

**EVOLUTION DE LA GEOMETRIE DE L'ESPACE PORAL DES SOLS
LORS DU PASSAGE DU DOMAINE FERRALLITIQUE
AU DOMAINE FERRUGINEUX ET HYDROMORPHE
EXEMPLE DU BASSIN DE BOORO BOROTOU (COTE D'IVOIRE)**

Ary Bruand⁽¹⁾, Erik Braudeau⁽²⁾ et Emmanuel Fritsch⁽³⁾

(1) INRA Orléans, SESCOF, Ardon, 45160 Olivet.

(2) ORSTOM, Centre de Bondy, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy.

(3) ORSTOM, Antenne auprès du Centre de Pédologie Biologique, 17, rue Notre Dame des Pauvres, BP 5, 54501 Vandoeuvre les Nancy.

RESUME

L'analyse des variations de l'espace poral est faite à partir des données de la porosimétrie au mercure et de la rétractométrie. Les résultats conduisent à l'identification de deux volumes poraux fonctionnellement distincts : un volume microporal dû à l'assemblage des constituants fins (argile, oxydes de fer) et un volume macroporal qui est le complémentaire du volume microporal au volume poral total. Outre cette distinction, les résultats montrent que le volume et le comportement de chaque compartiment poral varie très significativement le long de la séquence de transformation entre les domaines ferrallitique et ferrugineux.

ABSTRACT

Pore space geometry changes associated with the transformation of ferrallitic soils into ferruginous soils : Example of the Booro Borotou watershed (Ivory Coast).

Pore space changes were analyzed by using mercury porosimetry and shrinkage properties. Two pore compartments were identified : (i) micro-pores due to clay fabric and (ii) macro-pores of which the volume was equal to the difference between the total pore and micro-pore volumes. In addition to that distinction, results showed that the volume and the behaviour of each compartment varied highly along the transformation soil sequence between the ferrallitic and ferruginous soils.

INTRODUCTION

La géométrie de l'espace poral d'un sol est très généralement liée à la nature et au mode d'arrangement de ses constituants, ainsi qu'à son état hydrique. C'est pourquoi les transformations minéralogiques et structurales qui s'y produisent peuvent être à l'origine de variations importantes de la géométrie des pores et de leur dynamique en fonction de l'état hydrique (Humbel, 1976 ; Chauvel *et al.*, 1976 ; Chauvel, 1977).

L'objectif de cette étude est l'analyse des variations de la géométrie de l'espace poral dans une séquence de transformations où l'on passe de sols du domaine ferrallitique à des sols du domaine ferrugineux et hydromorphe (Fritsch *et al.*, 1986).

MATERIEL ET METHODES

Des cylindres de sol ($h = 3 \text{ cm}$; $\phi = 5,6 \text{ cm}$) ont été prélevés dans les horizons minéraux, à une quarantaine de centimètres de profondeur, de façon à échantillonner les principales étapes des transformations minéralogiques et structurales qui se produisent lors de la transformation des sols rouges (domaine ferrallitique) en sols jaunes (domaine ferrugineux et hydromorphe) (Fritsch *et al.*, 1990). La localisation des prélèvements est donnée dans la figure 1.

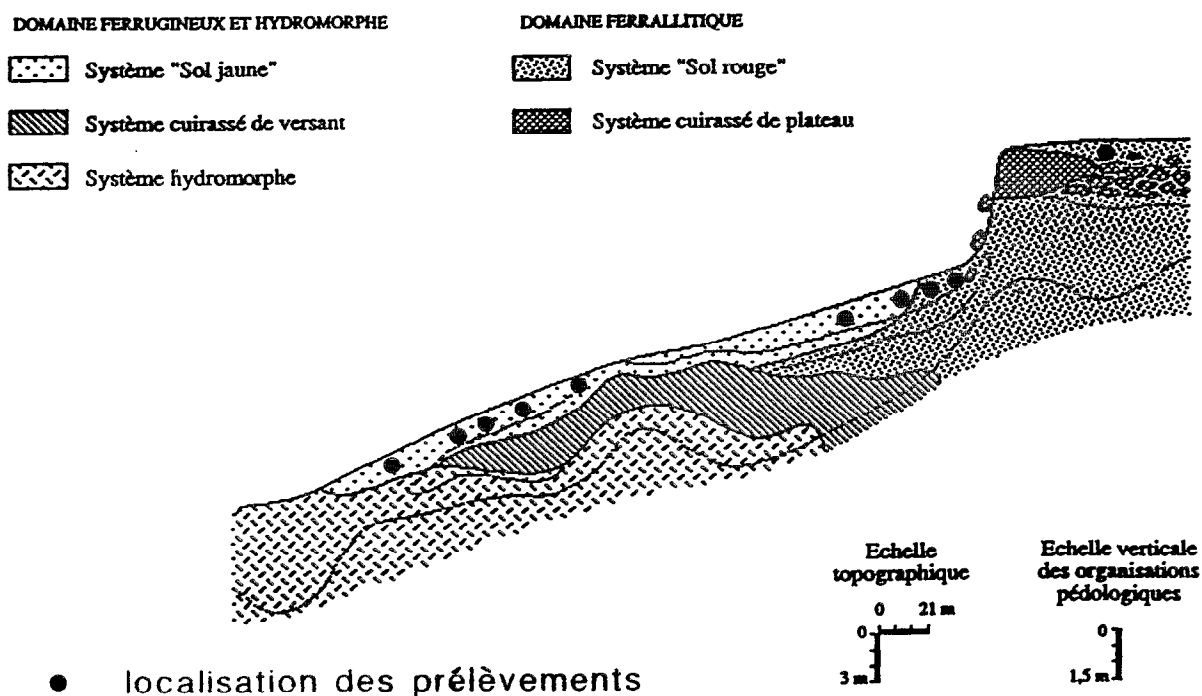


Figure 1. Les grands ensembles de la couverture pédologique de Booro-Borotou (d'après Fritsch *et al.*, 1990).

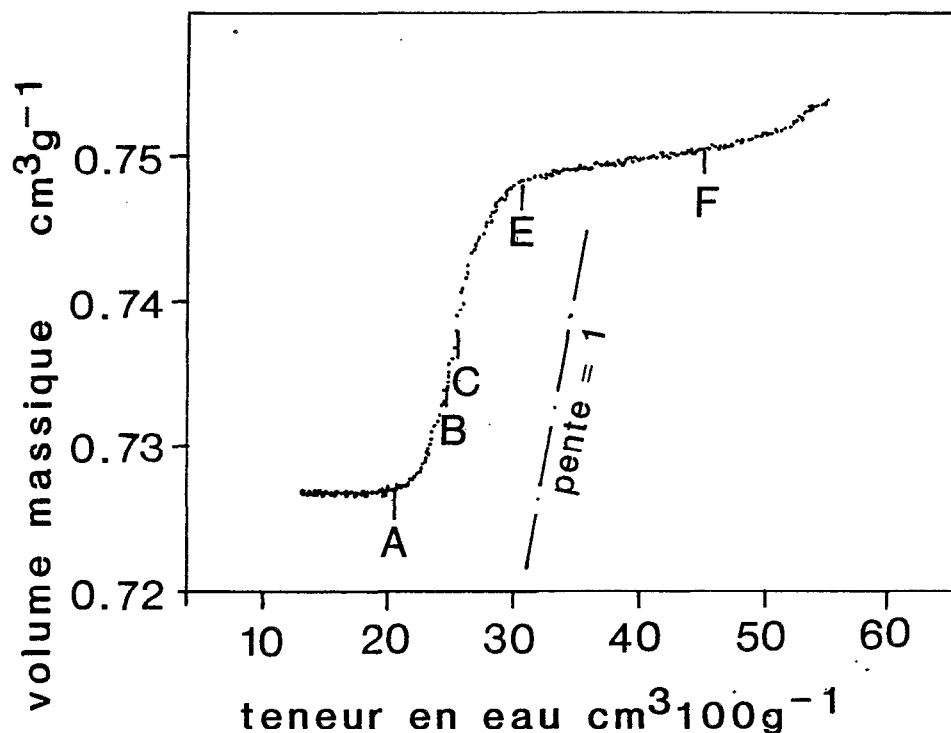


Figure 2. Représentation schématique d'une courbe de retrait et localisation des cinq points caractéristiques A, B, C, E et F (d'après Braudeau, 1988a et b).

La diminution de volume (retrait) de ces cylindres lors de leur dessiccation a été étudiée à l'aide du dispositif mis au point par Braudeau (1987). Les courbes de retrait ainsi obtenues peuvent être décrites à l'aide de cinq points caractéristiques (figure 2) définis indépendamment des valeurs de potentiel de l'eau en ces points. Cette démarche d'analyse et de formalisation de la courbe de retrait a été proposée par Braudeau (1988a et b). Les cylindres une fois séchés ont été fragmentés à la main en agrégats de dimensions centimétriques (5-8 cm³) pour l'étude en porosimétrie au mercure (Vachier et al., 1979 ; Fies, 1984). La courbe du volume poral cumulé en fonction du diamètre équivalent des pores a été décomposée en plusieurs volumes poraux limités chacun par des points d'inflexion subhorizontaux (minima de la courbe dérivée) (figure 3) (Bruand et Prost, 1987).

RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse des variations structurales accompagnant le passage "sols rouges-sols jaunes" dans le bassin versant a montré que l'on pouvait aisément distinguer plusieurs modes d'organisation de la phase minérale (Eritsch *et al.* 1990). Il en résulte l'existence

de plusieurs types de volumes poraux qui diffèrent par leur origine, leur dynamique en fonction de l'état hydrique et leur taille.

L'étude de ces volumes poraux a été faite à deux teneurs en eau : (i) à l'état sec, à partir des données de la porosimétrie au mercure et de la rétractométrie, et (ii) à la teneur en eau correspondant au point E (figure 2), à partir des seules données de la rétractométrie.

L'analyse de l'ensemble des résultats a montré que toutes les courbes obtenues en porosimétrie au mercure présentent une forme générale analogue à celle présentée figure 3. Deux volumes poraux sont identifiables, l'un est accessible à des pores de diamètre équivalent (D_e) compris entre $0,006 \mu\text{m}$ et $0,4 \mu\text{m}$ (maximum d'intrusion à $0,10-0,15 \mu\text{m}$), l'autre à des pores de D_e compris entre $0,4 \mu\text{m}$ et $400 \mu\text{m}$ (maximum d'intrusion à $10-30 \mu\text{m}$). Le premier volume poral, qui correspond aux pores les plus petits, résulte de l'assemblage des constituants fins (argile, oxydes de fer) (Diamond, 1970 ; Cambier et Prost, 1981) ; le second, qui correspond aux pores les plus grands, est par contre dû à un ensemble de pores constitués de pores d'assemblage d'agrégats, de cavités et chenaux, de fissures, de pores d'assemblages des grains de quartz ou pores interstitiels. Pour cet ensemble de pores, il n'a pas été possible de discuter les

par la suite de volume microporal et de volume macroporal. On identifie de même en rétractométrie deux volumes poraux fonctionnellement distincts (Braudeau 1988b) : un volume microporal, mesuré au point d'entrée d'air B de la courbe de retrait (figure 2 ; en ce point, l'eau contenue dans l'échantillon occupe entièrement et exclusivement la microporosité) et un volume macroporal qui est le complémentaire du volume microporal dans le volume poral total.

Volume poral total

Le volume poral total des cylindres au point A de la courbe de retrait (limite de retrait) (figure 2) décroît des sols rouges du domaine ferrallitique vers les sols jaunes les plus en amont de la séquence, puis croît faiblement vers le bas de la séquence (figure 4a). Cette courbe présente la forme d'un V dissymétrique. Le volume poral total au point E (figure 2), c'est-à-dire à la teneur eau correspondant au début du retrait, montre la même évolution le long de la séquence que le volume poral total en A.

Volume microporal

l'aval de la séquence (figure 1b). Cette variation est caractéristique des sols de la zone

Sills *et al.*, 1974 ; Cambier et Prost, 1981).

Le volume microporal peut aussi être calculé à partir de la courbe de retrait (Braudeau, 1988 a et b). Au point A (figure 2), ce volume microporal n'est pas significativement différent de celui déduit de la courbe d'intrusion de mercure en chaque point de la séquence (figure 4b).

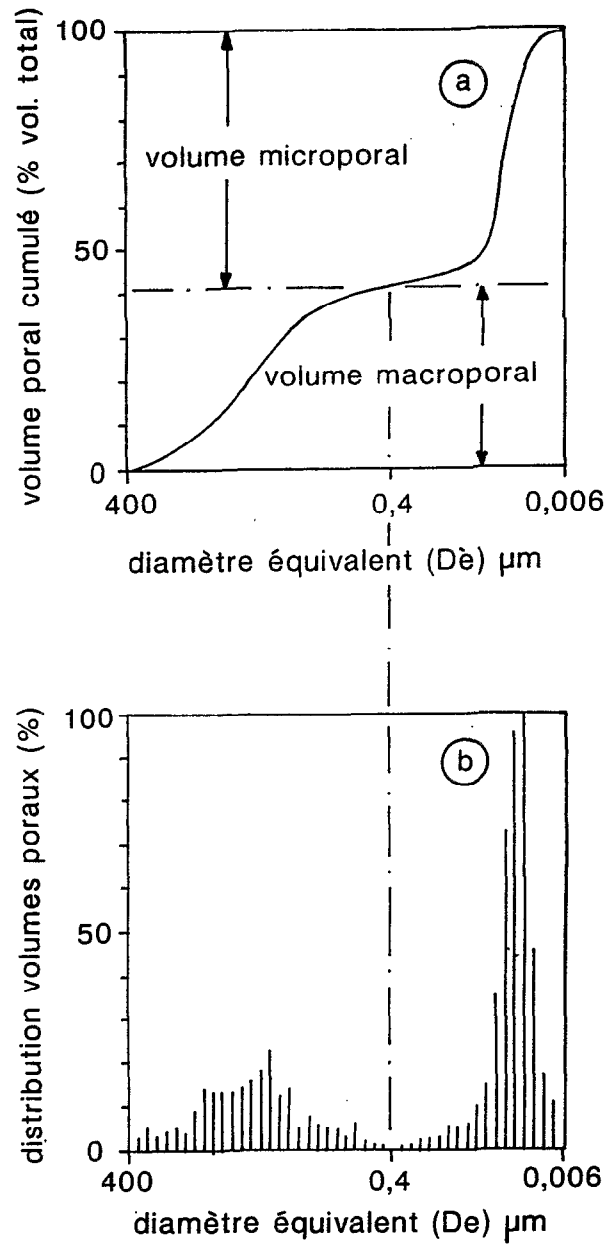


Figure 3. Représentation schématique d'une courbe de volume poral cumulé (a) et de sa courbe dérivée (b).
Définition des volumes microporal et macroporal.

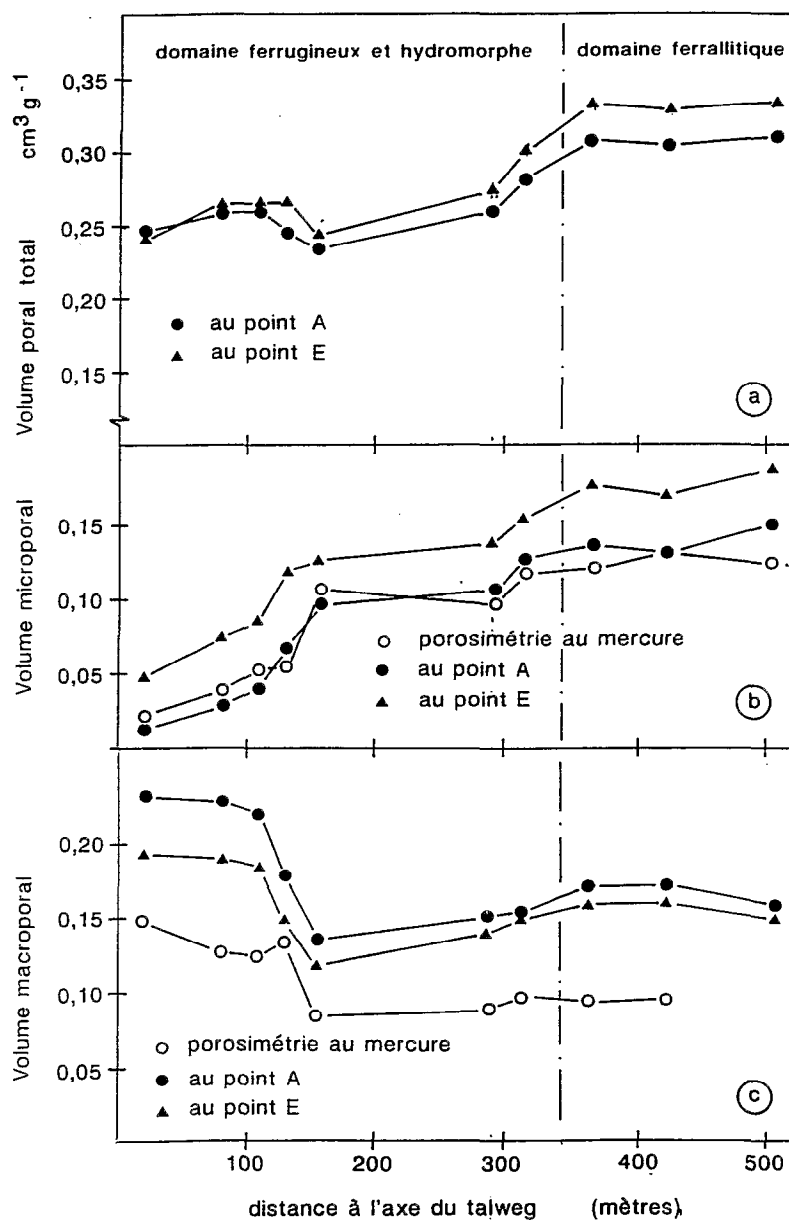


Figure 4. Variations du volume poral total (a), des volumes macroporal (b) et microporal (c) en fonction de la distance à l'axe du talweg.

4-a : volume poral total aux points A (●) et E (▲) de la courbe de retrait.

4-b : volume microporal obtenu en porosimétrie au mercure (○), et à partir de la courbe de retrait aux points A (●) et E (▲).

4-c : volume macroporal obtenu en porosimétrie au mercure (○), et à partir de la courbe de retrait aux points A (●) et E (▲).

Par ailleurs, les courbes de retrait obtenues en rétractométrie permettent de calculer le volume microporal au point E de la courbe de retrait (figure 2). L'évolution de ce volume microporal en E le long de la séquence est représenté figure 4b. On constate que l'écart entre le volume microporal en E et celui en A est pratiquement constant ($0,03$ à $0,04 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) sur toute la toposéquence, malgré la forte diminution du taux d'argile d'amont en aval. Si l'on trace la courbe du volume microporal en E en le rapportant à la phase argileuse seule (figure 5), on note alors une augmentation très nette des propriétés de gonflement de la phase argileuse dans les sols jaunes, au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'axe du talweg. Ceci est en accord avec les observations de Fritsch *et al.* (1990) qui notent l'apparition dans les sols jaunes de minéraux argileux de type smectite qui seraient à l'origine des valeurs élevées de volume microporal lorsque celui-ci est rapporté à la phase argileuse (Tessier, 1984).

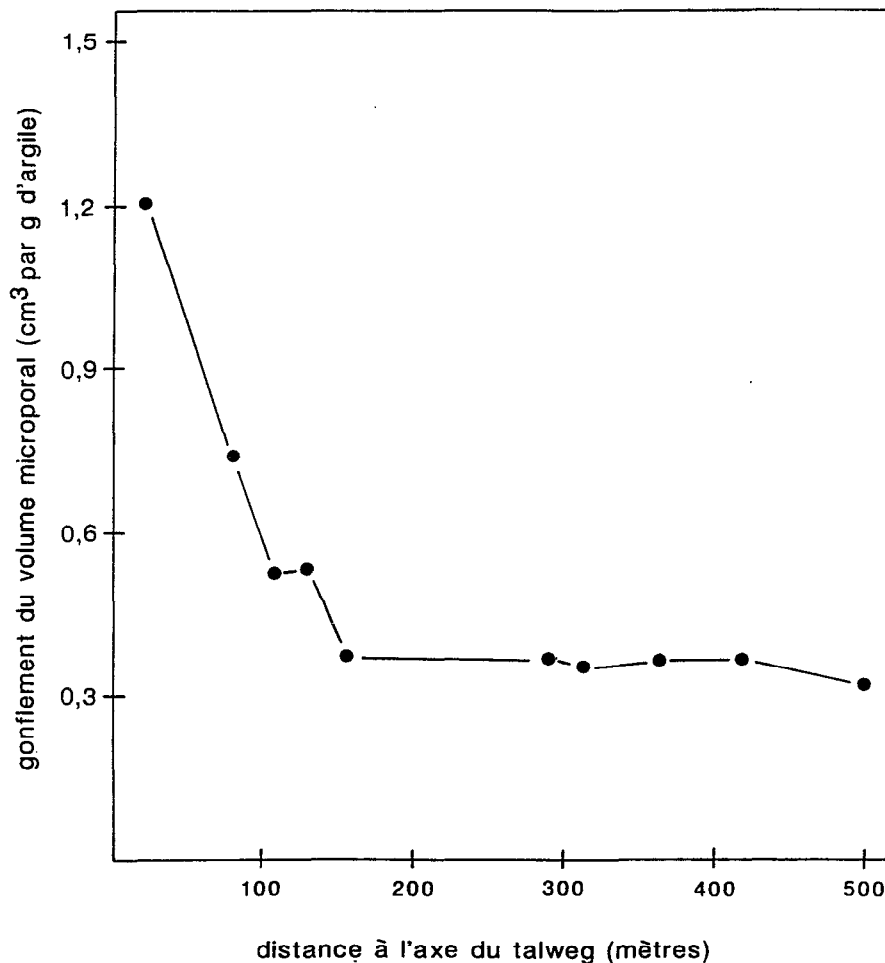


Figure 5. Volume microporal au point E rapporté à la phase argileuse en fonction de la distance à l'axe du talweg.

Volume macroporal

Le volume macroporal mesuré en porosimétrie au mercure ne varie pas sensiblement des sols rouges aux sols jaunes les plus amonts de la séquence, puis il croît nettement vers l'aval (figure 4c).

Le volume macroporal calculé au point A de la courbe de retrait (Braudeau, 1988a et b) est supérieur au volume macroporal déduit de la courbe d'intrusion de mercure. Ceci s'explique aisément par la taille de l'échantillon analysé qui est cinq fois plus importante en rétractométrie qu'en porosimétrie au mercure. Par ailleurs, à la différence du volume macroporal déduit de la courbe d'intrusion de mercure, le volume macroporal au point A de la courbe de retrait présente une légère décroissance des sols rouges vers les sols jaunes les plus amonts de la séquence (figure 4c). L'analyse des courbes de retrait montre que le volume macroporal en E est inférieur au volume macroporal en A. La différence entre ces deux derniers volumes est d'autant plus importante que la phase argileuse est gonflante.

Par ailleurs, le volume macroporal en A et celui en E sont à leur valeur minimale à un même endroit de la séquence de transformation "sols rouges-sols jaunes". Ceci est à mettre en relation avec les données présentées par Fritsch *et al.* (1990) qui montrent que la distance inter-quartz diminue linéairement avec la teneur en argile jusqu'à une teneur de 35%. L'interprétation est que les grains de quartz se rapprochent sans qu'il apparaisse de nouveaux pores. Puis, pour les teneurs en argile inférieures à 35%, une proportion de grains de quartz croissante avec la diminution de teneur en argile, sont au contact les uns avec les autres. Un volume poral de type interstitiel apparaît au dessous du seuil de 35 % de teneur en argile et augmente avec l'appauvrissement en argile. Or la teneur en argile de 35% correspond au point de la séquence où le volume macroporal en A et celui en E sont à leur valeur minimale. Par conséquent, la forme en V des courbes obtenues pour ces deux grandeurs, est à attribuer à une diminution globale du volume de pores fissuraux inter-agrégats et biologiques jusqu'à la teneur en argile de 35% où apparaît un volume de pores "inter-grains de quartz". La diminution du volume macroporal dû à la perte de structure est alors compensé par l'apparition d'un volume poral "inter-grains de quartz" et le volume macroporal croît de nouveau.

CONCLUSION

Outre la cohérence des résultats obtenus en porosimétrie au mercure et en rétractométrie, cette étude montre l'intérêt d'une analyse des variations de volume des différents compartiments de l'espace poral.

La transformation des sols rouges en sols jaunes s'accompagne de variations de géométrie de l'espace poral importantes. Elles concernent les pores "inter-agrégats", "inter-grains de quartz" et ceux de la phase argileuse. Ces variations sont à relier aux différences de fonctionnement hydrique, mises en évidence le long de la séquence.

De façon plus générale, ces résultats doivent permettre de formuler des hypothèses et de préciser les mécanismes qui sont à la base de l'évolution de la composition et du comportement des sols au sein de la couverture pédologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Braudeau (E.)**, 1987. Mesure automatique de la porosité par la porosimétrie au mercure. *Agronomie*, 4(2), 891-899.
- Braudeau (E.)**, 1988a. Equation généralisée des courbes de retrait d'échantillons de sol structurés. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, série 11, 1731-1734.
- Braudeau (E.)**, 1988b. Essai de caractérisation quantitative de l'état structural d'un sol basé sur l'étude de la courbe de retrait. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, série 2, 1933-1936.
- Bruand (A.) et Prost (R.)**, 1987. Effect of water content on the fabric of a soil material : an experimental approach. *Journal of Soil Science*, 38, 461-462.
- Cambier (P.)**, Prost (R.), 1981. Etude des associations argile-oxyde : organisation des constituants d'un matériau ferrallitique. *Agronomie*, 1(9), 713-722.
- Chauvel (A.)**, Pedro (G.), Tessier (D.), 1976. Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaolinitiques. Etudes expérimentales *Science du Sol*, 2, 101-115.
- Chauvel (A.)**, 1977. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. *ORSTOM, Coll. Travaux et Documents*, Paris, n°62, 532 p.
- Diamond (S.)**, 1970. Pore size distributions in clays. *Clays and Clay Minerals*, 18, 7-23.
- Fies (J.C.)**, 1984. Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelettes : comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie*, 4(2), 891-899.
- Braudeau (E.)**, 1988a. Equation généralisée des courbes de retrait d'échantillons de sol structurés. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, série 11, 1731-1734.
- Braudeau (E.)**, 1988b. Essai de caractérisation quantitative de l'état structural d'un sol basé sur l'étude de la courbe de retrait. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, série 2, 1933-1936.
- Bruand (A.) et Prost (R.)**, 1987. Effect of water content on the fabric of a soil material : an experimental approach. *Journal of Soil Science*, 38, 461-462.
- Cambier (P.)**, Prost (R.), 1981. Etude des associations argile-oxyde : organisation des constituants d'un matériau ferrallitique. *Agronomie*, 1(9), 713-722.
- Chauvel (A.)**, Pedro (G.), Tessier (D.), 1976. Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaolinitiques. Etudes expérimentales *Science du Sol*, 2, 101-115.
- Chauvel (A.)**, 1977. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. *ORSTOM, Coll. Travaux et Documents*, Paris, n°62, 532 p.
- Diamond (S.)**, 1970. Pore size distributions in clays. *Clays and Clay Minerals*, 18, 7-23.
- Fies (J.C.)**, 1984. Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelettes : comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie*, 4(2), 891-899.
- transformations d'un paysage cuirasse au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire sur formations greisso-migmatiques. in : Séminaire Régional sur les latérites. ORSTOM, Collection Colloques et Séminaires**, 12p. 11 fig.
- Fritsch (E.)**, Herbillon (A.J.), Jeanroy (E.), Pillon (P.), Barres (O.), 1990. Variations minéralogiques et structurales accompagnant le passage "sols rouges-sols jaunes" dans un bassin versant caractéristique de la zone de contact forêt-savane de l'Afrique occidentale (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). *Sciences Géologiques*, à paraître.
- Humbel (F.X.)**, 1976. L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. Caractéristiques et comportements en relation avec les régimes hydriques et les bioclimats. *ORSTOM, Coll. Travaux et Documents*, Paris, n°54, Paris, 306 p.
- Sills (I.D.)**, Aylmore (L.A.G.), Quirck (J.P.), 1974. Relationship between pore size distributions and physical properties of clay soils. *Australian Journal of Soil Research*, 12, 102-117.
- Tessier (D.)**, 1984. Etude expérimentale de l'organisation des minéraux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. *Thèse d'Etat, Univ. Paris 7*, 361 p.
- Vachier (P.)**, Cambier (P.), Prost (R.), 1979. Structure d'un milieu poreux : la craie. *Annales agronomiques*, 39(3), 247-263.