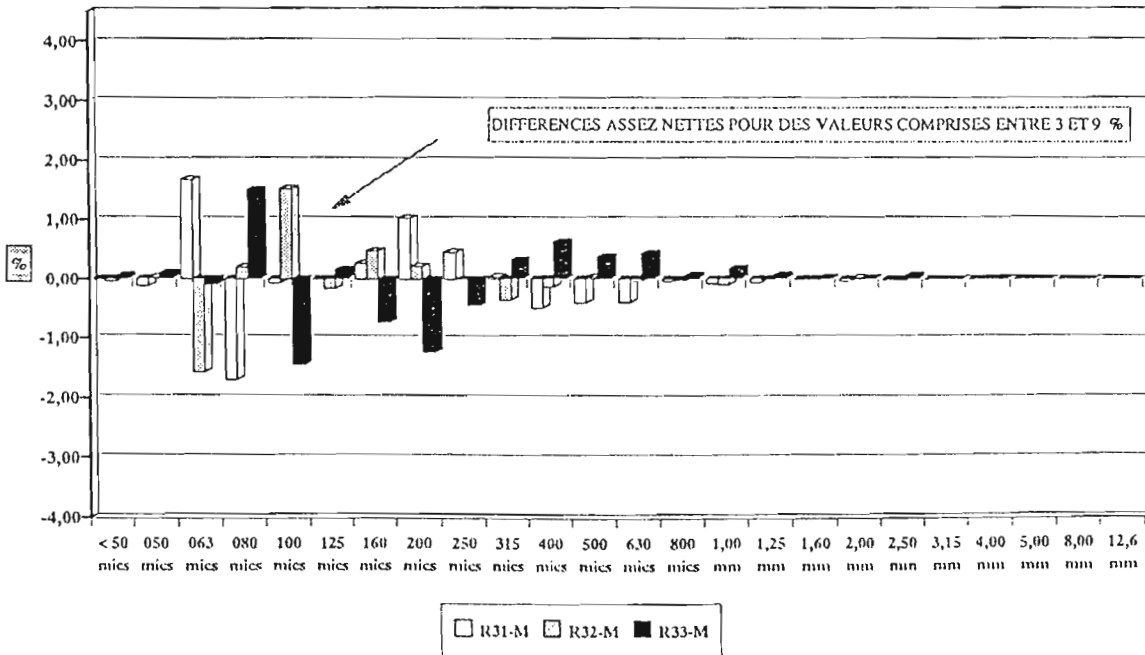
DIFFERENCES / MOYENNE - SATURATION SOUS VIDE - METHANOL AVEC IMMERSION - AVEC CYLINDRE -



GRAPHE 16

GRAPHE 17

DIFFERENCES / MOYENNE - SATURATION SOUS VIDE - METHANOL SOUS VIDE - AVEC CYLINDRE -



STRUCTURE ET FERTILITE SITES DES ACTIVITES MICROBIOLOGIQUES

Jean-Luc CHOTTE*

Introduction

La fertilité d'un sol peut se définir par sa capacité à produire par unité de surface (Petit Robert, 1984) dans des conditions climatiques spécifiques. Cette faculté est contrôlée par des facteurs physiques, chimiques et biologiques inter-dépendants. Les microorganismes (champignons, bactéries, actinomycètes principalement) ont un rôle prépondérant dans l'alimentation minérale des plantes. En effet se sont eux qui participent au recyclage des éléments nutritifs (N, P...) et à leur transformation en des formes directement assimilables par les végétaux. La distribution et l'activité de ces microorganismes dans le sol sont dépendantes de la concentration en carbone assimilable (Gray et Williams, 1971) et de la structure du sol (Seifert, 1964; Linn et Doran, 1984; Elliott et Coleman, 1988; Gupta et Germida, 1988; Hattori, 1988).

Il est donc important pour étudier les processus de décomposition de la matière organique de caractériser les sites des activités microbiologiques. Cette approche doit permettre d'assurer une meilleure synchronisation dans le temps mais aussi dans l'espace entre la libération des éléments assimilables et leur utilisation par les plantes.

Dans ces travaux les méthodes utilisées sont celles appliquées aux études de la structure des sols et des activités microbiologiques (Tableau I)

Tableau I: Méthodes utilisées

STRUCTURE	ACTIVITES MICROBIOLOGIQUES
Fractionnement du sol en classes d'agrégats	Masse totale des microorganismes
Observations à différentes échelles	Spectre microbiologique
Porosité totale et spectre poral	Produit(s) de(s) activité(s)

Les travaux présentés dans le cadre de l'Atelier "Structure et fertilité des sols tropicaux" sont le résultat d'une première série d'expérimentations dont les objectifs étaient de mesurer les effets de la méthode de dispersion du sol sur les caractéristiques des habitats microbiens.

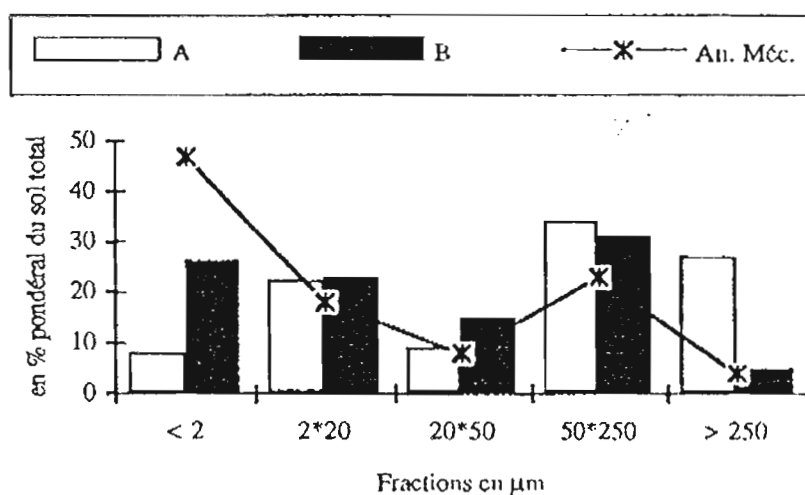
* ORSTOM, FORT DE FRANCE, MARTINIQUE.

Premiers résultats : effet de la méthode de dispersion du sol sur les caractéristiques des habitats microbiens

Le sol utilisé dans ce travail est un vertisol de la Martinique (Sainte-Anne) sous prairie à pangola (*Digitaria decumbens*). Il s'agit d'un sol à texture argileuse ($A\% = 47$) riche en matière organique ($C\text{ org.} = 33\%$). L'horizon 0-10 cm est prélevé à la bêche, séché à l'air, tamisé à 2 mm puis mis en incubation durant 3 jours au laboratoire (température et humidité constantes) en présence de glucose et d'urée enrichie en azote 15 ($E\% = 47$) (Chotte et al., 1993 a). Dans cette étude on mesure les effets de deux méthodes de fractionnement physique du sol (A et B) possédant des énergies de dispersion distinctes ($A < B$).

La répartition pondérale des fractions isolées par les méthodes A et B montrent que l'énergie de dispersion modifie profondément l'abondance des différentes fractions (Figure 1).

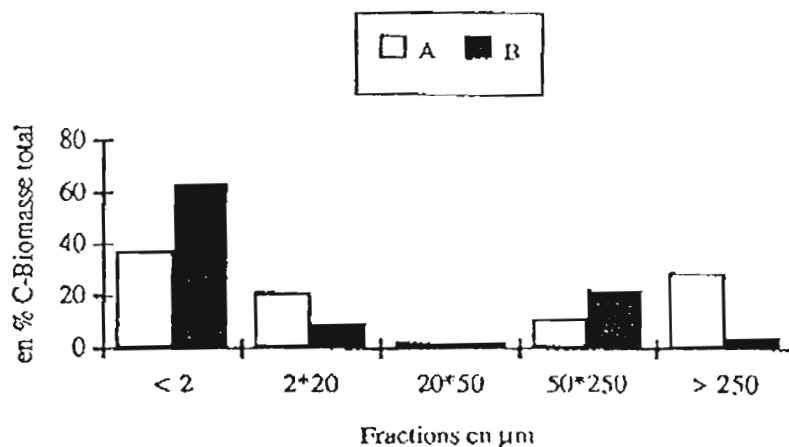
Figure 1: Répartition pondérale des fractions



Ces variations s'accompagnent d'une répartition différente de la biomasse microbienne (Figure 2) et des quantités d'azote 15 immobilisés dans chacune des fractions (Chotte et al., 1993 b)

L'observation en microscopie électronique à transmission montre que la fraction $> 250 \mu\text{m}$ obtenue par la méthode la moins énergétique (A) est constituée d'agrégats formés de restes tissulaires entourés d'une matrice argileuse, le tout colonisé par de nombreux microorganismes. Cette fraction isolée par la méthode B est au contraire constituée de sables et de restes organiques dispersés.

Figure 2: Répartition du C-biomasse dans les différentes fractions



Conclusion

Ces résultats montrent très clairement les effets de la méthode de dispersion du sol sur les caractéristiques des habitats microbiens. Il est donc important de poursuivre ces travaux afin de déterminer les méthodes les mieux adaptées aux sols étudiés. Mais aussi de les compléter en caractérisant les différentes activités microbiologiques associées aux agrégats isolés.

Bibliographie

- Chotte J.L., Jocteur Monrozier L., Villemain G. and Albrecht A. - 1993 a - Study of soil microhabitats. Importance of the fractionation method. In K. Mulongoy and R. Merckx (eds.) *The dynamics of Soil Organic Matter in Relation to the Sustainability of Tropical Agriculture*, Wiley-Sayce Publisher, 39-45.
- Chotte J.L., Jocteur Monrozier L. Villemain G. et Toutain F. - 1993 b - Effet du mode de dispersion du sol sur la localisation de la biomasse microbienne. Cas d'un vertisol. Cah. ORSTOM sér. Pédol. à paraître.
- Elliott E.T. and Coleman D.C. - 1988 - Let the soil work for us. *Ecol. Bull.*, 39 : 23-32.
- Gupta V.V.S.R. and Germida J.J. - 1988 - Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.*, 20, 6: 777-786.
- Gray T.R.G. and Williams S.T. - 1974 - *Soil microorganisms*. Heywood V.H.: 240 pages.
- Hattori T. - 1988 - Soil aggregates as microhabitats of microorganisms. *Rep. Inst. Agri. Res. Tohoku Univ.*, 37: 23-36.
- Linn D.M. and Doran J.W. - 1984 - Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Am. J.*, 48: 1267-1272.
- Seifert J. - 1964 - Influence of the soil structural aggregate on the degree of nitrification. *Folia Microbiol.*, 9 : 365-377.

LE PROBLEME DE LA DEFINITION ET DE LA CARACTERISATION DES PROPRIETES DU SOL

**Plaidoyer pour l'établissement d'un modèle de fonctionnement structural unique du sol
compatible avec la description morphologique adoptée en micro morphologie du sol**

Erik BRAUDEAU*

En 1979, en introduction à un ensemble d'articles sur les méthodes de caractérisation de la structure du sol testées à Rothamsted, les chercheurs s'exprimaient ainsi : "Yet despite the accumulation of knowledge, no single method, or indeed group of methods has emerged that can characterise infallibly for all soils the structural properties that are important for soil management and crop yields" (J.A. Curie, P. Bullock, J. Thomasson : JSS 1979).

On reconnaît depuis longtemps le rôle prépondérant de la structure du sol dans les différents domaines de l'utilisation ou de l'étude du sol : agronomie, mécanique et hydrodynamique des sols, environnement... Dans chacun de ces domaines, le sol manifeste un certain nombre de qualités et propriétés physiques (fertilité, aération, capacité au champ, réserve en eau...) plus ou moins bien définies ou comprises dans leur relation avec ce qui leur donne origine : la structure du sol. Parlant de propriétés et qualités structurales du sol, on attribue directement ces qualités et propriétés physiques du sol à la structure elle-même. Tout ceci est connu depuis longtemps (Haines, Henin...), mais comment définir et mesurer ces propriétés ? **Leur définition, nécessaire aux conditions de leur mesure, devrait en principe se référer à la définition et au mode de description de la structure à laquelle elles se rapportent.** Le problème est que la définition de la structure du sol n'est pas encore acquise de la même façon par tous, et que son mode de description revêt des formes multiples, si bien que les nombreuses méthodes de caractérisation de la structure qui existent ne sont encore que des tests empiriques standardisés, sans base théorique pédologique, et sans liens rigoureux les uns avec les autres.

En fait, ce constat d'échec peut être nuancé si l'on distingue deux grands groupes de méthodes de caractérisation, portant chacun sur l'un des deux aspects de la structure du sol : sa morphologie (taille, forme, arrangement, niveaux d'organisation) et son fonctionnement (hydrodynamique, mécanique, agronomique...). Bien que ces deux aspects soient, **comme pour la description de toute structure, indissociables et complémentaires**, leurs méthodes d'analyse ont subi un développement séparé et très différent, l'un ignorant l'autre : si dans le premier groupe de méthodes (morphologie de la structure) une certaine *unité d'approche* existe grâce à la vision systémique de la structure du sol en niveaux d'organisation hiérarchisés, l'autre groupe (fonctionnement structural) présente au contraire une *multiplicité d'approches*, les méthodes de caractérisation restant propres à chaque domaine d'utilisation du sol, et en général sans rapport avec l'approche systémique du premier groupe.

Ce qui distingue en essence ces deux groupes, est l'existence dans le premier d'un modèle morphologique unique de la structure du sol dont les premières bases furent posées très tôt (Kubiena, 1934, Brewer, 1964, Stoops and Jongerius, 1975...), permettant à l'heure actuelle une description typologique à différentes échelles des organisations qui composent le sol (Bulbock and al., 1985, Brewer and Sleeman, 1988). Au contraire, les méthodes d'étude du fonctionnement de la structure du sol ne sont rattachées pour la plupart à aucun modèle de base explicite de la structure, définissant grandeurs et concepts nécessaires à l'étude. Ou bien quand ce modèle existe, il est trop éloigné de celui décrit par les morphologistes du sol, et trop restreint pour être pris en compte par toutes les disciplines : on peut prendre comme exemple la caractérisation hydrodynamique du sol

* ORSTOM, DAKAR, SENEGAL.

dont les équations repose sur un modèle de sol décrit comme un milieu poreux inerte, homogène et indéformable, et où la distribution par taille du rayon des pores est la seule caractéristique structurale qui soit prise en compte. On sait les imperfections auxquelles aboutit cette approche, dont les plus graves pourraient être l'impossibilité de prendre en compte le rôle spécifique de l'argile du sol (même à faible pourcentage) dans le stockage et la circulation de l'eau ; ou aussi l'impossibilité du transfert d'échelle, puisque la hiérarchisation des niveaux d'organisation n'est pas reconnue dans leur modèle.

Passons à des exemples plus concrets :

Tout récemment dans un numéro spécial de Aust. J. Soil Res. (1991, n° 6), et comme pour répondre aux premières affirmations des chercheurs de Rothamsted citées plus haut, un groupe de chercheurs australiens a présenté tout récemment cinq méthodes "de mesure de la structure du sol" (Coughlan et al., 1991), fournissant des indices "which are closely linked to agronomically important attributes of soil behaviour in the field, and are useful for comparing soils, sites or treatments". Parmi ces cinq méthodes, il en est une, l'exploitation de la courbe de retrait, qui produit à elle seule 17 indices (Mc Garry, 1987) pertinents de la structure et du comportement structural du sol. Malgré cette avancée importante dans le domaine de la caractérisation de la structure du sol, il n'en reste pas moins que les données obtenues ne sont encore que des indices sans signification théorique précise, les auteurs s'étant gardés d'interpréter la courbe de retrait selon un modèle de fonctionnement structural du sol.

Il se trouve que nous avons fait un travail similaire en modélisant la courbe de retrait, dans le même objectifs (Braudeau, 1988, 1993) : caractériser les propriétés structurales du sol.

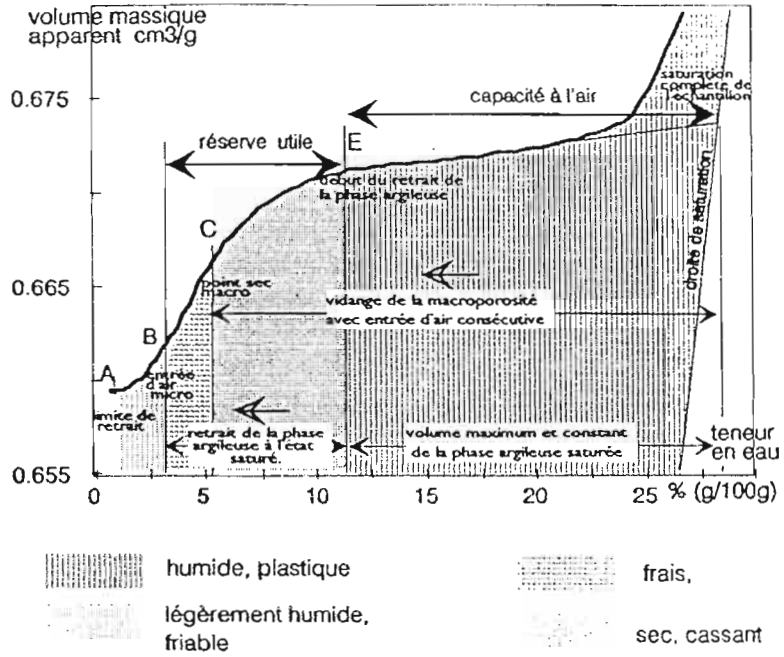
Cependant nous sommes allés plus loin en posant un modèle de fonctionnement structural du sol : le modèle de retrait structural (MRS), **concordant avec le mode de description morphologique adopté en micro morphologie du sol**. Cela a permis de donner une signification précise aux indices précédents qui deviennent ainsi des variables ou grandeurs rigoureusement définies, quantifiant tel ou tel aspect de la structure du sol et de son fonctionnement (aération, infiltration, conditions de drainage, stockage de l'eau, pédoclimat, fertilité...) ; mesurer la courbe de retrait devient alors une véritable méthode de mesure de la structure du sol (cf. figure).

Un autre exemple aujourd'hui, dans cette réunion, de la nécessité de poser un tel modèle pour définir ce que l'on veut mesurer du sol, et dans quelles conditions : la méthode de fractionnement du sol que présent Hervé Colleuille. Le modèle MRS précédent définit entre autre, *les agrégats argileux fonctionnels du premier niveau d'organisation du sol*. Ce sont ces agrégats là qui sont recherchés et obtenus dans cette méthode de fractionnement physique du sol mise au point dans ce but par H. Colleuille. Les photographies des lames minces présentées attestent de la bonne correspondance entre la réalité morphologique, la définition fonctionnelle de l'agrégat argileux, et les conditions d'obtention et de mesure. Le fractionnement en agrégats du sol présenté par H. Colleuille sort du domaine du test pour devenir une méthode de séparation des agrégats fonctionnels du premier niveau d'organisation du sol, et de détermination de leur distribution.

Pour conclure, je dirai que les recherches sur la structure du sol sont à poursuivre dans cette voie où l'on met en correspondance le modèle morphologique et le modèle fonctionnel de la structure du sol ; c'est une source d'explication des nombreuses propriétés physiques du sol et on est encore très loin du compte.

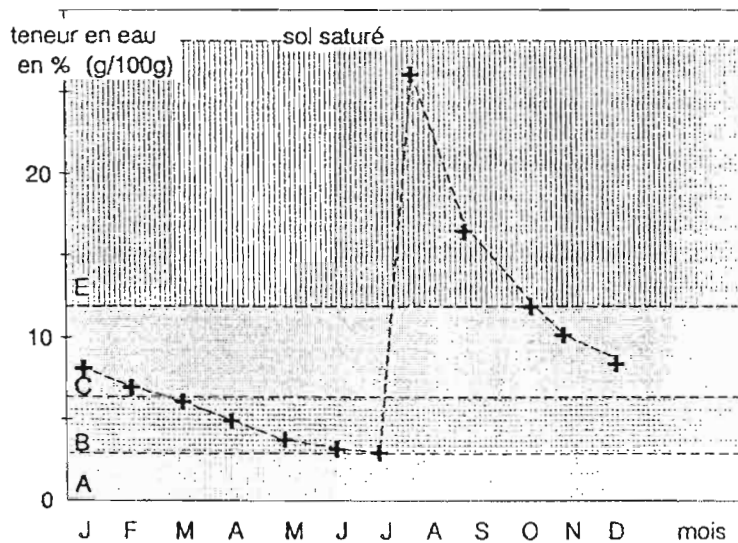
Bibliographie

- "Advances in Soil Structure", 1991, Spécial issue : Australian J. Soil Res. 29 (6), 697-956.
- Braudeau E., 1988, Méthode de caractérisation pédohydrique des sols. Cah. ORSTOM, série Pédol., 20/3, 179-189.
- Braudeau E., 1988, 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.
- Braudeau E. et A. Bruand, 1993, Détermination de la courbe de retrait de la phase argileuse à partir de la courbe de retrait établie sur échantillon de sol non remanié. Application à une séquence de sol de Côte d'Ivoire. C. Rend. Ac. Sc. Paris, série II, pp. 685-692.
- Brewer R., 1964 Fabric and Mineral Analysis of soils (Wiley, New York N.Y.).
- Brewer R. and Sleeman J.R., 1988, "Soil Structure and Fabric" (CSIRO Aust. : Adelaïde).
- Bulbock P., Feodoroff N., Jungerius A., Stoops G., Tursina T., 1985, "Handbook for soil thin"
- Coughlan K.J., Mc Garry D., Loch R.J., Bridge B. and Smith D., 1991, The measurement of soil structure Aust. J. Soil Res. 29 (6), 869-890.
- Currie J.A., Bullock P., and Thomasson A.J., 1979, Rothamsted studies of soil structure I. Purpose of the project, soils selected, and general conclusions. J. Soil Sci., 30, 377-380.
- (9) Mc Garry D. and Daniells I.G., 1987, Shrinkage curve indices to quantify cultivation effects on soil structure of a vertisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 51 : 1575-1580.



Courbe de retrait du sol ferrugineux de Bambey (10.4 % d'argile)
états hydriques et mécaniques correspondants.

argile %	limon fin %	limon gros. %	sables fins %	sables gros.	pF 2.0	pF 4.2
10.3	2.4	8.2	55.4	21.6	13.4 g/g	3.8 g/g



Pédoclimat ou Régime pédohydrique annuel

Choix de la courbe de retrait comme référentiel
des états hydriques et mécaniques du sol.

MISE EN EVIDENCE DE L'ANISOTROPIE ET CONSEQUENCE DE LA COHESION SUR LE RETRAIT

(Etude expérimentale : premiers résultats)

BELLIER G.*
LARVY DELARIVIERE J.*

I. INTRODUCTION

Une méthodologie nouvelle et originale a été proposée pour la détermination des paramètres pédohydriques des sols. Elle repose sur l'étude de la variation du volume d'un échantillon de sol non remanié lorsque sa teneur en eau varie (BRAUDEAU, 1987, 1988 a). Grâce au développement d'un appareillage simple de laboratoire appelé "rétractomètre" cette méthode est de plus en plus accessible et pratiquée. La détermination précise de la courbe de retrait est désormais possible grâce à l'utilisation de capteurs spécifiques dont la résolution est de quelques microns seulement, les variations de teneurs en eau étant mesurées avec une balance de précision 0,01g. Les différents paramètres pédohydriques sont ensuite calculés à partir du modèle mathématique proposé par BRAUDEAU (1988 b).

Un problème toutefois demeure pour l'estimation du volume de l'échantillon. L'évaluation étant faite à partir d'une mesure unidimensionnelle, dans un plan vertical, suppose que l'hypothèse de l'isotropie du retrait soit validée.

De nombreux travaux concernant surtout le milieu ferrallitique (MAPANGUI,1992 ; PANGO,1993 ; COLLEUILLE,1993) ont montré le caractère sigmoïdal et uni-modal dominant des courbes de retrait.

L'application de la rétractométrie à l'étude des sols des autres milieux: cas des sols limoneux du bassin parisien, sols volcaniques de la région centre-pacifique du Nicaragua (PRAT,1991), sols des milieux carbonatés du plateau de Meknes, a révélé l'existence de courbes de retrait plus complexes multi-modales (fig. 1).

* ORSTOM Bondy - Unité Hydrophysique

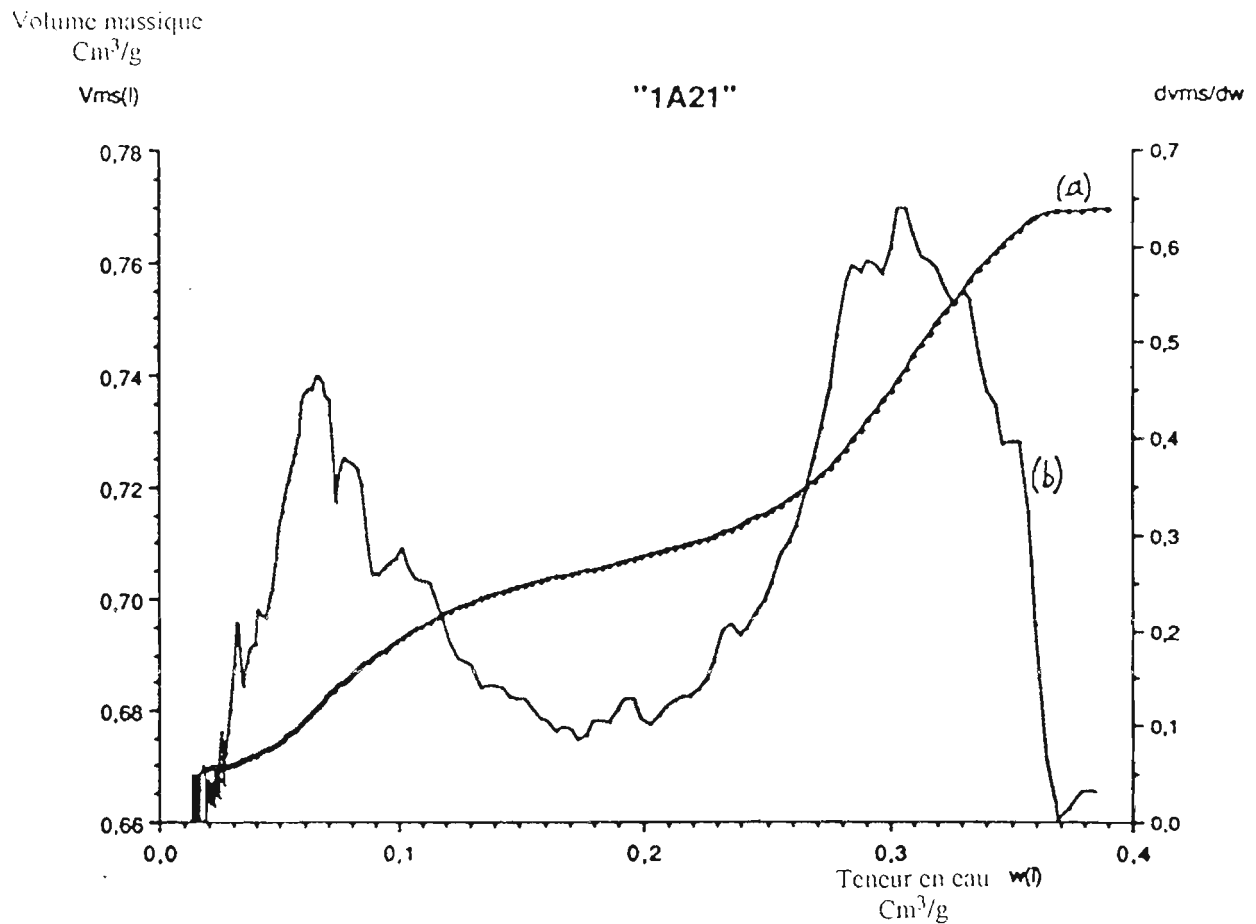


Figure 1 : Courbe de retrait (a) et sa dérivée $dvms/dw$ (b) d'un horizon A 2 de sol limoneux faiblement lessivé.

Suite aux travaux réalisés sur un sol limoneux de la région de Grignon on constate dans les premières minutes de dessiccation un fort retrait (fig. 7) qui souvent coïncide avec une déformation importante à la base de l'échantillon. Ce phénomène est d'autant plus marqué que l'humidité est élevée et proche de la saturation. Ces observations portent à croire que l'effet de la gravité n'est pas négligeable surtout pour les sols à texture légère, sableuse, à faible cohésion. Anisotropie ou tassement ?

II. MATERIEL ET METHODES

Afin de vérifier l'hypothèse d'isotropie et pour estimer le retrait dans deux directions nous avons été amenés à concevoir un nouvel appareillage comportant pour les mesures dans le plan horizontal des capteurs sans contact du type barrière laser analogique et dans le plan vertical un capteur de déplacement inductif (fig. 2).

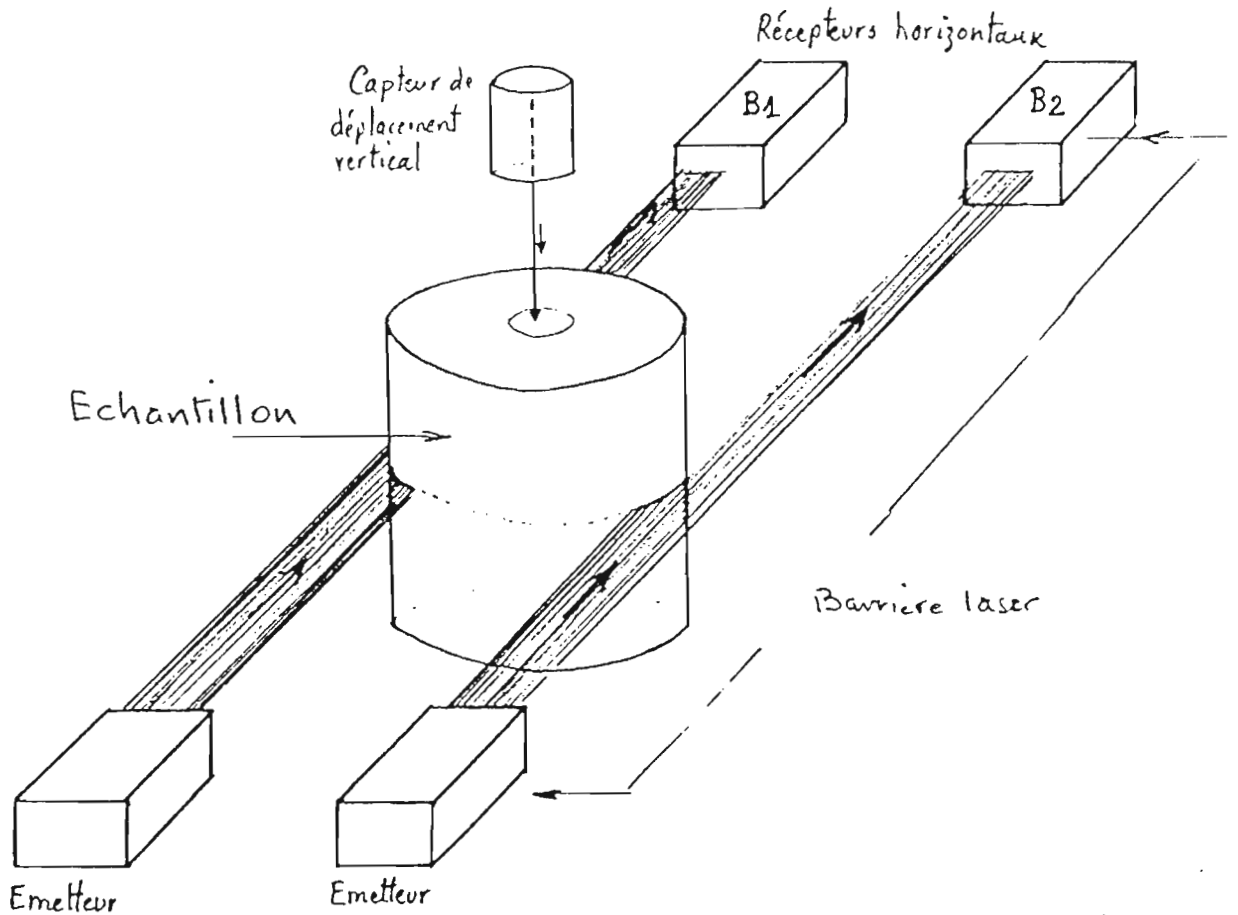


Figure 2 : schéma du dispositif de mesure.

Pour estimer l'influence du facteur cohésion sur le retrait nous avons enrichi les échantillons en matière organique fermentescible sous la forme d'apport de farine de luzerne aux doses de 1 et 2 %. Les échantillons ont ensuite été mis à incuber deux semaines dans une étuve à 28° C.

Pour minimiser la dispersion des résultats due à l'hétérogénéité des prélèvements nous avons préféré travailler sur des échantillons remaniés préparés à partir de terre tamisée à 2 mm extraite de l'horizon B du sol faiblement lessivé sur limons (parc de l'INA-PG GRIGNON). Tous les échantillons sont préparés de manière à avoir à saturation la même masse volumique, dans des cylindres de 50 mm de diamètre et 50 mm de hauteur. Les échantillons ainsi reconstitués enrichis ou non enrichis sont placés sur une plaque poreuse puis saturés avec de l'eau. Pour assurer la cohésion des agrégats les échantillons sont soumis à une contrainte de pression de 100 kilopascals (pF 3). Ainsi consolidés, ils seront extraits des cylindres métalliques. Ceux ayant reçu un apport de M.O. seront mis à l'étuve puis maintenus à l'humidité équivalente à pF 3 pendant toute la durée de l'incubation. Tous les échantillons seront saturés de nouveau avant d'être placés à plat sur le rétractomètre.

III. RESULTATS

Les courbes (I) et (II) sont calculées selon l'hypothèse de l'isotopie du retrait, (I) à partir des mesures faites dans le plan horizontal (diamètre du cylindre), (II) à partir des mesures réalisées dans le plan vertical (hauteur).

Courbes de retrait de l'échantillon témoin.

On constate (fig. 3) un écart significatif entre ces deux courbes. Comparée à la courbe (II), la courbe (I) présente pour toute l'étendue des mesures une plus forte amplitude $\Delta V_m = 0,18 \text{ cm}^3/\text{g}$ contre $0,09 \text{ cm}^3/\text{g}$. On observe aussi un retrait plus marqué aux fortes teneurs en eau entre 0,28 et 0,36 cm^3/g . Le rapport $V_m(\text{diam})/V_m(\text{haut})$ n'est pas constant et varie surtout pour les teneurs en eau supérieures à 30 % (fig. 4).

L'estimation des variations du volume et du retrait global est donc dans ce cas dépendante du sens de la mesure.

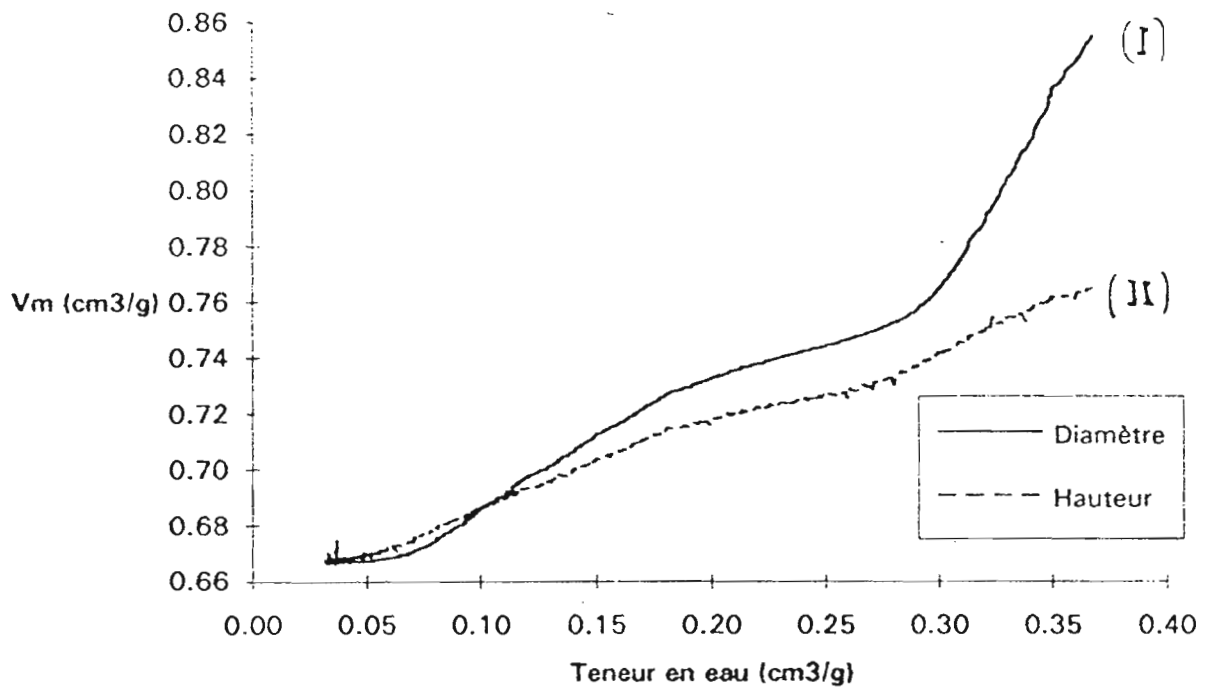


Figure 3 : courbes de retrait de l'échantillon témoin calculées d'après la mesure du diamètre (I) et de la hauteur (II).

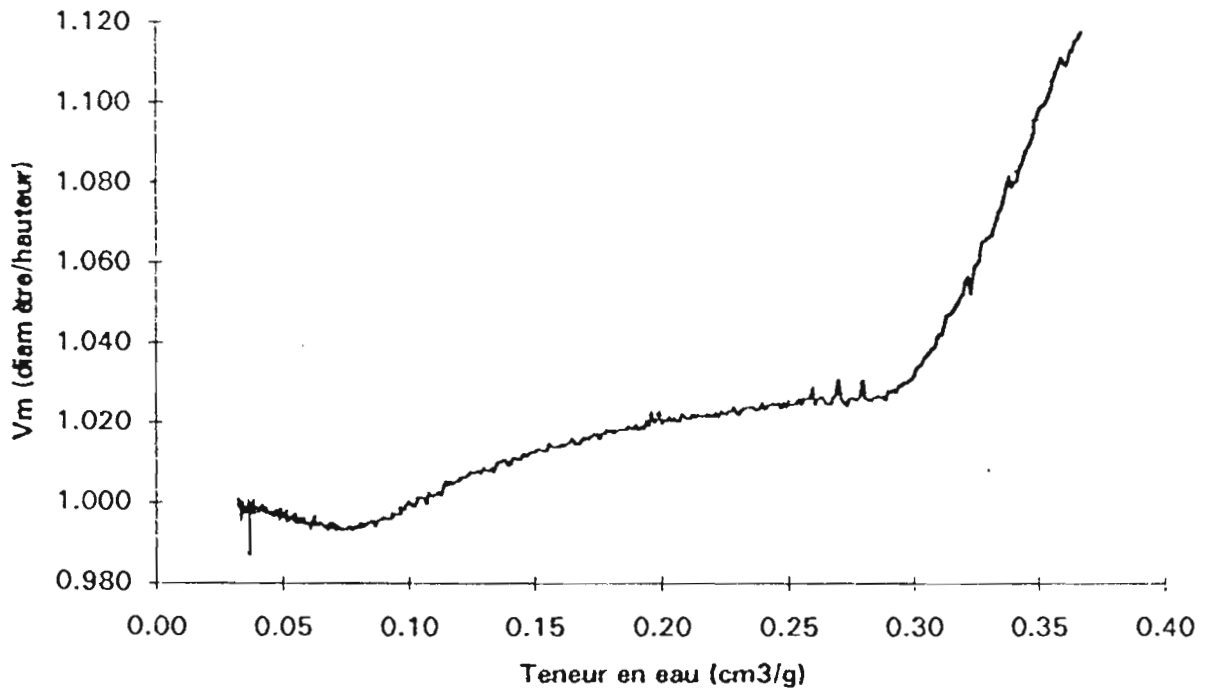


Figure 4 : variation du rapport des volumes massiques (V_m) calculés à partir du diamètre (I) et de la hauteur (II) de l'échantillon témoin, en fonction de la teneur en eau.

Courbes de retrait des échantillons enrichis en M.O. :

L'écart entre les courbes de retrait (I) et (II) est faible mais significatif (fig. 5). Le retrait global calculé à partir de la mesure du diamètre reste supérieur à celui calculé à partir de la hauteur. Entre les teneurs en eau 0,20 et 0,35 cm³/g les deux courbes présentent un long palier régulier hormis une petite inflexion au début du retrait un peu plus marquée sur la courbe (I).

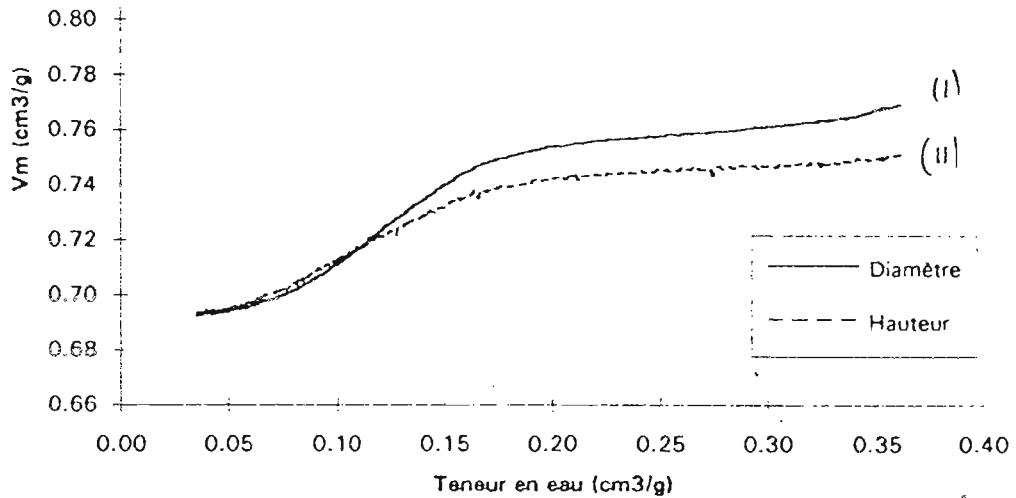


Figure 5 : courbes de retrait de l'échantillon enrichi à 1% de M.O. calculées d'après la mesure du diamètre (I) et de la hauteur (II).

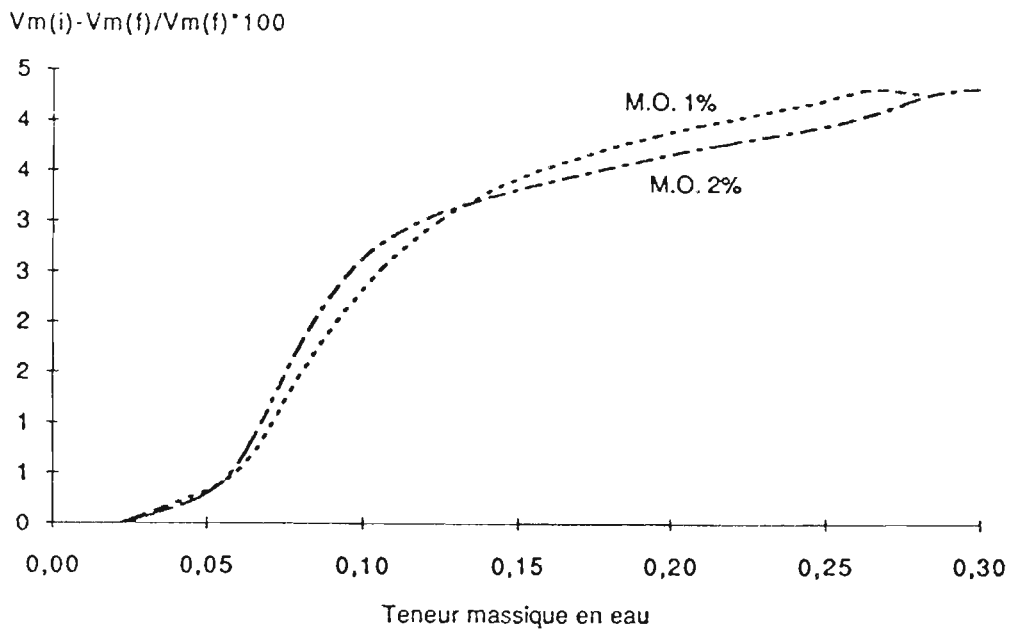


Figure 6 : courbes de retrait (exprimée en ΔVm) des échantillons enrichis à 1 et 2 % de M.O. calculées d'après la mesure de la hauteur (II).

Il ne semble pas y avoir un effet dose M.O. très marqué entre 1% et 2% ; les écarts observés sont peu significatifs compte tenu de l'absence de répétition (fig. 6).

Il existe bien un effet améliorant de la M.O. sur la stabilité de la structure et plus particulièrement sur la cohésion entre les particules et les agrégats préexistants (fig. 7). Rappelons que ces mesures sont faites sur échantillons reconstitués.

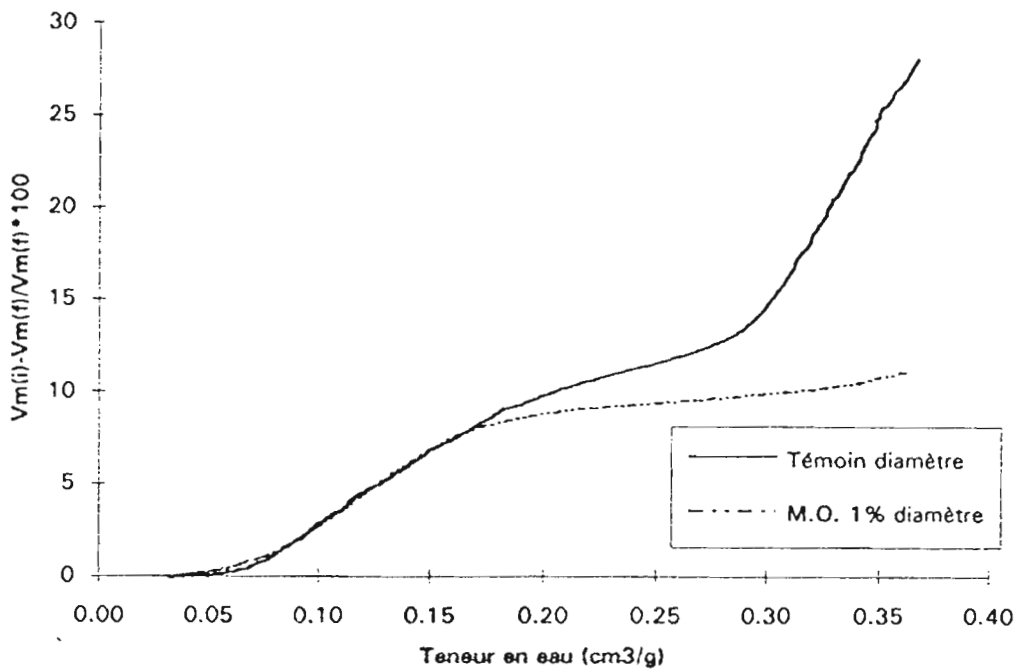


Figure 7 : courbes de retrait (exprimée en ΔV_m) des échantillons enrichis ou non calculées d'après la mesure du diamètre.

L'augmentation de cette cohésion a pour effet ici de limiter surtout le gonflement ou le foisonnement au moment de la réhumectation, celle-ci étant réalisée sans contrainte. A l'inverse, lors de la dessiccation, le retrait structural sera par conséquent plus limité. On constate cependant que le retrait normal n'est pas significativement affecté ainsi que le point d'entrée d'air dans la microporosité.

CONCLUSION

L'utilisation de nouveaux capteurs rendant possibles les mesures dans le plan horizontal a permis de révéler une anisotropie à l'échelle d'un échantillon reconstitué de terre tamisée à 2 mm.

L'apport de matières organiques a mis en évidence l'effet cohésion sur le comportement au gonflement et au retrait et les retombées sur la courbe de retrait.

Pour l'interprétation de ces courbes et des paramètres qui en résultent il apparaît maintenant nécessaire de prendre en compte non seulement le retrait vertical mais aussi horizontal ou de déterminer le coefficient d'anisotropie. La sensibilité au tassement, la cohésion, l'hétérogénéité (nature et organisation) des phases solides seront aussi des éléments à prendre en compte et donc à mieux observer et à mieux quantifier.

BIBLIOGRAPHIE

- BRAUDEAU E., 1987. Mesure automatique de la rétraction d'échantillons de sol non remaniés. *Science du sol*, 25, 2 : 85-95.
- BRAUDEAU E., 1988a. Equation généralisée des courbes de retrait d'échantillons de sol structuré. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, 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*, 307, II : 1933-1936.
- COLLEUILLE H., 1993. Approches physique et morphologique de la dynamique structurale des sols. Application à l'étude de deux séquences pédologiques tropicales. Thèse Univ. Paris VI. ORSTOM.
- MAPANGUI A., 1992. Etude de l'organisation et du comportement de sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari (Congo). Conséquences sur l'évolution physique sous culture de manioc en mécanisé depuis 15 ans. Thèse Univ. Paris VI. ORSTOM
- PANGO B., 1993. Evolution spatio-temporelle des sols rouges ferrallitiques du bassin versant de Booro-Borotou (Cote d'Ivoire). Thèse Univ. Paris VI. ORSTOM.
- PRAT C., 1991. Etude du talpetate, horizon volcanique induré de la région Centre Pacifique du Nicaragua. Genèse, caractérisation morphologique, physicochimique et hydrodynamique, son rôle dans l'érosion des sols. Thèse Université Paris VI. ORSTOM.

ROLE DE L'ETAT ENERGETIQUE DE L'EAU DANS LE TASSEMENT ET MODELISATION DE LA RETENTION DE L'EAU DES MATERIAUX ARGILEUX NON SATURES

Georges-Henri SALA*

INTRODUCTION.

De nombreux travaux ont montré que les matériaux deviennent sensibles au tassement au-delà d'un seuil de teneur en eau caractéristique de chacun [1], mais peu font cependant référence à l'état énergétique de l'eau et au rôle des forces d'hydratation dans le comportement et l'évolution du spectre poral des sols ; par ailleurs, des tentatives ont été faites pour prévoir la rétention d'eau de matériaux argileux [2], mais les modèles proposés ne sont pas suffisamment généraux pour prévoir leurs propriétés avec certitude : les argiles peuvent avoir différents comportements physiques selon leur environnement géochimique ou leur histoire énergétique [3]. L'objectif de cet exposé est de montrer d'une part l'importance de l'état énergétique de l'eau sur le mécanisme du tassement et l'existence d'un seuil, d'autre part sur quelles bases la rétention de l'eau par un matériau argileux quelconque peut être interprétée en vue de l'élaboration d'un modèle de prévision.

1.- MATERIAUX ET METHODES.

Une étude expérimentale a été réalisée sur des mottes de l'horizon Bt d'un sol lessivé limoneux de Versailles constitué à 85% d'un mélange d'argiles, et sur la kaolinite du gisement de St Austell en Grande Bretagne

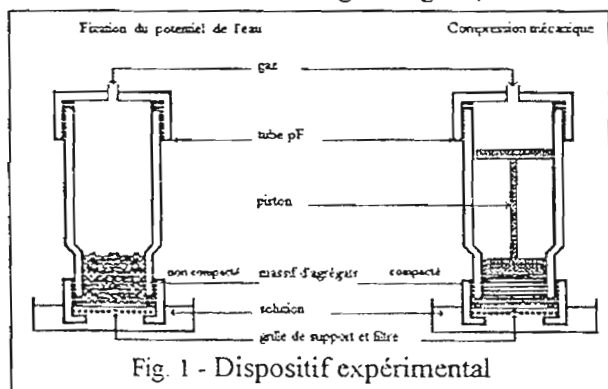


Fig. 1 - Dispositif expérimental

préparée sous forme de pâte. Les deux matériaux ont été séchés à l'air ou à l'étuve à 105°C, puis fragmentés, et des massifs d'agrégats de 0,1-0,5 et 0,1-2 mm ont été préparés par tamisage. Ceux-ci ont été humectés par capillarité puis portés à des pressions de succion de 0 à 200 kPa dans un dispositif (fig. 1) dans lequel la pression de gaz est d'abord appliquée directement sur le matériau, permettant de fixer le potentiel de l'eau [3] ; puis une pression mécanique unidimensionnelle variant de 0 à 1600 kPa lui a été appliquée. La cellule fonctionne alors comme un oedomètre dans lequel l'état hydrique initial de l'échantillon puis la compression

mécanique sont fixés. Volume apparent et contenu en eau des échantillons sont rapportés à la masse sèche (105°C).

Pour l'étude de la rétention de l'eau, 41 séries expérimentales de différents matériaux ont été exploitées : argiles 2:1 [smectites de basse (Montmorillonite du Wyoming MW et Grecque MG) et de haute (Smectite de Béthonvilliers SB) charge foliaire, interstratifiées (Argiles du Bt du sol de Versailles Arg BV) et illites (Illite du Puy IP)] ; argiles 1:1 (Halloysite de Guadeloupe HG, Kaolinite de Saint-Austell KSA et Kaolinite de Provins KP) ; sols argileux (horizon BV, horizons A et B d'un latosol du Brésil LAT). Certains échantillons ont été préparés sous forme de pâte (p) avec différents cations saturant la solution (Na, K, Ca, Mg ; 10⁻³M) ; d'autres, préalablement séchés à l'air ou à l'étuve, ont été tamisés en massifs d'agrégats (0,1-0,5mm : 1 ; 0,1-2mm : 2 ; 2-3mm : 3) ; un est une motte naturelle centimétrique (m). Tous ont été préparés à des potentiels de l'eau variés entre 0 et 1000 kPa et leur volume massique d'eau à 105°C (cm³ / g solide) systématiquement mesuré.

2.- TASSEMENT ET ETAT ENERGETIQUE DE L'EAU.

21.- Résultats et discussion. Les variations de volume des échantillons, fonction de la pression mécanique, sont présentées fig. 2 a, b. Chacune correspond à une succion allant de 0 à 200 kPa.

Quel que soit l'état hydrique initial, les courbes présentent le même aspect, l'essentiel du tassement étant obtenu entre 0 et 100 kPa environ. Les matériaux préparés à des potentiels de l'eau initiaux de -30 et -100 kPa sont ceux qui présentent, à toutes les pressions mécaniques, les plus faibles volumes apparents.

La fig. 3, qui représente la variation des volumes apparents en fonction de la teneur en eau initiale, montre que les minimums de volume apparents sont obtenus pour une gamme de teneur en eau initiale, propre à chaque matériau, centrée respectivement sur 0,5 (kaolinite) et 0,25 cm³/g (horizon B), valeurs qui correspondent en fait à des potentiels de l'eau initiaux très similaires : -30 kPa à -100 kPa.

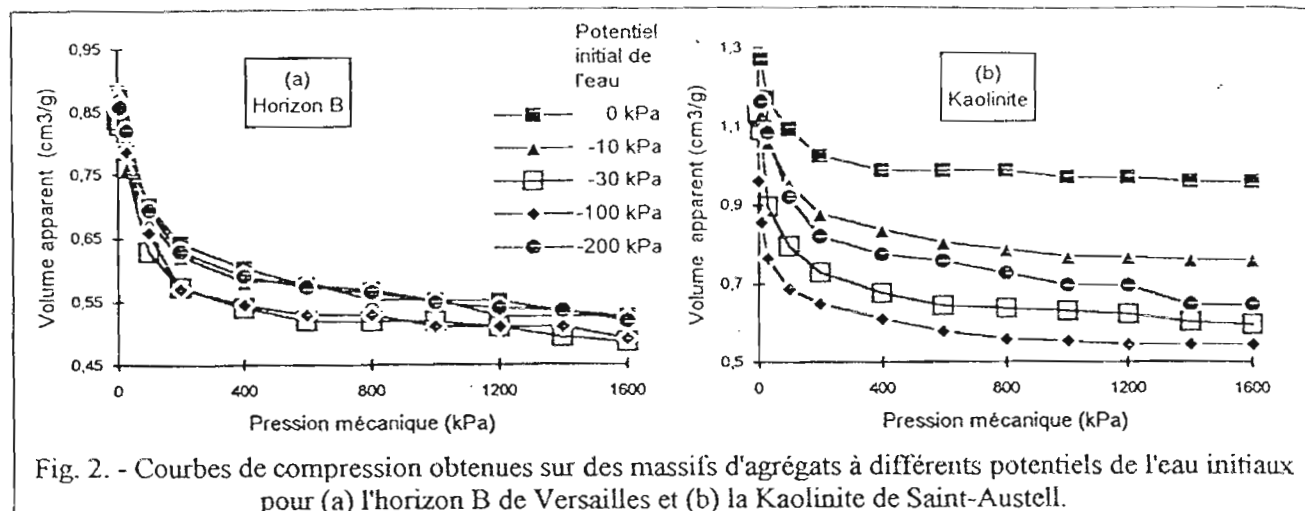


Fig. 2. - Courbes de compression obtenues sur des massifs d'agrégats à différents potentiels de l'eau initiaux pour (a) l'horizon B de Versailles et (b) la Kaolinite de Saint-Austell.

Plus que la teneur en eau, c'est donc l'état énergétique de l'eau qui doit être considéré comme une variable essentielle du comportement dans les matériaux non saturés. Par ailleurs, à pression mécanique nulle, le

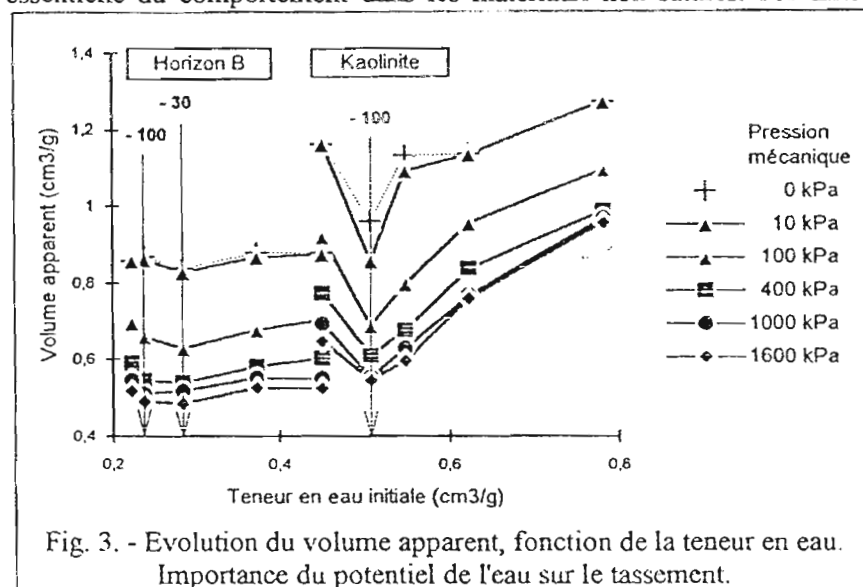


Fig. 3. - Evolution du volume apparent, fonction de la teneur en eau. Importance du potentiel de l'eau sur le tassement.

volume massique apparent des matériaux est aussi minimal pour des potentiels de l'eau de -30 à -100 kPa (fig. 3).

La compression mécanique influe donc peu sur la forme de la variation de volume des échantillons et ne fait qu'amplifier le tassement préalablement induit par les forces d'hydratation. La question est de savoir quelle part jouent respectivement les contraintes hydriques et mécaniques dans la réorganisation des matériaux non saturés d'eau.

Les massifs d'agrégats présentent deux types de porosité: la

première, résultant de l'arrangement des particules argileuses, est la porosité intra-agrégat qui, dans le domaine de potentiel de l'eau étudié (~ -200 kPa), est saturée d'eau [4]; la seconde, délimitée par l'empilement des agrégats, est la porosité inter-agrégats.

* Entre -30 et -100 kPa, les rayons de courbure des ménisques capillaires, compris (d'après la loi de Jurin-Laplace) entre 10 et $1,5 \mu\text{m}$ environ, suffisamment petits pour assurer la continuité du film d'eau entre les agrégats, sont susceptibles d'exercer une forte traction sur les parois des agrégats et les forces capillaires de provoquer leur rapprochement et une réduction du volume apparent.

* Pour les potentiels de l'eau < -100 kPa, le rayon de courbure des ménisques est $< 1,5 \mu\text{m}$. L'espace inter-agrégat est alors vide d'eau et les forces capillaires, qui n'interviennent plus dans le rapprochement des agrégats, leur assurent cependant une forte cohésion.

* Aux potentiels de l'eau > -30 kPa, la taille des pores est $> 10 \mu\text{m}$. L'eau occupe alors une grande partie de l'espace inter-agrégat. Le rayon de courbure des ménisques est alors trop grand pour que les forces capillaires puissent exercer une traction suffisante sur les parois des agrégats. En outre, comme les matériaux sont alors fortement saturés d'eau et la compression mécanique appliquée pendant un court laps de temps, ils sont largement incompactables [1].

22.- Conclusion. Le potentiel de l'eau initial joue donc un rôle décisif dans la réorganisation de matériaux non saturés de sols, soumis à des contraintes mécaniques qui n'entraînent qu'une réorganisation supplémentaire. Les forces capillaires gouvernent à la fois les variations de volume et la rétention de l'eau. Ces premiers résultats tendent à montrer que la teneur en eau des sols à hauts potentiels (< -5 kPa) [5], ne correspond probablement pas à la zone d'humidité la plus sensible au tassement. En revanche, dès la première phase du dessèchement (-30 à -100 kPa, soit $pF = 2.5$ à 3), les conditions apparaissent réunies pour que le sol devienne très sensible au tassement.

3.- RETENTION DE L'EAU.

31.- Etablissement d'une loi de comportement.- On sait que les pores ne contiennent plus d'eau au-delà d'une pression de succion >100 kPa environ (potentiel de l'eau < -100 kPa). Cette pression S_0 peut être considérée comme un point singulier de la courbe de rétention d'eau, délimitant les deux types d'espaces poreux.

La figure 4 montre les variations de contenu en eau de différents matériaux argileux en fonction de la pression de succion S , rapportée à S_0 . L'ajustement d'un modèle mathématique aux différentes courbes donne

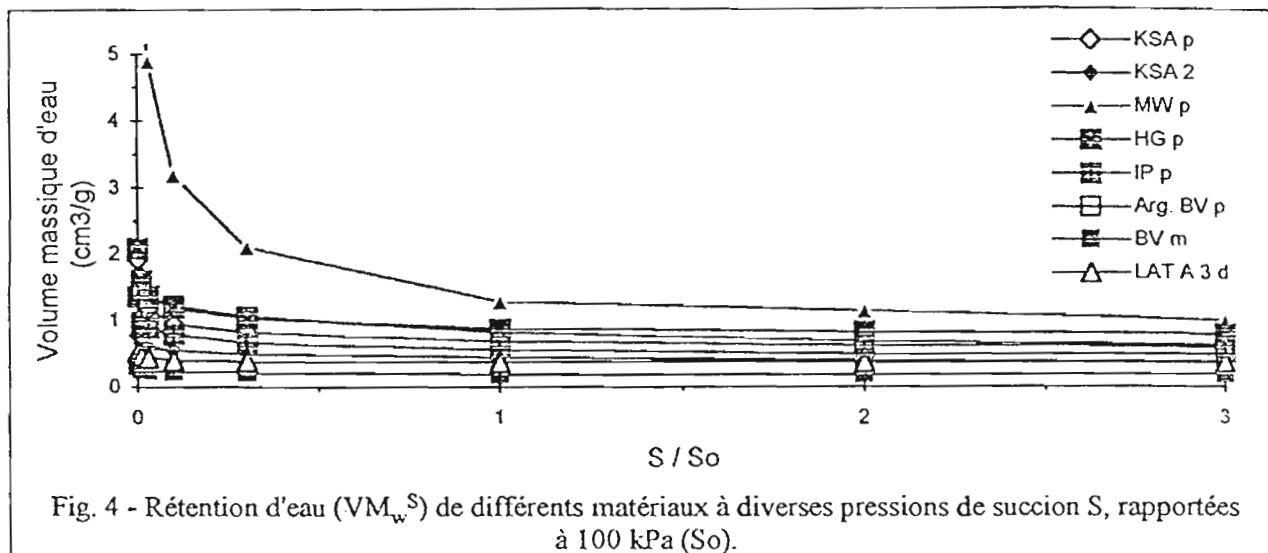


Fig. 4 - Rétention d'eau (VM_w^S) de différents matériaux à diverses pressions de succion S , rapportées à 100 kPa (S_0).

l'équation : $VM_w^S = A - a \text{Log} (S/S_0)$ (1) dans laquelle la constante (A) est caractéristique de l'échantillon, le coefficient de corrélation toujours >0,9 et dont le coefficient (a) sera discuté ci-après.

Il y a par ailleurs une relation forte entre $VM_w^{S_0}$ et (A) : $A = 1,24 VM_w^{S_0}$ ($r^2=0,98$, $n=41$).

(1) devient : $VM_w^S = 1,24 VM_w^{S_0} - a \text{Log} (S/S_0)$ (2).

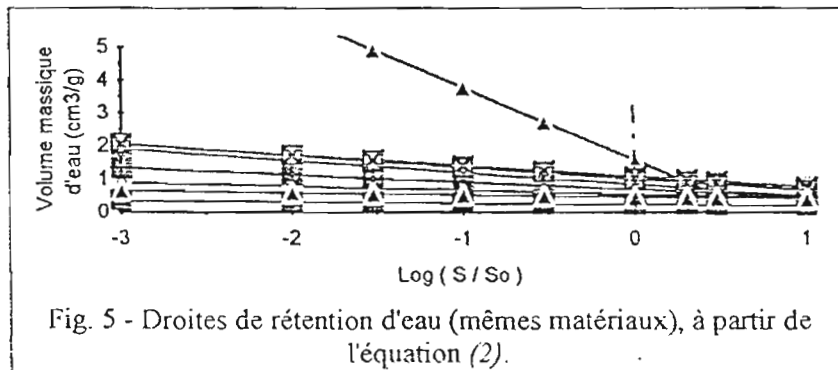


Fig. 5 - Droites de rétention d'eau (mêmes matériaux), à partir de l'équation (2).

La figure 5 présente les droites obtenues à partir de (2) pour des pressions de succion < ou =1MPa. Les valeurs calculées et expérimentales VM_w^S sont étroitement corrélées par la relation : $y = 0,193 + 0,908 x$ ($r=0,99$; $n=117$).

Ainsi l'équation (2) paraît valable pour toutes les séries étudiées et nous pouvons conclure que la rétention de l'eau par différents matériaux argileux

obéit à la même loi de comportement.

32.- Influence de certains facteurs sur la rétention en eau. Variation du coefficient a . La figure 6 montre les variations de (a) en fonction de la charge foliaire de pâtes d'argile et de la nature des cations de la solution saturante.

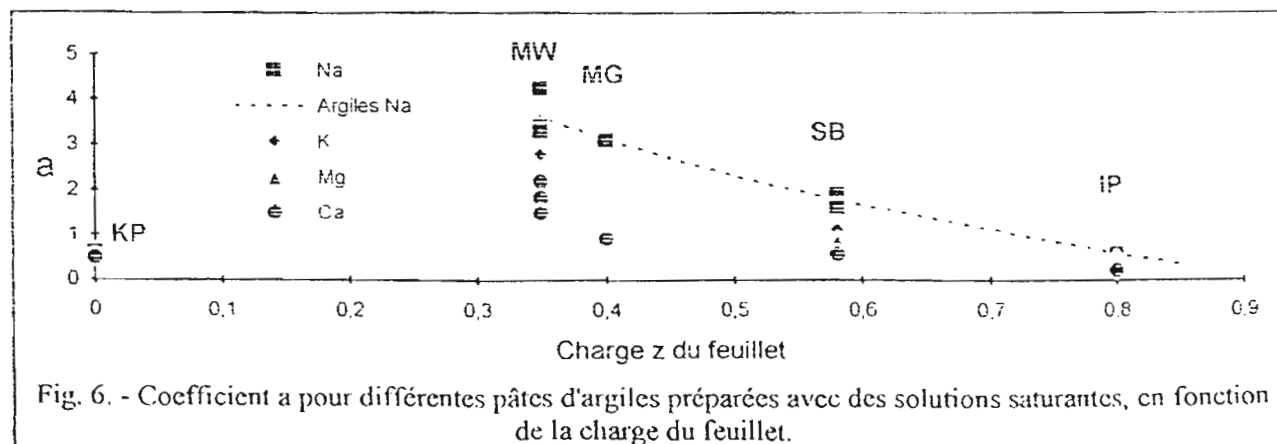
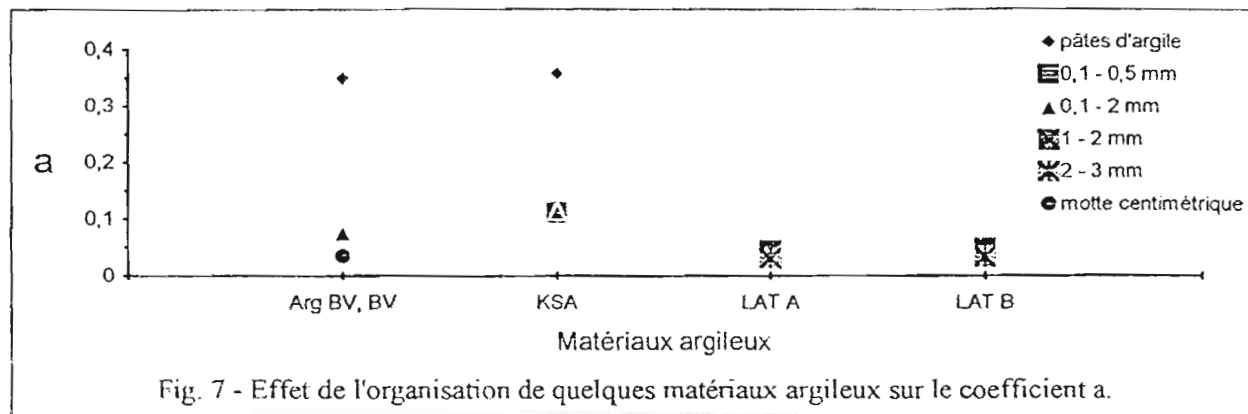


Fig. 6. - Coefficient a pour différentes pâtes d'argiles préparées avec des solutions saturantes, en fonction de la charge du feuillet.

saturante. Pour les argiles 2:1, plus (z) est élevé, plus (a) est faible : ($MW > MG > SB > IP$) ; les interstratifiées

(Arg BV) et les argiles 1:1 (KP) sont dans une situation semblable à celle des argiles de haute charge comme IP. En même temps, (a) décroît avec la nature du cation saturant dans l'ordre $\text{Na} > \text{K} > \text{Mg}$ and Ca. Cependant, cette influence est plus faible que celle de la charge foliaire, surtout quand une grande part de l'espace interfoliaire est anhydre : c'est le cas lorsque la charge du feuillet est élevée, donc que la proportion de cations échangeables est faible (illites), ou encore quand la charge du feuillet est nulle (kaolinites). Dans ces conditions, l'hydratation des matériaux argileux semble peu affectée par la nature du cation échangeable. La figure 7 montre les variations de (a) quand l'organisation du matériau varie. Ainsi (a) augmente pour chaque niveau d'organisation, depuis la motte naturelle centimétrique jusqu'à la pâte d'argile, en passant par le



massif d'agrégats (BV et Arg BV, KSA). Cependant, on peut noter que la rétention de l'eau est peu affectée par la taille des agrégats dans les massifs (KSA, LAT). A l'inverse, la préparation initiale, en particulier l'agitation mécanique des matériaux dans l'eau pour fabriquer des pâtes, semble affecter (a) et VM_w^{So} (KSA).

Il apparaît donc que le modèle proposé, qui nécessite confirmation, peut être utilisé pour prévoir la rétention de l'eau dans des matériaux argileux à différentes pression de succion (ou potentiels de l'eau) avec le contenu en eau VM_w^{So} à 100 kPa et le coefficient (a).

Références bibliographiques.

- [1] Faure A., 1978, Comportement des sols au compactage: rôle de l'argile et conséquences sur l'arrangement des grains. *Thèse Univ. Grenoble*, 137p.
- [2] Bruand A., Tessier D. et Baize D., 1988, Contribution à l'étude des propriétés de rétention en eau des sols argileux : importance de la prise en compte de l'organisation de la phase argileuse, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 307., Série II, p. 1937-1941
- [3] Tessier D., 1984, Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux, *Thèse*, Univ. Paris-VII, I.N.R.A. Versailles éd., 361 p.
- [4] Tessier D., Lajudie A. et Petit J.C., 1992, Relation between the macroscopic behavior of clays and their microstructural properties, *Applied Geochemistry*, 1, p. 151-161
- [5] Haal D.G.M., Reeve M.J., Thomasson A.J. et Wright V.F., Water retention porosity and density of field soils, *Soil Survey Tech. Monogr.*, n° 9, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Gde-Bretagne, 75 p.

PARTICIPANTS A LA REUNION DU 06/09/93

NOM	ORGANISME	ADRESSE
BARRERE Bénédicte	Stagiaire ESAP	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
BECQUER Thierry	ORSTOM - UR 3D	BP A5, Nouméa Cedex NOUVELLE CALEDONIE
BELLIER Gérard	ORSTOM - UR 1G	72 rue d'Aulnay 93143 Bondy Cedex
BIDON Stéphanie	Stagiaire ESAP	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
BLANCANEAUX Philippe	ORSTOM - UR 3D	EMPRAPA, CP 10125 74000 Goiânia, BRESIL
BRAUDEAU Erik	ORSTOM - UR 2B	BP 1386, Dakar, SENEGAL
CHOTTE Jean-Luc	ORSTOM - GP. BST	BP 8006 97259 Fort de France Cedex MARTINIQUE
COLLEUILLE Hervé	ORSTOM - UR 2B	72 rue d'Aulnay 93143 Bondy
De BLIC Philippe	ORSTOM - UR 3D	01 BP 182, Ouagadougou 01 BURKINA FASO
DENIS Bernard	ORSTOM - UR 3D	213 rue la Fayette 75480 Paris Cedex 10
DE NONI Georges	ORSTOM - UR 3D	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
FELLER Christian	ORSTOM - GP. BST	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
HAINNAUX Guy	ORSTOM - MAA	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
HARTMANN Christian	ORSTOM - UR 3D	213 rue la Fayette 75480 Paris Cedex 10
LARRE-LARROUY M-Christine	ORSTOM - UR 3D	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
LEPRUN J-Claude	ORSTOM - UR 2B	CP 4010 Boa Viagem 50000 Recife (Pe), BRESIL
MOREAU Roland	ORSTOM - UR 3D	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1

NICOU Robert	CIRAD	Av. Agropolis, BP 5035 34032 Montpellier Cedex 1
SALA Georges-Henri	ORSTOM - UR 3D	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
TESSIER Daniel	INRA	Station Sciences du Sol, Rte de St Cyr 78026 Versailles Cedex
VIENNOT Marc	ORSTOM - UR 3D	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1
VIZIER Jean-François	ORSTOM - UR 3D	911 Av. Agropolis - BP 5045 34032 Montpellier Cedex 1