

Evolution structurale de la tranchée de drainage en sol argileux :

Importance de la nature minéralogique de l'argile

Talaat SAFAR (1)
Ary BRUAND (2)
René PROST (3)

RÉSUMÉ

Les propriétés de rétention d'eau de mottes de taille centimétrique provenant de la tranchée de drainage et du sol en place sont comparées dans deux périmètres expérimentaux situés en Lorraine. Les résultats indiquent que, bien que l'hydratation de l'argile soit la même dans le sol en place pour les deux périmètres, elle est par contre très différente dans la tranchée de drainage. Cette différence de comportement est expliquée par des variations de nature minéralogique de l'argile entre les deux périmètres expérimentaux.

MOTS-CLES : sol argileux - tranchée de drainage - structure.

STRUCTURAL EVOLUTION OF THE DRAINAGE TRENCH BACKFILL IN CLAYEY SOILS : SIGNIFICANCE OF CLAY MINERALOGY

The water retention properties of centimetric clods from the trench backfill (samples AT and BT) and from the undisturbed soil (samples AS and BS) were compared in two field experiments (Ancerville : AS and AT ; La Bouzule : BS and BT). The field experiments of Ancerville and La Bouzule are located on triassic (Keuper) and jurassic (Lias) marls, respectively. For both field experiments, the soil studied is a chromic cambisol (FAO, 1974). The results showed high differences in the water content in the range of pressure between 10^4 and $3.2 \cdot 10^6$ Pa (Figure 1). The water retained by the clods between 10^4 and $3.2 \cdot 10^6$ Pa was attributed to pores due to clay fraction as suggested by BRUAND and PROST (1987). Our results were compared to earlier works (ALVAREZ-MARQUES et al., 1974 ; SORANI and BRUAND, 1991). The relationship between the clay mineralogy, expressed as the cation exchange capacity of the clay particles (Table 1), and the highest water content of the clay fraction after swelling within the trench backfill is discussed (Figure 2). Results showed a close relationship between the water amount retained by the clay fraction and the clay mineralogy (Figure 2). Such a relationship could be used to estimate the rehydration, and thus the swelling potential, within the trench backfill.

KEY-WORDS : clayey soil - trench backfill - structure.

- (1) Service Sciences du Sol. ENSAIA. Avenue de la Forêt-de-Haye 54500 Vandoeuvre-les-Nancy.
Adresse actuelle : Faculté d'Agriculture. Université d'Alep. B.P. 4230 Alep. Syrie.
(2) Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France. INRA. Ardon 45160 Olivet.
(3) Station de Science du Sol. INRA. Route de St Cyr 78026 Versailles.

INTRODUCTION

Le matériau de remplissage de la tranchée de drainage en sol argileux évolue au cours du temps par gonflement et réarrangement des mottes créées lors des travaux d'installation du réseau (CONCARET, 1981 ; TROUCHE, 1981 ; ZIMMER, 1985). Cette évolution conduit à une structure de plus en plus compacte qui peut entraîner des pertes de charge au voisinage du drain. Les études effectuées avec des matériaux argileux modèles et des échantillons de sols argileux ont montré que les propriétés de retrait-gonflement et d'hydratation des matériaux argileux dépendaient étroitement de la nature minéralogique de l'argile (GREENE-KELLY, 1974 ; TESSIER, 1987 ; TESSIER *et al.*, 1990). L'objectif de cette note est de discuter l'importance de la nature minéralogique de l'argile lors de l'évolution structurale du matériau de remplissage de la tranchée de drainage. Notre discussion s'appuiera sur des résultats obtenus à partir d'échantillons provenant de périmètres expérimentaux de drainage.

I. ORIGINE ET NATURE DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons proviennent de deux périmètres expérimentaux de drainage situés en Lorraine, le périmètre d'Ancerville où les sols étudiés sont développés à partir de marnes du Trias (Keuper) et le périmètre de La Bouzule où ils le sont à partir de marnes du Jurassique (Lias) (FLORENTIN, 1981 et 1982 ; SAFAR, 1986). Ces deux périmètres ont été drainés à la trancheuse, en 1982 pour le périmètre d'Ancerville et en 1969 pour celui de La Bouzule. Dans les deux cas, les sols échantillonnés s'apparentent à des pélosols (chromic cambisol ; FAO, 1974). A Ancerville, deux échantillons ont été prélevés sous forme de cubes de 20 cm d'arête au cours du printemps 1984, l'un entre 50 et 70 cm de profondeur au sein du matériau de remplissage d'une tranchée de drainage (échantillon noté AT) et l'autre à une cinquantaine de centimètres de la tranchée, au sein de l'horizon B du sol en place et à la même profondeur que dans la tranchée (échantillon noté AS). A La Bouzule, les échantillons ont également été prélevés au printemps 1984 et de la même façon qu'à Ancerville, à partir du matériau de remplissage d'une tranchée (échantillon noté BT) et à partir de l'horizon B du sol en place situé à proximité (échantillon noté BS).

Les blocs ont été stockés dans l'état d'hydratation où ils étaient *in situ*, à une température voisine de 5° C. Les teneurs en eau pondérales étaient alors pour AS et AT respectivement 0,24 et 0,42 g g⁻¹ et pour BS et BT respectivement 0,29 et 0,35 g g⁻¹. Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons sont présentées dans le tableau I.

II. MÉTHODES

Chaque bloc a été fragmenté à la main de façon à obtenir un lot de mottes de quelques cm³ pour lesquelles la structure initiale est conservée. Les mottes sont soumises à une pression pneumatique de façon à déterminer la quantité d'eau retenue en fonction du potentiel matriciel de l'eau. On utilise pour cela un dispositif dont le principe de fonctionnement est celui de la presse à membrane (RICHARDS, 1941; TESSIER et BERRIER, 1979). Les mottes sont placées sur une pâte de kaolinite de St Austell (<2 µm) obtenue par ressuyage à 10⁴ Pa (pF = 2,0). Cette pâte permet d'établir une continuité satisfaisante entre la motte et la membrane du dispositif. Les valeurs de pres-

sion (P) employées sont comprises entre 10^4 Pa ($pF = 2,0$) et $3,2 \cdot 10^6$ Pa ($pF = 4,5$). La pression est appliquée chaque fois pendant 7 jours. La teneur en eau est rapportée à la masse de l'échantillon séché à 105° C à l'étuve pendant 24 h. De 10^4 à $4 \cdot 10^5$ Pa, les valeurs moyennes sont calculées à partir de 7 mottes prélevées au sein des lots de mottes constitués pour chaque échantillon. De $6 \cdot 10^5$ à $3,2 \cdot 10^6$ Pa, elles correspondent seulement à 3 ou 4 mottes.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans chaque périmètre expérimental, la teneur en eau des échantillons lors du prélèvement est plus élevée dans la tranchée que dans le sol en place. A 10^4 Pa ($pF = 2,0$), les teneurs en eau des échantillons sont égales ou légèrement inférieures de 0,005 à 0,01 $g \cdot g^{-1}$ à celles enregistrées au moment du prélèvement. Ceci indique que les échantillons se trouvaient à des valeurs de potentiel proches de $pF = 2,0$ au moment du prélèvement. La différence de teneur en eau entre la tranchée et le sol en place diminue lorsque P augmente (Figure 1). Néanmoins, pour la valeur de P la plus élevée ($3,2 \cdot 10^6$ Pa), la teneur en eau des échantillons provenant de la tranchée demeure plus élevée que pour celle des échantillons provenant du sol en place. En effet, dans le périmètre d'Ancerville et à $P = 3,2 \cdot 10^6$, la teneur en eau des échantillons provenant de la tranchée est supérieure de 50% à celle des échantillons provenant du sol en place. Dans le périmètre de La Bouzule et à cette même valeur de pression, la teneur en eau des échantillons provenant de la tranchée est supérieure de 12% à celle des échantillons provenant du sol en place.

A Ancerville, entre $P = 10^4$ Pa et $P = 3,2 \cdot 10^6$ Pa, le volume d'eau extrait des échantillons AT est environ deux fois plus élevé que celui extrait des échantillons AS (Figure 1a). De plus, en tout point du domaine de P étudié, la pente de la tangente à la courbe de rétention d'eau des échantillons AT est différente de celle des échantillons AS. Les volumes poraux qui perdent leur eau sont par conséquent différents dans le domaine de pression étudié (BRUAND, 1986). Si l'on se réfère à l'étude effectuée par BRUAND et PROST (1987) à propos des propriétés de rétention d'eau de sols argileux, et plus particulièrement à ce qui concerne la localisation de l'eau dans la structure, l'eau extraite entre 10^4 et $3,2 \cdot 10^6$ Pa provient essentiellement de volumes poraux correspondant à l'assemblage des particules d'argile. Cette différence très nette de comportement entre l'échantillon provenant de la tranchée et celui provenant du sol en place pourrait être due au moins en partie à une différence de teneur en argile. Les résultats des analyses granulométriques montrent que cela n'est pas le cas (Tableau I). Cette différence de comportement pourrait aussi être la conséquence de différences de nature minéralogique de l'argile entre le sol en place et la tranchée. Si l'on retient la capacité d'échange rapportée à l'argile comme étant un estimateur de la nature minéralogique de l'argile (Tableau I) (GREENE-KELLY, 1974 ; ROBERT *et al.*, 1991), la différence de comportement entre l'échantillon provenant de la tranchée et celui provenant du sol en place ne peut pas être non plus attribuée à des variations de nature minéralogique de l'argile. Par conséquent, les causes de cette différence de comportement doivent être attribuées à des variations de mode d'arrangement des constituants plutôt qu'à des variations de granulométrie et de nature minéralogique de l'argile.

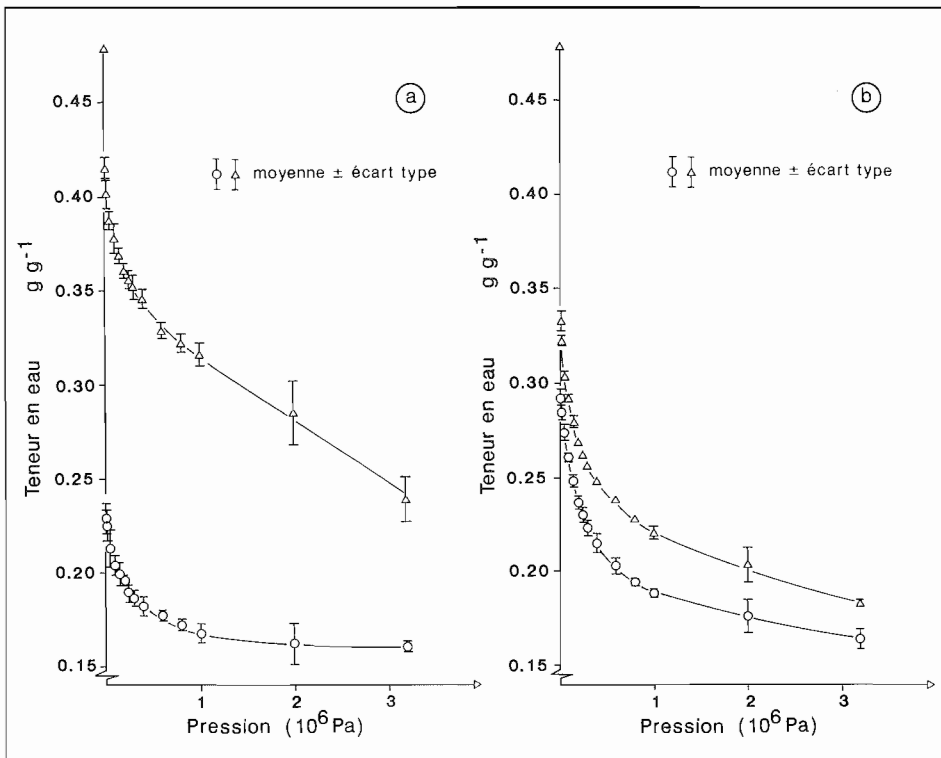


Figure 1 : Teneur en eau en fonction de la pression appliquée sur les échantillons provenant des périmètres expérimentaux d'Ancerville (a) et La Bouzule (b). Échantillons prélevés dans le sol en place (O) et dans la tranchée (Δ).

Water content versus the applied pressure for samples from Ancerville (a) and La Bouzule (b) field experiments. Samples from the undisturbed soil (O) and from the trench (Δ).

Si l'on compare maintenant les échantillons BT et BS prélevés dans le périmètre de La Bouzule (Figure 1b), on remarque au contraire une grande similitude de comportement. A la différence du périmètre d'Ancerville, les pentes des tangentes aux courbes de rétention d'eau des échantillons BT et BS sont proches l'une de l'autre. De plus, le volume d'eau extrait des échantillons BT entre 10^4 et $3,2 \cdot 10^6$ Pa n'est supérieur que de 17% à celui extrait des échantillons BS. Les volumes poraux qui perdent leur eau dans le domaine de pression étudié sont par conséquent proches entre les échantillons BT et BS. Or, comme pour les échantillons prélevés dans le périmètre d'Ancerville, les échantillons BS et BT possèdent des caractéristiques granulométriques et minéralogiques proches (Tableau I). La faible différence de comportement entre le sol en place et la tranchée indiquerait de faibles variations du mode d'arrangement des constituants entre les échantillons BS et BT.

Il ressort de cette comparaison entre les deux périmètres expérimentaux que deux saisons de drainage (1983 et 84) auraient fait beaucoup plus évoluer le mode d'assemblage des constituants au sein du matériau présent dans la tranchée à Ancerville que

cela n'aurait été le cas à La Bouzule pendant ces deux mêmes années et les treize précédentes. Il faut donc rechercher des différences entre les deux périmètres expérimentaux qui puissent expliquer la différence de comportement enregistrée dans la tranchée.

Tableau I : Constitution des échantillons prélevés dans le périmètre expérimental d'Ancerville (AS : sol en place et AT : tranchée) et dans celui de La Bouzule (BS : sol en place et BT : tranchée).

Constitution of samples collected in Ancerville (AS : undisturbed soil and AT : trench) and La Bouzule (BS : undisturbed soil and BT : trench) field experiments.

Echantillon	Granulométrie %					Carbone organique g 100 g ⁻¹	Capacité d'échange cationique (2) meq g ⁻¹	pH	Capacité d'échange cationique de l'argile (2) meq g ⁻¹ [(2)/(1)] x 100
	A <2 µm (1)	LF 2 – 20 µm	LG 20 – 50 µm	SF 50 – 200 µm	SG 200 – 2000 µm				
AS	49	29	7	10	5	0,3	0,22	7,6	0,45
AT	48	25	15	8	4	0,7	0,23	7,6	0,48
BS	60	28	8	2	2	0,6	0,22	7,7	0,37
BT	59	32	7	1	1	0,9	0,20	7,8	0,34

Les différences d'âge entre deux réseaux et les différences de conditions de réalisation du réseau de drainage interviennent fréquemment pour expliquer des différences de fonctionnement entre réseaux de drainage (CONCARET, 1981 ; TROUCHE, 1981). La différence d'âge ne peut pas être retenue comme cause possible puisque ce sont les échantillons de la tranchée la plus récente qui montrent la plus grande différence de comportement, et par conséquent de mode d'assemblage des particules d'argile, entre la tranchée et le sol en place. Quant aux conditions de réalisation, elles étaient sensiblement les mêmes pour les deux périmètres (SAFAR, 1986).

En revanche, la capacité d'échange cationique de la phase argileuse des échantillons provenant du périmètre d'Ancerville est plus élevée que pour les échantillons du périmètre de La Bouzule (0,45-0,48 meq g⁻¹ à Ancerville contre 0,34-0,37 meq g⁻¹ à La Bouzule). Cela indique une plus forte proportion de minéraux de type smectite dans la phase argileuse à Ancerville par rapport à La Bouzule, et par conséquent un gonflement potentiel plus élevé qui pourrait expliquer la plus forte évolution du matériau dans la tranchée de drainage à Ancerville. Cette interprétation des valeurs de capacité d'échange est en accord avec les résultats des analyses minéralogiques effectuées par FLORENTIN (1981) et ROBERT *et al.* (1991) sur des échantillons provenant de sols du même type dans les périmètres de La Bouzule et de Villers Stoncourt. Le périmètre de Villers Stoncourt est situé dans la même région que celui d'Ancerville et des sols y sont développés à partir de la même formation géologique (FLORENTIN, 1981 ; SAFAR, 1986). Afin de comparer le gonflement de la phase argileuse en fonction de sa nature minéralogique, nous avons exprimé la teneur en eau des échantillons par rapport à leur teneur en argile (gramme d'eau par gramme d'argile). Les teneurs en eau ainsi expri-

mées étaient à Ancerville, au moment du prélèvement, de $0,49 \text{ g g}^{-1}$ pour les échantillons AS et de $0,88 \text{ g g}^{-1}$ pour les échantillons AT, et à La Bouzule de $0,48 \text{ g g}^{-1}$ pour les échantillons BS et de $0,59 \text{ g g}^{-1}$ pour les échantillons BT. Ainsi, la quantité d'eau retenue par l'argile dans le sol en place est du même ordre de grandeur dans les deux périmètres expérimentaux. En revanche, après hydratation et gonflement de la phase argileuse dans la tranchée de drainage, la quantité d'eau retenue par l'argile dans la tranchée a presque doublé à Ancerville alors qu'elle n'a augmenté que de 20 % à La Bouzule.

Nous avons aussi effectué ce calcul avec les résultats obtenus par ALVAREZ-MARQUES *et al.* (1974) et SORANI et BRUAND (1991) (Figure 2). Ces auteurs présentent des valeurs de teneur en eau pour des matériaux argileux après gonflement dans des conditions qui sont proches de celles existant dans une tranchée de drainage. L'ensemble de ces résultats montre que la quantité d'eau rapportée à la quantité d'argile après gonflement sans contrainte augmente avec la valeur de la capacité d'échange rapportée à l'argile.

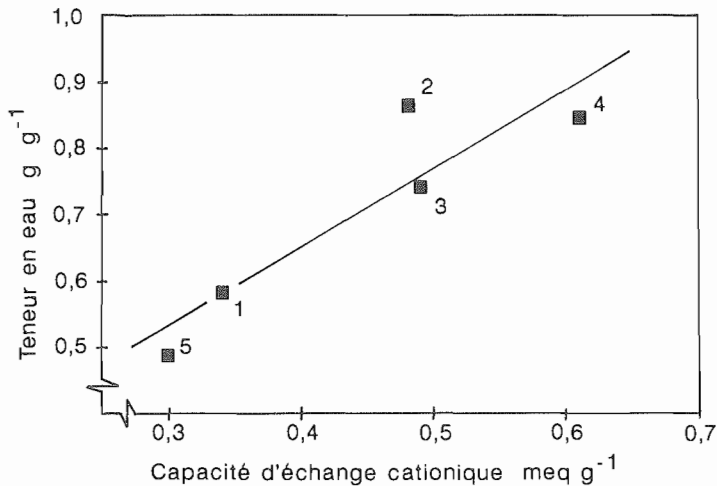


Figure 2 : Teneur en eau (exprimée en gramme d'eau par gramme d'argile) en fonction de la capacité d'échange cationique de l'argile (meq g^{-1}) :
 – lors du prélèvement dans la tranchée à La Bouzule (1) et Ancerville (2) ;
 – à l'issue de l'expérience de percolation sous contrainte minimale pour les échantillons Tillenay-1 (3) et Tillenay-3 (4) dans l'étude d'ALVAREZ-MARQUES *et al.* (1974) ;
 – et dans la tranchée expérimentale correspondant au traitement témoin étudié par SORANI et BRUAND (1991) (5).

Water content (gramme of water per gramme of clay) versus the cation exchange capacity of clay fraction (meq per g of clay) for :

- the trench backfill (hydration corresponding to sampling conditions) in the experimental fields of La Bouzule (1) and Ancerville (2) ;
- for the cores after an unconsolidated rewetting for Tillenay-1 (3) and Tillenay-3 (4) from the work of ALVAREZ-MARQUES *et al.* (1974) ;
- and the untreated backfill studied by SORANI and BRUAND (1990) (5).

CONCLUSION

Les résultats mettent en évidence l'importance de la nature minéralogique de l'argile lorsqu'il s'agit de discuter le maximum d'hydratation atteint par un matériau argileux dans une tranchée de drainage. La capacité d'échange cationique se révèle être un estimateur de cette hydratation potentielle bien qu'il soit encore nécessaire de le vérifier sur un plus grand nombre d'échantillons pour couvrir une gamme plus large de type de sol, de teneur en argile, de nature minéralogique de l'argile et de nature des cations saturant le complexe d'échange. Il sera alors possible d'estimer la capacité d'hydratation d'un sol argileux et de discuter ainsi l'évolution structurale dans la tranchée de drainage suite à l'hydratation de la phase argileuse.

Reçu pour publication : Novembre 1991

Accepté pour publication : Septembre 1992

BIBLIOGRAPHIE

- ALVAREZ-MARQUES J.L., CONCARET J., GUYOT J., JACQUIN M., 1974. - Etude en laboratoire de la percolation de l'eau à travers des sols soumis à diverses contraintes. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 9, 693-704.
- BRUAND A., 1986. - Contribution à l'étude de la dynamique de l'espace poral. Utilisation des courbes de retrait et des courbes de rétention d'eau. *Science du sol*, 24 (4), 351-362.
- BRUAND A., PROST R., 1987. - Effect of water content on the fabric of a soil material : an experimental approach. *J. Soil Sci.*, 38, 461-472.
- CONCARET J., 1981. - *Drainage Agricole. Théorie et pratique*. Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, 509 p.
- FAO, 1974. - *Soil Map of the World*. Vol. 1. Legend. Unesco, Paris.
- FLORENTIN L., 1981. - Etudes préliminaires en vue du drainage des terres agricoles du département de la Moselle. Secteur de référence du plateau Lorrain (Trias). Communes d'Ancerville, Bazoncourt, Chanville, Servigny les Raville et Villers Stoncourt. ONIC Ministère de l'Agriculture. ENSAIA, 132 p.
- FLORENTIN L., 1982. - *Contribution à la connaissance des sols hydromorphes et apparentés de Lorraine et de leurs réponses au drainage*. Thèse 3^e cycle, INPL Nancy, 123 p.
- GREENE-KELLY R., 1974. - Shrinkage of clay soils : A statistical correlation with other soil properties. *Geoderma*, 11, 243-257.
- RICHARDS L.A., 1941. - A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Science*, 51, 377-386.
- ROBERT M., HARDY M., ELSASS F., 1991. - Crystallochemistry, properties and organization of soil clays derived from major sedimentary rocks in France. *Clay Minerals*, 26, 409-420.

- SAFAR T., 1986. - *Contribution à l'étude des interactions entre hydraulique agricole, dynamique de l'eau et des sels dans les sols argileux sous climats aride et tempéré.* Thèse Doctorat, INPL, Nancy, 276 p.
- SORANI V., BRUAND A., 1991. - Structural evolution in simulated drainage trench backfill with amendments. *Soil Technology*, 4, 147-157.
- TESSIER D., 1987. - Identification of clays. Data from investigations with strongly hydrated systems. Proc. 20th. Colloqu. Int. Potash Institute, Bern, 45-63.
- TESSIER D., BEAUMONT A., PEDRO G., 1990. - Influence of clay mineralogy and rewetting rate on clay microstructure. In : *Soil Micromorphology*, L.A. Douglas ed, Elsevier Science Publishers, 115-121.
- TESSIER D., BERRIER J., 1979. - Utilisation de la microscopie à balayage dans l'étude des sols. Observation de sols soumis à différents pF. *Science du Sol* (1), 67-82.
- TROUCHE G., 1981. - *Aspects agronomiques et hydrodynamiques du drainage des sols à profil différencié du Val de Saône.* Thèse Doc. Ing., Inst. Sci. Terre, Univ. Dijon, 201 p.
- ZIMMER D., 1985. - La tranchée de drainage. Etude bibliographique. Document CEMAGREF, 29 p.