

Profils tensiométriques et fonctionnement hydraulique des sols drainés à plancher imperméable peu profond ; essai de typologie

D. ZIMMER(*)

RÉSUMÉ

Des profils de potentiel de l'eau ont été mesurés au moyen de tensiomètres sur six champs expérimentaux drainés pendant les hivers 1985-1988. Quatre profils-types de potentiel, correspondant à quatre schémas d'écoulement de l'eau, ont été observés. Ces profils permettent de localiser le plancher imperméable de manière plus précise qu'à partir d'un examen morphologique du sol ; ils donnent en outre des indications sur les techniques de drainage à préconiser.

MOTS-CLÉS : drainage - état de l'eau - sol limoneux - sol argileux.

POTENTIAL PATTERNS AND SUBSURFACE DRAINAGE OPERATION IN SHALLOW SOILS

The proportion of drainage in clayey soils has increased in France during the past recent years. For these soils, a full comprehension of drainage operation has not yet been achieved, and drainage design remains a challenge in many cases.

Four water total potential and flow patterns were determined by use of tensiometers in different French shallow loamy and clayey soils :

(1) Arrou's type, representative of low permeable luvisols - 60 to 70% of drained soils in France - and of some clayey soils (Fig. 4),

(2) Courcival's type, representative of clayey soils with high overburden pressures (Fig. 5),

(3) Bussy's type, representative of soils characterized by a shallow impervious barrier - i.e. located above current drain depth - resting on a more permeable material (Fig. 6)

and (4) Igney's type, representative of shallow soils whose impervious barrier remains unsaturated, even after several months in the rainy season, due to its low permeability (Fig. 7).

For design purposes, water total potential profiles may help to localize the impervious barrier. They also show that, near saturation, tiny morphological soil variations can influence water flow pattern and accordingly hydraulic drainage operation. These profiles also give indications on drainage techniques to be implemented in clayey soils. Further investigations should determine which soil analytical properties may explain the soil hydraulic behavior.

KEY-WORDS : drainage - water potential - loamy soil - clayey soil.

INTRODUCTION

Pour dimensionner un réseau de drainage, le concepteur doit, entre autres, connaître le schéma d'écoulement de l'eau en période d'excès d'eau et la profondeur du plancher imperméable du sol.

(*) CEMAGREF, Division Drainage et Assainissement Agricoles, B.P 121, 92185 Antony Cedex

Le schéma d'écoulement couramment utilisé dans les modèles hydrauliques de fonctionnement du drainage dits "saturés" est caractérisé par des écoulements verticaux au-dessus de la nappe et par des écoulements horizontaux dans la nappe au-dessus du niveau des drains (hypothèse de Dupuit-Forchheimer) et des écoulements verticaux au dessus. Ce type de schéma d'écoulement a été validé par des mesures in situ de profils de potentiel de l'eau dans un sol à texture limoneuse (LESAFFRE et ZIMMER, 1987a). La pertinence du modèle hydraulique auquel il conduit a par ailleurs été démontrée dans des sols perméables et peu perméables (GUYON, 1964a ; SKAGGS et TANG, 1976 ; LESAFFRE et ZIMMER, 1987 b). En sols argileux, la validité de ce schéma d'écoulement reste douteuse et difficilement vérifiable, le fonctionnement des piézomètres n'y étant pas très fiable (BOUMA, 1985).

Par ailleurs, de la localisation de l'imperméable dépend, en sols à imperméable peu profond, la charge hydraulique efficace (charge hydraulique calculée en prenant le toit de l'imperméable comme plan de référence) pour l'évacuation de l'eau de la nappe de l'interdrain vers le drain. La connaissance de cette localisation est également nécessaire lors de la mesure des paramètres hydrodynamiques du sol que sont la conductivité hydraulique et la porosité de drainage par l'essai de pompage de GUYON (1964b).

Alors que, dans les sols hydromorphes de texture grossière à moyenne (luvisols, planosols...), la localisation du plancher imperméable peut être effectuée à partir de traits pédologiques nets, cette localisation est délicate dans les sols argileux pour au moins deux raisons :

(1) les observations, réalisées fréquemment en dehors des périodes humides, ne donnent pas d'indications fiables à cause de la fissuration importante développé dans ces sols ; (2) les traits pédologiques de l'hydromorphie n'y sont pas systématiquement marqués comme dans les sols à texture plus grossière.

Les objectifs de cet article sont :

- de jeter les bases d'une typologie des profils de potentiel de l'eau et des schémas d'écoulement de l'eau en sols drainés qui s'en déduisent ;
- de montrer qu'à partir de l'examen de profils de potentiel de l'eau mesurés en hiver au moyen de tensiomètres il est possible, dans certains cas, de localiser l'imperméable.

I. CHAMPS ET PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

La localisation et les principales caractéristiques des six champs expérimentaux étudiés sont présentées respectivement sur la figure 1 et dans le tableau I. Le site d'Arrou dont les profils-types et les schémas d'écoulement ont été étudiés par LESAFFRE et ZIMMER (1987a) est repris ici à titre de comparaison puisque représentant le schéma d'écoulement des modèles hydrauliques classiques.

A) CONTEXTES PÉDOCLIMATIQUES

Les matériaux originels des sols étudiés sont les suivants :

- (1) dépôt éolien de limon des plateaux évoluant sous l'effet de l'argilification et de l'hydromorphie (Arrou),
- (2) dépôt d'alluvions marines (St Laurent de la Prée),
- (3) marnes altérées (Igney, Bussy),

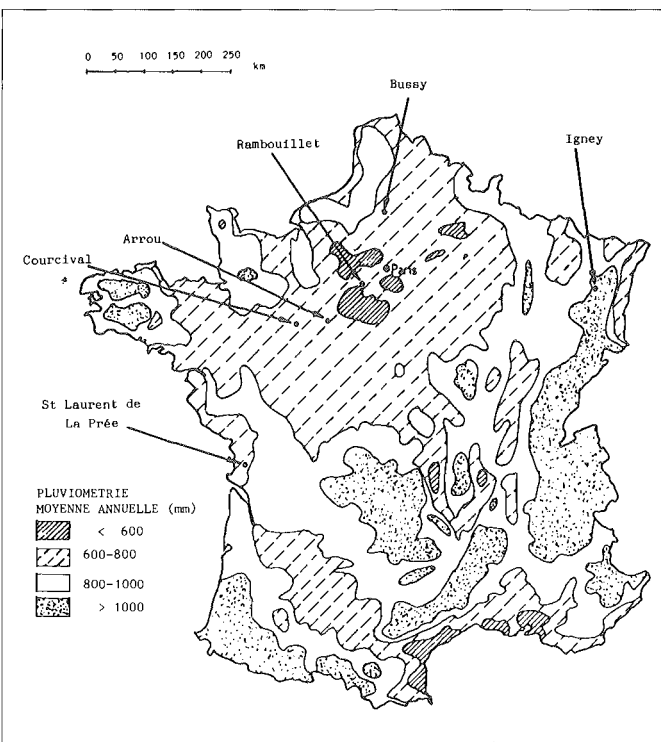


Figure 1 :
Localisation des champs expérimentaux.
Experimental-fields locations.

- (4) sables glauconieux altérés en argiles vertes (Courcival),
- (5) argile de décarbonatation (argile à meulière de Rambouillet).

La composition granulométrique de ces sols relève de trois types principaux (Fig. 2) :

- (1) à dominante limoneuse (Arrou) avec teneur en argile croissante mais inférieure à 30 % sur tout le profil,
- (2) à dominante argileuse avec teneur en argile variable sur le profil et teneur en sable non négligeable (Rambouillet et Courcival),
- (3) à dominante argilo-limoneuse avec une granulométrie peu variable sur le profil (Bussy, Igney, St Laurent de la Prée).

Sur le champ de Rambouillet, deux sites de mesure ont été mis en place : l'un (a), sur terre labourable, présente des teneurs en argile maximales de 50 % en profondeur, l'autre (b), sur prairie, présente de fortes teneurs en argile (80 %) en profondeur.

Du point de vue minéralogique, à l'exception du sol d'Igney à dominante illitique, tous les autres sols comprennent une fraction importante de smectites ; la capacité d'échange cationique des argiles de ces derniers sols varie entre 37 et 55 meq/100 g.

Le climat des différentes régions concernées est océanique, avec une tendance continentale pour Igney ; les précipitations annuelles moyennes varient entre 600 et 850 mm.

A l'exception des marais de St Laurent de la Prée, dont les excès d'eau sont dus à la remontée d'une nappe permanente, tous les autres champs sont caractérisés par des nappes perchées temporaires dues à l'existence d'un plancher peu perméable à faible profondeur et à un excès d'eau d'origine pluviale.

Tableau 1 : Caractéristiques des sols des expérimentations
Major soil characteristics of experimental fields

CHAMP EXPERIMENTAL	SUBSTRAT GEOLOGIQUE	TYPE DE SOL	ARGILE (hors Ap) %	CEC ARGILE meq/100 g
ARROU (28)	limon/argile à silex	lessivé glossique	20 - 30	46
BUSSY (60)	Marne sparnacienne	Brun hydromorphe	40 - 55	55
COURCIVAL (72)	Glauconie cénomanienne	Brun hydromorphe car. vertiques	35 - 60	52
IGNEY (54)	Marne Lettenkohle	Pélosol	55 - 60	21
RAMBOUILLET (78)	Argile à meulière	Pseudogley argileux	a) 21 - 50 b) 24 - 80	37
ST LAURENT DE LA PREE (17)	Alluvions marines	alluvial marin à nappe salée	60 - 65	44

B) LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Parmi l'ensemble des mesures réalisées au cours de la saison pluvieuse (fin d'automne à début printemps) sur les sites expérimentaux drainés (débit, pluie, charge hydraulique), seules les mesures tensiométriques ont été utilisées pour le travail présenté. Les dispositifs expérimentaux peuvent être classés en dispositifs intensifs et extensifs suivant le nombre et le mode de réalisation des mesures.

1. Protocoles intensifs

A Arrou et Courcival, les tensiomètres sont installés suivant le dispositif de principe de la figure 3. Trois sites tensiométriques (notés A, B, C) sont installés à trois distances de la tranchée de drainage (respectivement 0 - 0,5 - 1,5 m). Le champ de Courcival est équipé d'un site supplémentaire (noté I pour inter-drain) et distant de 5 m. Ces sites comprennent cinq tensiomètres installés entre 0,10 et 1,10 m de profondeur.

L'automatisation des mesures de pression de l'eau est réalisée grâce à un capteur de pression connecté à un système permettant de scruter 24 tensiomètres. Une centrale de mesure (CR2M-CEMAGREF) assure à la fois le pilotage et le stockage de l'ensemble des mesures.

A Saint-Laurent de la Prée, un seul site de tensiomètres équipés de manomètres à mercure est installé à l'interdrain. Les mesures sont réalisées au pas de temps journalier au moyen d'un appareil photo programmé.

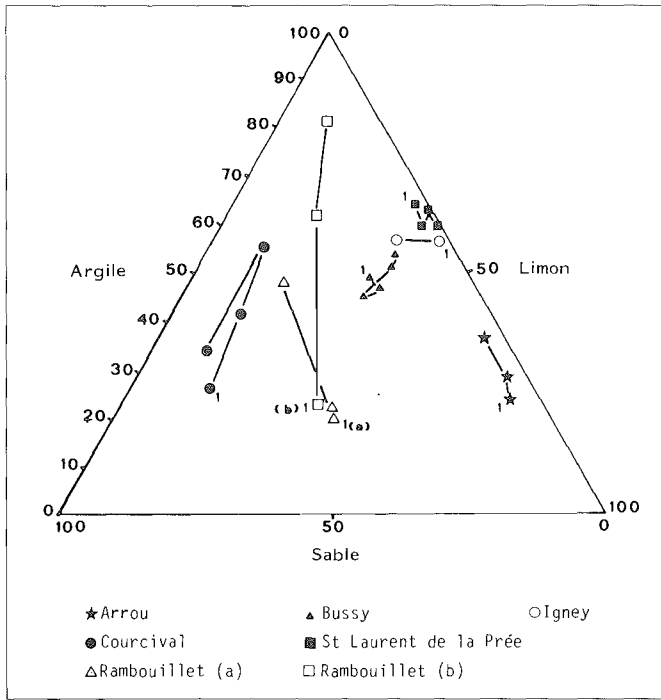


Figure 2 : Granulométries des sols étudiés (les différentes valeurs correspondent aux différents horizons du profil de sol, 1 représentant l'horizon supérieur).

Soil particle size distributions of experimental fields.

Vu le nombre de mesures réalisées, les protocoles ne comprennent pas de vraies répétitions. Cependant, des sites de contrôle tensiométriques à lecture manuelle ont été installés à Arrou au cours des deux campagnes de mesure, 1985-1986 et 1986-1987. A Courcival, les mesures ont été réalisées sur deux parcelles drainées, l'une à la draineuse-trancheuse, l'autre à la draineuse sous-soluse au cours de la campagne 1986-1987 ; seule la première de ces parcelles a été équipée au cours de la campagne 1987-1988. A St Laurent de la Prée, deux parcelles, l'une en prairie, l'autre labourée, ont été équipées au cours de la campagne 1987-1988.

2. Protocoles extensifs

A Bussy, Igney et Rambouillet, ce dernier site faisant l'objet d'un suivi avant drainage, la pression de l'eau est mesurée au moyen de manomètres à mercure à des pas de temps variables, de la journée à la semaine. Les tensiomètres sont installés à des profondeurs identiques à celles utilisées pour les protocoles intensifs. A Bussy, quatre sites de mesure comprenant des profils au drain et à l'interdrain ont également été installés sur une parcelle non drainée. A Igney, depuis la campagne 1987-1988, deux sites tensiométriques sont installés à l'interdrain sur deux parcelles drainées, l'une à la draineuse trancheuse, l'autre par du drainage-taupe. A Rambouillet, les deux sites définis plus haut ont été équipés au cours de la campagne 1986-1987.

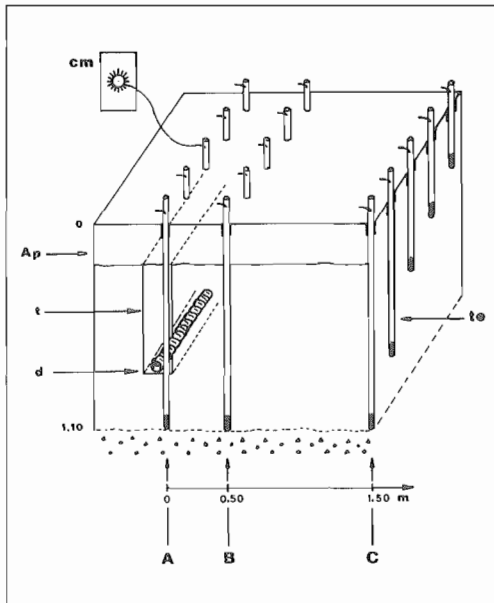


Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental intensif
Intensive experimental layout

cm : centrale de mesure ; t : tranchée de drainage ; te : tensiomètre
 Ap : horizon anthropique ; d : drain ; ABC : sites de mesure

C) PRECISION DES MESURES

Pour les manomètres à mercure, les erreurs sont dues pour l'essentiel aux lectures du niveau de la surface libre et de la hauteur de la colonne de mercure ; la précision est de l'ordre de 3 cm de hauteur d'eau.

Pour la centrale avec capteur de pression, les erreurs dues à la lecture sont faibles (< à 1 cm de hauteur d'eau). La qualité de la mesure est par contre fortement conditionnée par la présence d'air entre le capteur de pression et le système de scrutation et par la conductivité hydraulique du sol. Le temps de scrutation des différentes voies doit être ajusté de manière à permettre la réalisation de l'équilibre de pression sur chacune des voies. En pratique, trois voies de référence, constituées de réservoirs d'eau libre à différentes cotes, sont réservées sur la chaîne tensiométrique à fin de contrôle. La précision de l'ensemble est de l'ordre de 1 cm de hauteur d'eau lorsque les pressions de l'eau sont supérieures à quelques dizaines de cm de hauteur d'eau et décroît ensuite si le temps de scrutation est insuffisant (BURT, 1978).

A l'imprécision de la mesure de pression s'ajoute, quel que soit le manomètre utilisé, celle des cotes des tensiomètres, de l'ordre de 3 centimètres (demi-longueur de la bougie poreuse).

II. PRÉSENTATION DES PROFILS DE POTENTIEL

Sur l'ensemble des profils de potentiel de l'eau mesurés sur les différents champs au cours de l'hiver, quatre principaux profils-types correspondant à quatre types de schémas d'écoulement en sols drainés ont été observés (ZIMMER, 1989). Ils ont été désignés par le nom du champ expérimental sur lequel ils ont été observés pour la première fois.

A) PROFIL-TYPE D'ARROU

Les profils-types de potentiels de pression (p), du potentiel gravitaire (z) et du potentiel total (ϕ) de l'eau qui s'en déduit ($\phi = p + z$) observés au cours du tarissement non influencé sur le champ d'Arrou sont présentés sur la figure 4a. Les différents potentiels sont présentés en abscisse en fonction de la cote (z) au-dessus de la bougie tensiométrique la plus profonde (1,10 m) qui sert de référence. L'axe des z est orienté positivement vers le haut.

Nous ne discuterons ici que les profils de potentiel total car ce sont ces profils qui permettent de connaître le sens des écoulements. Chaque profil de potentiel total comprend deux parties.

1. La partie inférieure du profil, entre 0,7 et 1,1 m de profondeur, est verticale. Elle correspond à la nappe (définie comme l'ensemble des points où $\phi \geq z$) et à une frange d'une quinzaine de centimètres au-dessus. Le potentiel total et la hauteur de la nappe décroissent du site C (à 1,50 m de la tranchée) vers le site A (dans la tranchée). La composante verticale de l'écoulement est donc nulle dans cette partie et l'écoulement y est horizontal en direction du drain.

2. Dans la partie supérieure du profil, le potentiel total de l'eau diminue avec la profondeur, ce qui indique une composante verticale descendante de l'écoulement non nulle. A proximité de la surface du sol, le potentiel total tend à devenir indépendant de la distance du drain. Par ailleurs, les gradients verticaux diminuent du site A vers le site C.

De ces profils de potentiel se déduisent un schéma d'écoulement caractérisé par la position de la nappe, ainsi que les lignes équipotentielles et de courant de l'eau (figure 4b). Ce schéma d'écoulement est celui répondant aux hypothèses classiquement faites dans les modélisations hydrauliques saturées.

Cette organisation des profils est sujette à deux types de variations au cours de la saison de drainage. En présence d'évapotranspiration, un écoulement se produit dans la partie supérieure du sol. Cet écoulement se traduit sur les profils de potentiel total de l'eau par l'apparition, à proximité de la surface du sol, d'un troisième segment où ce potentiel diminue lorsque la cote augmente. Par ailleurs, au cours de la recharge de la nappe, dans la partie supérieure du sol au-dessus de la nappe, la pression devient uniforme et tend vers zéro tout en restant légèrement négative ; le potentiel total est donc sensiblement égal à la cote et le gradient vertical égal à 1 : l'écoulement est quasi-gravitaire (LESAFFRE et ZIMMER, 1987 a).

Ces variations temporelles de l'organisation des profils affectent relativement peu et uniquement dans sa partie supérieure le schéma d'écoulement tel que présenté à la figure 4b. Pour cette raison, nous ne détaillerons pas les variations temporelles de la partie supérieure des profils tensiométriques décrits ci-dessous.

Le profil de potentiel de type "Arrou" a été observé : (1) en cuve de laboratoire sur un matériau homogène par VAUCLIN *et al.* (1976); (2) in situ sur des sols plus perméables par SKAGGS et TANG (1976). Dans le cadre de ce travail, il a été observé, outre sur Arrou, sur deux autres champs expérimentaux : sur St Laurent de la Prée et sur le site le moins argileux (a) de Rambouillet.

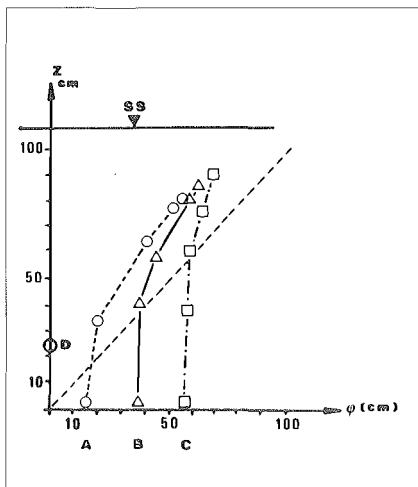


Figure 4 a : Profils types de potentiel total (φ) de l'eau d'Arrou.
Water total potential (φ) pattern observed in Arrou.

--- : Potentiel gravitaire
 Potentiel total mesuré dans les profils de mesures tensiométriques:
 A : tranchee -o----o-
 B : 0,5 m tranchee - Δ ----- Δ -
 C : 1,5 m tranchee - \square ---- \square -

B) PROFIL-TYPE DE COURCIVAL

Les profils de potentiel total de l'eau mesurés au cours de la majeure partie de l'hiver 1987-1988 sur la parcelle drainée à la draineuse-trancheuse du champ de Courcival (figure 5a) présentent deux différences importantes par rapport à ceux d'Arrou.

1. Dans la partie inférieure des profils, le potentiel total ne diminue pas de manière régulière de l'interdrain vers la tranchee de drainage. Les profils de potentiel se répartissent en deux groupes, celui de la tranchee de drainage (site A), et les autres profils (sites B, C et I).

2. Dans la partie des profils des sites B, C et I correspondant à la nappe ($\delta \geq z$), le potentiel total croît avec la profondeur. Dans la partie inférieure des profils, le potentiel total est supérieur à la profondeur : le toit de la nappe devrait se trouver au-dessus de la surface du sol. Par contre, le potentiel total diminue avec la profondeur dans l'ensemble de la tranchee de drainage.

Des profils similaires ont été observés épisodiquement sur le site le plus argileux (b) du champ de Rambouillet.

Ces profils de potentiel varient peu au cours de la saison hivernale. En particulier, dans le sol en place (par opposition à la tranchee de drainage), ils sont très peu sensibles aux conditions climatiques. Par contre, au cours du printemps, ils redeviennent semblables à ceux observés à Arrou durant la saison de drainage intense.

Aux potentiels totaux élevés observés en profondeur correspondent des "surpressions" de l'eau qui présentent une analogie avec les "pressions anormales" observées par les hydrogéologues à des profondeurs plus grandes dans certains matériaux argileux. Ces pressions anormales s'observent dans des matériaux se consolidant très lentement du fait de leur très faible conductivité hydraulique.

Selon cette interprétation, au cours de sa réhumectation, le matériau de Courcival atteindrait au delà d'une profondeur seuil un état hydrique tel que sa cohésion soit insuffisante pour supporter le poids du matériau sus-jacent. Dans ces conditions, l'interprétation des différents profils peut être la suivante. Pour les profils B, C et I, correspondant au sol en place, le drainage vers la profondeur n'étant pas possible, la pression de

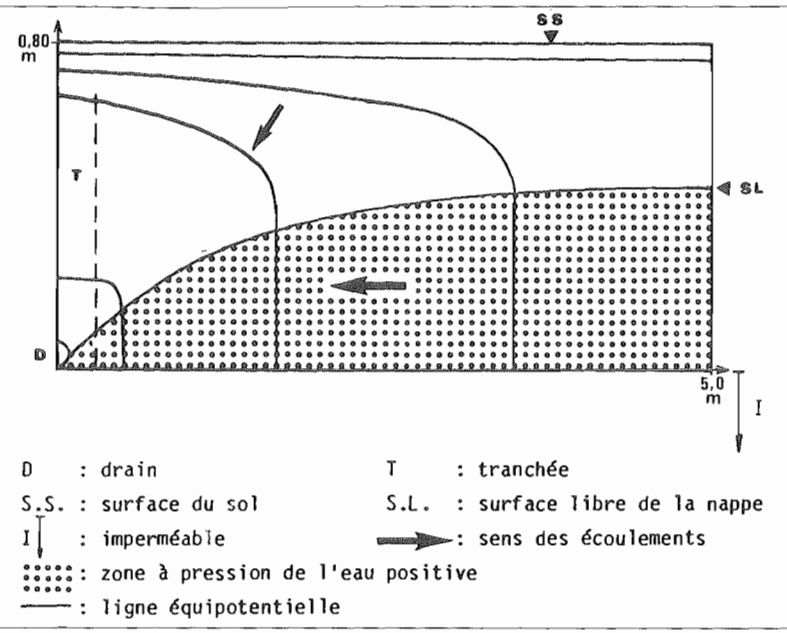


Figure 4b :
 Schéma
 d'écoulement
 de l'eau
 d'Arrou.
 Flow pattern
 observed
 in Arrou.

l'eau croît avec la profondeur *proportionnellement au poids humide du matériau* ; le potentiel total de l'eau croît alors avec la profondeur. Pour le profil A, correspondant à la tranchée, l'écoulement vers la profondeur est possible grâce au drain ; le potentiel total de l'eau décroît avec la profondeur mais la pression de l'eau demeure positive sur la quasi-totalité du profil.

D'un point de vue hydraulique, dans le sol en place, tant que les profils présentent des surpressions, l'écoulement est ascendant et très lent sous l'horizon labouré : l'eau arrivant au drain circule principalement dans la tranchée de drainage après avoir ruisselé à la surface du sol (figure 5b). Ce schéma d'écoulement de l'eau est en accord avec les analyses de traceurs naturels de l'eau réalisées en parallèle sur la parcelle (MEROT et HAMDI, 1990) ; il est semblable à celui proposé par FLODKVIST (In RUSSEL, 1934) et par d'autres auteurs (VAN HOORN, 1973 ; ALESSANDRELLO *et al.*, 1976 ; HERVÉ, 1980) pour expliquer les débits de pointe - ou crues de drainage - en sols peu perméables. Ce schéma d'écoulement est cependant associé ici à un fonctionnement non satisfaisant du réseau de drainage : pendant l'hiver, les valeurs du coefficient de restitution du réseau de drainage et des plus forts débits observés sont respectivement inférieures à 10 % et à 0,5 l/s/ha - contre 60 à 80 % et 1 à 10 l/s/ha respectivement en sols argilo-limoneux par exemple -. L'eau en excès est vraisemblablement perdue par ruissellement. Par contre, lorsqu'au printemps ces profils redeviennent semblables au profil-type d'Arrou, le réseau de drainage se remet à fonctionner de manière satisfaisante (ZIMMER, 1989).

C) PROFIL-TYPE DE BUSSY

Dans les 45 centimètres supérieurs du sol, le profil-type de potentiel total de l'eau observé à Bussy (figure 6) est semblable au profil-type d'Arrou. La partie du sol où le potentiel est constant correspond à une nappe perchée. En dessous, le potentiel total est égal au potentiel gravitaire : l'eau percole vers la profondeur sous le seul effet de la gravité.

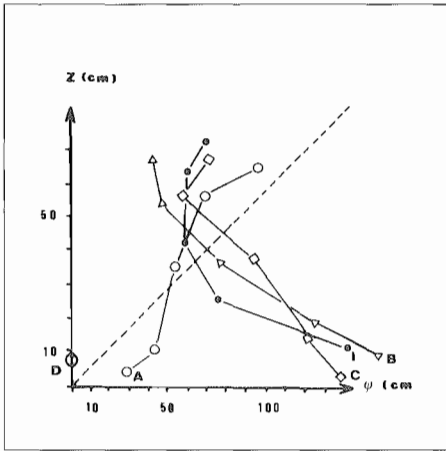


Figure 5a :

Profils types de potentiels total (ϕ) de l'eau de Courcival.

Water total potential (ϕ) pattern observed in Courcival.

--- : Potentiel gravitaire

Potentiel total mesuré dans les profils de mesures tensiométriques :

A : tranchée -o—o—o— B : 0,5 m tranchée - Δ — Δ —

C : 1,5 m tranchée - \square — \square — I : 5 m tranchée (interdrain) - \bullet — \bullet —

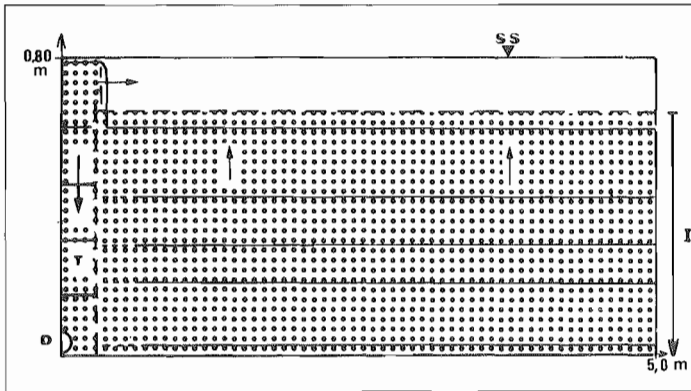


Figure 5 b :

Schéma d'écoulement de l'eau de Courcival.

Flow pattern observed in Courcival.

D : drain

S.S. : surface du sol

I ↓ : imperméable

···· : zone à pression de l'eau positive

— : ligne équipotentielle

T → : tranchée

→ : sens des écoulements

L'interprétation de ce profil est la suivante. Dans le sol de Bussy, un horizon peu perméable situé entre 0,25 m et 0,45 m empêche l'infiltration de l'eau. Cet horizon repose sur un horizon plus perméable qui, d'un point de vue hydraulique, constitue une condition à la limite inférieure concurrente de celle imposée par le drain (Figure 6b). De fait, à proximité de celui-ci, le profil de potentiel total est identique à celui observé à l'interdrain (ZIMMER, 1989).

Figure 6a :

Profils types de potentiel total (ϕ) de l'eau de Bussy.

Water total potential (ϕ) pattern observed in Bussy

----- : potentiel gravitaire
 -o-o- : potentiel total à l'interdrain

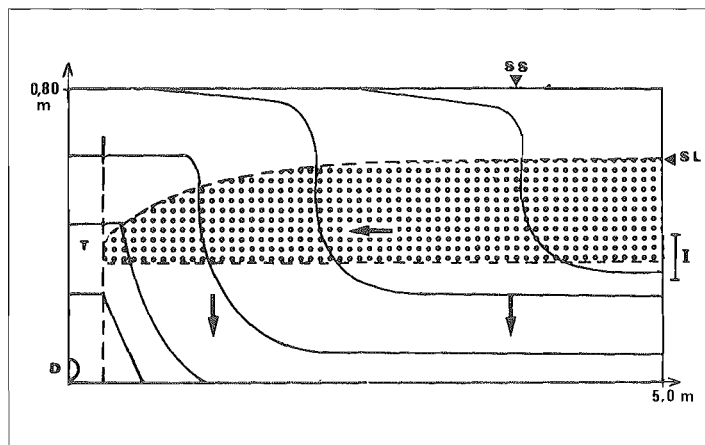
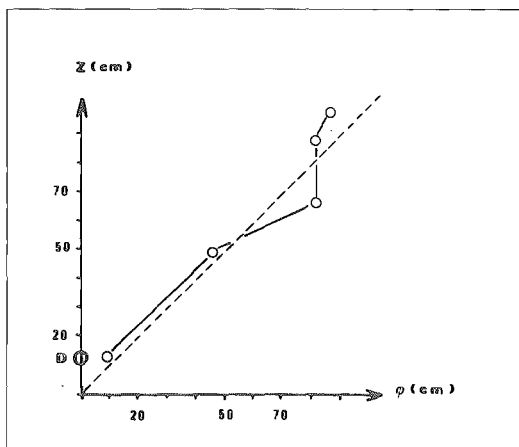


Figure 6b :

Schéma d'écoulement de l'eau de Bussy.

Flow pattern observed in Bussy.

D : drain
 S.S : surface du sol
 I ↓ : imperméable
 : zone à pression de l'eau positive
 - - - : ligne équipotentielle

T : tranchée
 → : sens des écoulements
 S.L. : surface libre de la nappe

D) PROFIL-TYPE D'IGNEY

De même qu'à Bussy, le potentiel total de l'eau, constant et supérieur au potentiel gravitaire dans les 45-50 centimètres supérieurs du sol d'Igney (figure 7a), indique la présence d'une nappe perchée. En dessous, le potentiel total décroît et devient nettement inférieur au potentiel gravitaire : la pression de l'eau est donc négative. Ce profil s'observe pendant tout l'hiver à l'exception de certaines périodes très pluvieuses au cours desquelles une mise en charge sur une plus grande profondeur peut se produire.

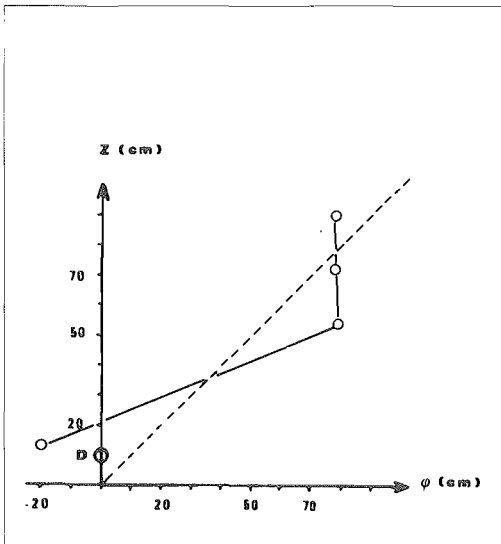


Figure 7a :

Profils types de potentiel total (φ)
de l'eau d'Igney.

*Water total potential (φ) pattern
observed in Igney*

----- : potentiel gravitaire
-o—o- : potentiel total à l'interdrain

Dans ce sol, la nappe perchée se forme au-dessus d'un horizon si peu perméable que sa réhumectation n'est pas achevée après plusieurs mois de saison pluvieuse. L'interprétation de ce profil en termes de schéma d'écoulement est présenté figure 7b.

III. DISCUSSION

A) NATURE ET LOCALISATION DU PLANCHER IMPERMEABLE

Les profils-types de potentiel de l'eau permettent de distinguer des planchers imperméables absolus et relatifs. Les premiers sont des obstacles infranchissables à l'eau ; ils sont composés, soit de matériaux argileux gonflants sous-consolidés dont le poids contribue au cours de certaines périodes à la mise en pression de l'eau (Courcival, Rambouillet - profil le plus argileux), soit de matériaux ne se réhumectant pas complètement au cours de l'hiver (Igney). Quant aux seconds, deux types en ont été observés : (1) celui de Bussy où le plancher imperméable peut être localisé grâce au changement de pente des profils de potentiel ; (2) celui d'Arrou où cette localisation, déterminée de manière concordante par les traits pédologiques (ISAMBERT, 1984) et par l'analyse des courbes de tarissement du drainage (GUYON, 1981), est impossible, la diminution progressive de la conductivité hydraulique avec la profondeur n'entraînant aucun changement de pente du profil de potentiel ; dans ce cas, l'examen des signes d'hydromorphie constitue un outil plus performant que l'étude des profils de potentiel pour la localisation du plancher imperméable.

B) APPARITION DE SURPRESSIONS DANS LES SOLS ARGILEUX

Pour les deux matériaux concernés (Rambouillet et Courcival), l'apparition de pressions d'enveloppe élevées semble être en relation avec la teneur en argile. A Courcival, cette apparition est observée uniquement dans les horizons du sol où la teneur en argile est supérieure à un seuil compris entre 42 et 49 %. A Rambouillet, le site où ces surpressions ont été observées est celui où la teneur en argile est la plus élevée (80%).

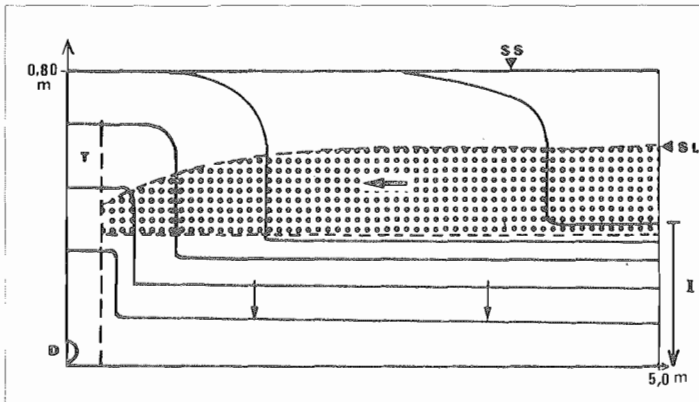


Figure 7b :
Schéma d'écoulement de l'eau d'Igney.
Flow pattern observed in Igney

- | | | | |
|------|-------------------------------------|------|-----------------------------|
| D | : drain | T | : tranchée |
| S.S. | : surface du sol | → | : sens des écoulements |
| I | : imperméable | S.L. | : surface libre de la nappe |
| ⋯ | : zone à pression de l'eau positive | | |
| — | : ligne équipotentielle | | |

C) APPLICATION A LA CONCEPTION DES RESEAUX DE DRAINAGE

Les différents profils-types de potentiel donnent des indications sur les techniques de drainage à préconiser dans les sols où ils sont observés.

1. Profil-type de Courcival

Lorsque ce profil est observé, la zone d'influence du drain est réduite latéralement à quelques dizaines de centimètres ; comme le montre le suivi hydraulique du champ expérimental (AUCKENTHALER et ZIMMER, 1990), aucune technique ne donne alors entière satisfaction. La technique du taupage est recommandée pour deux raisons :

- (1) le sol taupé se fissure davantage et les coefficients de restitution du réseau de drainage sont plus élevés à l'automne et au printemps avec cette technique ;
- (2) le demi-espacement des galeries-taube, entre 1 et 1.5 mètre, est comparable à la distance d'influence du drain.

2. Profil-type de Bussy

Ce type est caractérisé par la compétition entre le drainage "naturel" et celui dû au tuyau enterré. Dans ce cas, l'efficacité d'un drainage classique est sujette à caution. Si le matériau se dessèche suffisamment en été, un sous-solage profond peut être efficace s'il parvient à établir une connexion hydraulique entre les horizons superficiels et le matériau perméable profond.

3. Profil-type d'Igney

En raison de son caractère très peu perméable, le sol d'Igney est très difficile à drainer. Les premiers résultats du suivi expérimental ne permettent pas de différencier la technique classique (drains à 10 m d'écartement posés à la draineuse-trancheuse) de la technique du taupage. Au vu du suivi tensiométrique (ZIMMER, 1990), le taupage semble cependant la technique susceptible d'être la plus efficace pour les raisons énoncées pour le site de Courcival.

4. Profil-type d'Arrou

Avec ce profil, le drain influence le comportement de la nappe et donc l'état hydrique du sol jusqu'à l'interdrain, si l'écartement des drains n'est pas trop grand. Ce type est donc bien adapté au drainage par tuyaux enterrés classique, et il est possible d'appliquer les règles de dimensionnement fondées sur les modèles hydrauliques saturés (LESAFFRE et PENEL, 1988).

IV. CONCLUSIONS

L'étude des profils de potentiel de l'eau en conditions hivernales permet d'ébaucher une typologie du fonctionnement hydraulique des sols qui présente de multiples intérêts :

- (1) pour la compréhension du fonctionnement hydrique des sols argileux,
- (2) pour les études préalables au drainage,
- et (3) pour la conception des réseaux de drainage, notamment en sols argileux.

Cette typologie permet également de discuter la validité des modèles déterministes de transfert d'eau dans les sols et en particulier des modèles hydrauliques de zone saturée (ZIMMER, 1989).

Le travail doit être poursuivi dans deux directions principales : le suivi d'une gamme plus large de types de sols afin de préciser et d'élargir l'esquisse de typologie proposée ; la recherche des variables analytiques explicatives des différents fonctionnements observés.

REMERCIEMENTS : l'auteur remercie F. PAPY (INRA, Systèmes Agraires et Développement, Grignon), P. COLLAS (CEMAGREF, Bordeaux), B. BENARICHA (INA Paris-Grignon) et J.C. RENAT (Organisation et Environnement, Belleville (54)), les équipes de l'INRA Science du Sol de Rennes et de la Chambre d'Agriculture de la Sarthe avec qui le travail a été réalisé, ainsi que tous ses collègues de la Division Drainage.

Reçu pour publication : Août 1989
 Accepté pour publication : Mai 1990

BIBLIOGRAPHIE

- ALESSANDRELLO E., CONCARET J., GUYOT J., PERREY C., 1976. – Circulation de l'eau en sols limoneux lessivés hydromorphes drainés. *C.R. Acad. Agric. de France*, **62** (5), 364-373.
- AUCKENTHALER J., ZIMMER D., 1990. – Résultats hydrauliques et agronomiques de l'expérimentation de Courcival. *Etud. CEMAGREF*, Série hydraulique agricole (à paraître).
- BOUMA J., 1985. – Characterization of flow processes during drainage in some Dutch heavy clay soils. Proc. Symp. on Agric. Water Management, Arnhem, Netherlands, Van Wijk and Wesseling, Eds, Balkema, 3-11.
- BURT T.P., 1978. – An automatic fluid-scanning switch tensiometer system. *British Geomorphological Research Group. Tech. Bull.*, **21**, 30 p.
- GUYON G., 1964 a. – Considérations sur l'hydraulique des nappes de drainage par canalisations souterraines. Théorie et expérimentation. *Bull. Tech. Génie Rural*, **65**, 45 p. + annexes.
- GUYON G., 1964 b. – La mesure de la perméabilité par la méthode des piézomètres en vue du calcul des dimensions du drainage. *Science du Sol*, 97-108.
- GUYON G., 1981. – Hydraulique des nappes des sols drainés. *Bull. Tech. Génie Rural*, **127**, 35 p.
- HERVÉ J.J., 1980. – Limites et validité des modèles hydrodynamiques. Note CEMAGREF, 20 p.
- ISAMBERT M., 1984. – Notice explicative de la carte pédologique de Châteaudun à 1/100 000. INRA, Paris. 259 p.
- LESAFFRE B., PENEL M., 1988. – Réseaux de drainage par canalisations enterrées : (1) Aspects généraux de la maîtrise des excès d'eau, (2) Fonctionnement, dimensionnement et mise en oeuvre. *Tech. Agric.*, fasc. **5550**, **5551**.
- LESAFFRE B., ZIMMER D., 1987 a. – Régime hydrique d'un sol drainé : comparaison des phases débits de pointe et tarissement. *Science du Sol*, **25** (4), 217-229.
- LESAFFRE B., ZIMMER D., 1987 b. – Modélisation du comportement hydraulique d'un sol drainé : débits de pointe et tarissement. *Science du sol*, **25** (4), 231-246.
- MEROT P., HAMDI H., 1990. – Traçage de l'eau d'une parcelle argileuse drainée. Compte rendu de l'AIP INRA - CEMAGREF "Excès d'eau - drainage". A paraître.
- RUSSEL J.L., 1934. – Scientific research in soil drainage. *J. Agric. Sci.*, **24**, 544-573.
- SKAGGS W., TANG Y. K., 1976. – Saturated and unsaturated flow to parallel drains. *J. Irr. and Drain. Div.*, ASCE, **102** (2), 221-237.
- VAN HOORN J. W., 1973. – Drainage of heavy clay soils. In : *Drainage : principles and applications*, ILRI, **16** (4), 313-326.
- VAUCLIN M., KHANJI D., VACHAUD G., 1976. – Etude expérimentale et numérique du drainage et de la recharge des nappes à surface libre, avec prise en compte de la zone non saturée. *J. Méc.*, **15** (2), 307-348.
- ZIMMER D., 1989. – Transferts hydriques en sols drainés par tuyaux enterrés. Compréhension des débits de pointe et essai de typologie des schémas d'écoulement. Thèse de l'Université Paris VI, *Etud. CEMAGREF*, Série Hydraulique Agricole, **5**, 327 p.
- ZIMMER D., 1990. – Evaluation du fonctionnement des réseaux de drainage. Application aux sols argileux de Lorraine. Compte rendu de l'AIP INRA - CEMAGREF "Excès d'eau - drainage". A paraître.

