

MODALITES DE L'INFILTRATION DANS UN SOL
A POROSITE CONTRASTEE

JM. IRIS, E.FRITSCH, JL. JANEAU

Centre ORSTOM d'Adiopodoumé BP. V51 Abidjan RCI

INTRODUCTION

La dynamique de l'eau dans le sol est classiquement décrite par les paramètres de la loi de Darcy généralisée et le coefficient de perméabilité du sol saturé K_s (Vachaud & al 1978). Le plus souvent l'infiltration est produite par la submersion de la parcelle expérimentale, et la mesure du débit d'infiltration associée à des mesures tensio-neutroniques.

Des études sous pluies naturelles ont mis en évidence l'effet de l'intensité des précipitations sur la vitesse de progression du front d'humectation (Féodoroff 1965, Féodoroff et Ballif 1969, Sedghi 1972) ainsi que l'effet de l'infiltration d'une nappe d'eau sur la structure du sol (Lessard 1981). Dans le but d'étudier précisément les modalités de l'infiltration naturelle, un protocole de mesure a été établi prévoyant l'utilisation du simulateur de pluie de l'ORSTOM.

Cette note présente les résultats de l'expérimentation effectuée au cours d'une étude contractuelle de caractérisation hydrodynamique des sols de bananeraies de basse Côte d'Ivoire. Après la présentation analytique des résultats expérimentaux le comportement hydrodynamique est analysé en fonction de l'organisation structurale du sol.

I LE SOL ET LES CONDITIONS EXPERIMENTALES

Le sol

La parcelle expérimentale est localisée sur un bourrelet de berge dans un sol limono-argileux d'origine alluviale (Fritsch & al 1984). Dans la zone de prospection racinaire du bananier, limitée aux quarante premiers centimètres, la structure du sol est nettement polyédrique; le réseau poral continu macroscopique délimite des éléments structuraux centimétriques

L'observation microscopique de lames minces de sol fait apparaître deux types de réseaux poreux selon la texture de l'environnement matriciel:

1°/ Dans les vingt premiers centimètres du sol les vides sont ouverts dans un matériaux enrichi en petits grains de sable quartzeux. Ils sont limités par ces sables qui leurs donnent une forme

polygonale de 40 à 200 microns. Leur densité peut être localement forte mais ils ne présentent aucune communication entre eux.

2°/ L'ensemble du matériau est occupé par un réseau de pores de grande taille (500 microns) dont les associations peuvent atteindre 3 mm et être ainsi observables à l'oeil nu. Les communications sont alors fréquentes et l'ensemble délimite des éléments structuraux macroscopiques. Localement un réseau de vides de 100 à 200 microns, ouvert dans la matrice fine, est connecté aux plus grands pores.

Ces deux systèmes poreux observables au microscope sont fonctionnels: à la base de la couche de sol étudiée certains pores sont tapissés de dépôts argileux orientés qui peuvent s'accumuler jusqu'à colmater ce qui apparaît être des culs-de-sac.

Selon les mesures de porosité totale effectuées par la méthode du cylindre, et les mesures de porosité texturale (Monnier et al 1976) la macroporosité décrite précédemment occupe une faible proportion de la porosité totale (Tableau I). Elle est fortement réduite à plus de 20 cm de profondeur.

Prof. (cm)	porosité (%)		
	totale	micro.	macro.
0-10	62,5	44,5	18
10-20	55,5	38,2	17,3
20-30	49,9	45,3	4,6
30-40	50,6	46,4	4,2

Tableau I: Caractéristiques du milieu poreux

Le protocole expérimental

L'expérimentation a duré une semaine au cours de laquelle cinq pluies identiques furent simulées sur une parcelle de 1 m² à l'aide d'un infiltromètre à aspersion (Asseline Valentin 1978).

Chacune des pluies de 70 minutes était composée de cinq séquences d'intensité constante variant entre 30 mm/h et 12 mm/h. Le hyétogramme expérimental (figure 1) a la forme classique des pluies orageuses du début de la saison pluvieuse. L'apport total sur la parcelle, réparti en 5 pluie de 80 mm, était de 400 mm à la fin de l'expérimentation.

Les dates de précipitations ont été déterminées pour que des délais de ressuyage du sol soient respectivement 48h

48h, 12h et 30 minutes entre l'arrêt d'une pluie et le début de la suivante. Pendant ces périodes la surface du sol était bâchée afin de limiter l'évaporation.

Au sol le ruissellement et l'infiltration étaient mesurés de façon continue, pendant les précipitations, par un limnigraphe et une sonde neutronique de 40 mc qui fut étalonnée par la méthode gravimétrique au cours d'une année de mesures. Le but de l'expérience étant d'analyser l'infiltration de l'eau dans le sol, la surface était couverte d'un paillage de protection afin de réduire autant que possible les effets des réorganisations de surface. Ce paillage a joué son rôle en réduisant l'effet d'impact des gouttes de pluie sur le sol et la totalité de l'apport s'est ainsi infiltrée.

II RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les mesures neutroniques continues ont permis d'établir, pour chacune des pluies simulées, l'évolution du stock d'eau présent dans les quarante premiers centimètres du sol (figure 2). Ces stocks ont été calculés après l'étalonnage de la sonde par la méthode gravimétrique au cours d'une année complète de mesures en conditions naturelles.

La succession des pluies simulées n'a pas modifié la forme des courbes obtenues. Par contre les valeurs de leurs bornes diffèrent systématiquement entre chaque pluie, les valeurs de stock au début et à la fin de la pluie s'accroissent au cours de la semaine d'expérimentation.

L'allure générale des courbes d'humectation est caractérisée dans une première partie par l'accroissement de la valeur du stock avec une vitesse régulièrement décroissante. Il s'annule dans la seconde partie des courbes sous la forme d'un palier au niveau duquel le stock hydrique est stabilisé. Ce palier est nettement marqué malgré de légères fluctuations de stock (positives ou négatives) vraisemblablement induites par les changements d'intensité de l'apport pluviométrique. La durée d'ascension des courbes est liée à la recharge du stock au cours de la pluie, le palier n'a pas été atteint au cours de la première simulation.

L'évaluation des vitesses d'humectation entre deux mesures consécutives prises sur les courbes expérimentales a permis d'établir les relations entre la vitesse de recharge du stock hydrique et le stock (figure 3).

Mise à part la première simulation au cours de laquelle la recharge du stock fut incomplète, les relations qui se dégagent sont linéaires:

$$\frac{dH}{dt} = a.H + b \quad (1)$$

Les risques d'erreurs produits par le calcul des régressions sont faibles malgré le petit nombre de mesures (Tableau II).

Pluie	a	b	r	risque
1	non significatif		-0,73	0,0611
2	-3,53	511,3	-0,96	0,00018
3	-3,34	515,3	-0,89	0,00146
4	-3,25	530	-0,92	0,00848
5	-6,42	1057,1	-0,93	0,0028

Tableau II: Paramètres des droites de regression

Les droites de régression établies sur les données des trois pluies survenues après un temps de ressuyage du sol compris entre 12 et 48 heures présentent des valeurs de pente très voisines, pour la dernière pluie simulée cette pente est double des précédentes. Selon ces relations hautement significatives, la dynamique de recharge du stock d'eau du sol ne semble pas dépendre du stock initial mais d'autres paramètres que nous chercherons dans l'organisation du matériau pédologique.

L'intégration de la formule différentielle (1) restitue les courbes d'évolution des stocks sous les pluies simulées sous une forme exponentielle bornée par une valeur limite H1 (figure 4).

$$H1 = \frac{b}{a}$$

Le tableau III indique les valeurs limites de ces évolutions calculées et les recharges de stock correspondantes. Les recharges successives du stock d'eau du sol ne dépassent pas 18% de l'apport, elles sont directement liées aux durées de recharge.

Pluie	Stock hydrique		Recharge (mm)	durée (1) de recharge (mn)
	initial (mm)	H1 (mm)		
2	133,8	144,7	10,9	34,4
3	140,2	154,5	14,3	40,0
4	152,6	163,1	10,5	34,3
5	158,4	164,5	6,1	12,3

Tableau III : Valeurs limites des humectations modélisées par les fonctions exponentielles (1):au seuil de 1%

Cette expérimentation a permis de déduire quelques principes de fonctionnement hydrique de ce sol au cours de l'infiltration d'un apport pluviométrique.

La recharge du stock hydrique est un phénomène régulier, répétitif, et insensible aux fluctuations brutales des intensités d'apport. A la stabilisation du stock, ces fluctuations sont répercutées à la base du niveau étudié (1).

Ces résultats indiquent également que la recharge est fortement réduite si le délai de ressuyage est trop court, mais indépendante de l'humidité initiale dans les autres cas.

Par hypothèse nous supposerons dans la suite que ces principes sont induits par un déterminisme structural, et nous proposerons un "scénario vraisemblable" du comportement basé sur la configuration de l'espace poral.

III INTERPRETATION STRUCTURALE

L'objectif de l'interprétation hydrodynamique des courbes expérimentales est de proposer un mécanisme du comportement du sol qui puisse expliquer les modalités expérimentales observées.

Aux deux parties des courbes expérimentales, correspondent deux types distincts de phénomènes:

Au cours de la première phase l'humectation et la percolation sont simultanées.

Pendant la seconde phase, l'apport pluviométrique continu n'entraîne pas de recharge du stock. La totalité de l'eau pluviométrique percole à travers le niveau étudié.

L'hétérogénéité du milieu poreux, en induisant l'hétérogé-

néité du comportement hydrique dans le sol peut-être à l'origine des modalités de l'humectation du matériau:

1°/ En empruntant la microporosité le flux hydrique devrait perdre son caractère gravitaire. Les vitesses de progression du front devraient alors suivre le gradient de potentiel et donc rester relativement régulières. Les observations infirment cette hypothèse.

2°/ Si l'eau empruntait exclusivement le réseau macroporeux le comportement du sol devrait être celui d'un simple réservoir qui se vidange en fin de pluie. Ce comportement s'oppose à l'accroissement systématique du stock hydrique après des durées de ressuyage relativement longues.

Ces deux types de fonctionnement composent la dynamique globale de l'humectation du matériau.

Dans la phase ascendante des courbes d'humectation, tout se passe comme si la percolation de l'eau dans le réseau macroporeux, et l'humectation matricielle par la porosité texturale étaient simultanées. Dans ce cas l'humectation matricielle étant réduite au niveau du palier, seule la percolation gravitaire subsiste.

Il est possible d'expliquer le blocage apparent de l'humectation matricielle par le cheminement de l'eau d'apport dans le sol.

Les voies préférentielles du transfert hydrique dans le sol sont les réseaux macroporeux continus. Les zones d'humectation sont donc situées à la périphérie des pores tubulaires et fissuraux qui composent ces réseaux. Si on admet que le cheminement de l'eau dans la porosité texturale est soumis aux gradients de potentiels hydriques, la lenteur de sa progression ne permet pas la saturation de la matrice en fin de pluie. De plus la saturation d'une gaine matricielle autour de la macroporosité aura pour effet un ralentissement sensible des transferts hydriques des macropores vers la matrice par suite de la réduction du gradient de potentiel au niveau des parois des pores.

Entre deux pluies les transferts hydriques centripètes continuent dans la matrice entraînant la désaturation de cette gaine. La dynamique de recharge du stock hydrique peut ainsi se répéter au cours de la pluie suivante. Lorsque le délai de ressuyage est trop court pour permettre la désaturation de cette zone, la recharge du stock est faible (cf pluie n°5) et l'accession au palier est rapide.

Les modalités de l'humectation dépendent du comportement des interfaces porosité/matrice qui peuvent, selon les sols, prendre des aspects divers. C'est également le comportement des interfaces sol/atmosphère qui conditionnent l'infiltration de l'eau dans le sol.

Cette analyse n'a pu être effectuée qu'à partir de la

décomposition de l'infiltration en deux flux de percolation et d'humectation. Cette décomposition étant rendue possible par le contrôle de l'intensité de l'infiltration sous pluie simulée.

CONCLUSIONS

Cette étude expérimentale dans un sol dont l'organisation structurale assure une forte capacité d'infiltration est à l'origine de l'analyse des modalités de l'infiltration.

La cinétique répétitive de recharge du stock hydrique, observée sous une succession de pluies simulées a permis de modéliser l'humectation du matériau par une fonction exponentielle simple atteignant son palier au cours de la pluie.

Ce palier, stable malgré des fluctuations brutales de l'apport pluviométrique, met en évidence l'existence d'un flux gravitaire percolatif qui traverse le niveau étudié en empruntant le réseau macroporeux continu.

La dynamique des recharges atteignant, sous chaque pluie, un état assimilable à une saturation, leur fractionnement, et la répétition de leur cinétique indiquent que la rétention de l'eau assurant l'accroissement du stock hydrique s'effectue en dehors des circuits percolatifs, dans la matrice fine du matériau, et que ses modalités sont diffusives.

Ces deux flux sont simultanés et hiérarchisés: le comportement typique d'un accès à la saturation est, dans ce sol, explicable par la saturation des zones d'humectation matricielles, c'est à dire des interfaces macropores/matrice.

Ce type de comportement hydrodynamique a pu être analysés pour deux raisons:

1°/ Le matériau étudié présente un réseau continu de macropores s'ouvrant directement dans la matrice fine. La dynamique d'humectation n'a pu être gênée par des effets parasites de remplissage de pores de dimension intermédiaire.

2°/ La simulation de pluie, avec le contrôle des intensités d'apport a permis de mettre en évidence les phénomènes gravitaires de façon indirecte.

L'humectation matricielle et la percolation gravitaire apparaissent donc, dans ce sol, comme deux phénomènes dissociés, étroitement liés à des caractéristiques structurales du sol qui sont rarement prises en considération dans les modèles dynamiques déterministes.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELIN J., VALENTIN C. 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.
Cah. ORSTOM sér. hydrol. 25 (4) pp 321-350
- FEODOROFF A. 1965. Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante.
Ann. Agron. 16 (3) pp 231-263
- FEODOROFF A., BALLIF JL. 1969. Etude de l'infiltration in situ à l'aide de tensiomètres.
Ann. Agron. 20 (5) pp 475-504
- LESSARD L. 1981. Caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé et évolution structurale.
Bull. AFES 1981 (1) pp 55-72
- MONNIER G., STENGEL P., FIES JC. 1973. Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité des sols.
Ann. Agron. 24 (5) pp 533-545
- SEDGHI H. 1972. Etude de l'écoulement de cases lysimétriques.
Ann. Agron. 23 (1) pp 51-76
- VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S., TONY JL. 1978. Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique.
Ann. Agron. 29 (1) pp 7-36

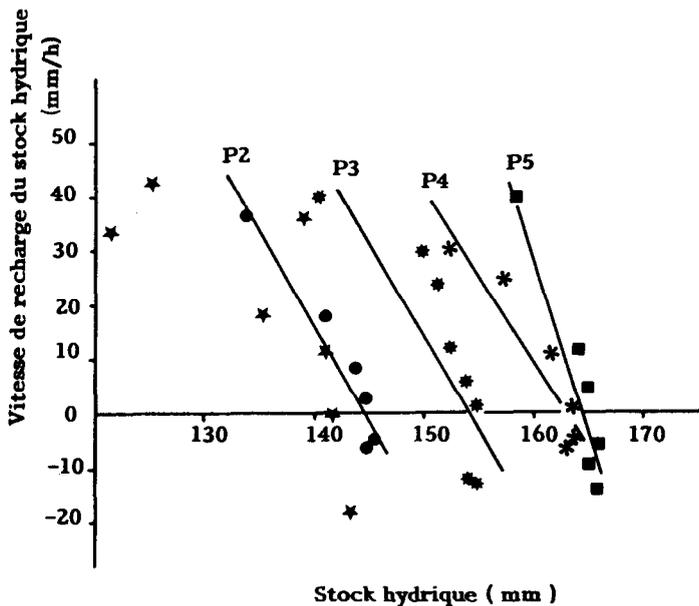


Figure 3: Dynamiques des recharges du stock hydrique sous les pluies simulées. En trait plein: droites de régression $dH/dt = aH + b$.

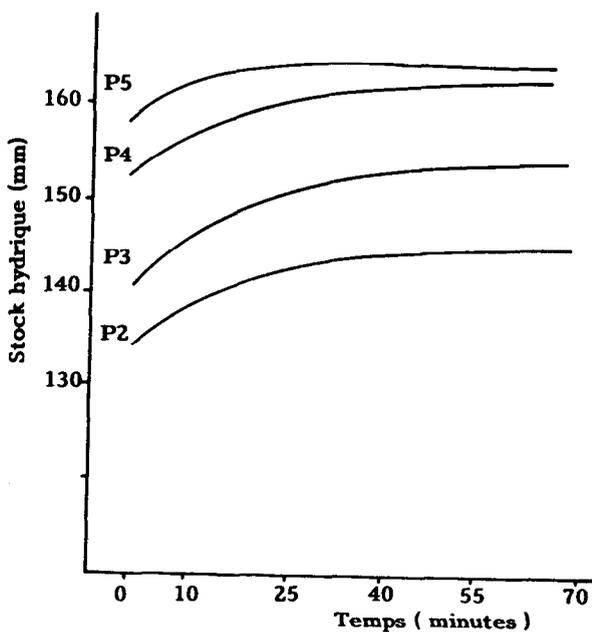


Figure 4: Evolution calculée du stock hydrique du sol sous les pluies simulées.

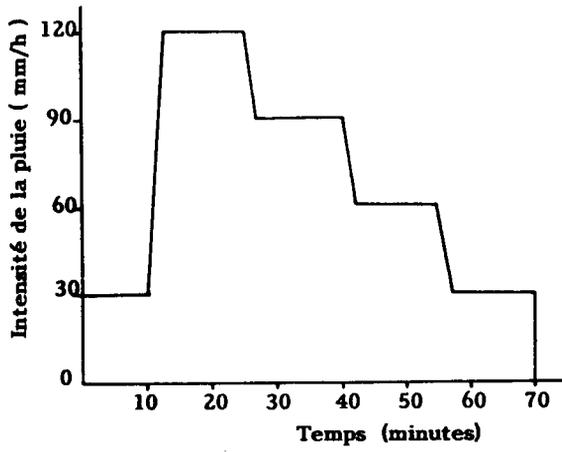


Figure 1: Hyetogramme des pluies simulées

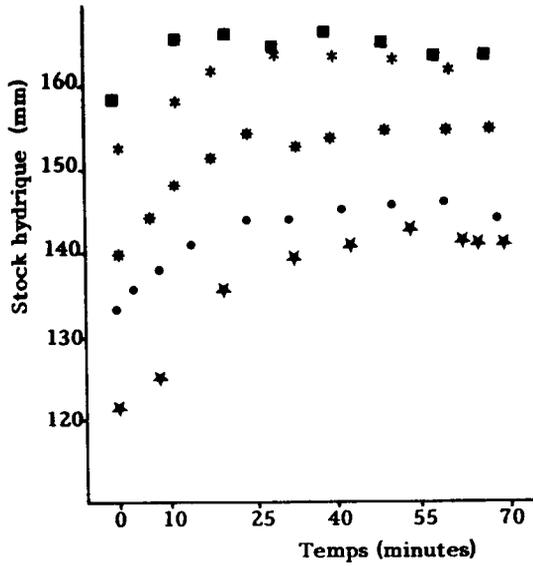


Figure 2: Evolution du stock hydrique du sol sous les pluies simulées. P1=★;P2=●;P3=◐;P4=✱;P5=■.