

SR/DO 80/85

CN0100610  
P332  
BAR

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES  
(I.S.R.A.)

CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE  
D'UN SOL DE LA REGION DE NIORO DU RIP

Par  
F. BARET

12/11/80  
0724 00  
OND  
SR/DOC

# PLAN

## INTRODUCTION

### 1 - SITUATION, TYPE DE SOL

#### 1-1 Situation

#### 1-2 Type de sol

1.2.1 Distribution de la fraction A+L

1.2.2 Profil de densité apparente

### 2 - MATERIEL ET METHODES

### 3 - L'INFILTRATION

#### 3.1 Première infiltration

#### 3.2 Seconde infiltration

### 4 - LE DRAINAGE INTERNE

### 5 - EVAPORATION NATURELLE

### 6 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

#### 6.1 Relation tension-humidité

#### 6.2 Relation Conductivité-humidité

## CONCLUSION

## BIBLIOGRAPHIE

## INTRODUCTION

Cet essai est la suite d'une série visant à mieux connaître les caractéristiques hydrodynamiques des principaux types de sol du Sénégal. Il est le résultat d'une collaboration avec l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique, et l'Institut de Mécanique de Grenoble.

La méthodologie utilisée reste toujours la même et a été précisée par Baret et Beye en 1980 : il s'agit de suivre l'évolution simultanée de l'humidité et du potentiel matriciel de l'eau du sol au cours d'une redistribution interne, le sol ayant été préalablement "saturé" puis immédiatement recouvert d'un mulch isolant annulant l'évaporation. De ces données, nous déduisons les caractéristiques hydrodynamiques :

- relation  $h(\theta)$  : potentiel-matriciel-humidité
- relation  $K(\theta)$  : perméabilité-humidité.

Nous avons suivi ensuite l'évaporation du monolithe en le découvrant pour essayer de quantifier le phénomène,

Nous essaierons enfin de modéliser les relations  $K(\theta)$  en fonction du taux d'éléments fins inférieurs à 20 ( $\% A+L$ ) (Vauclin, 1980).

- I Sols minéraux bruns à origine non calcaïque, sols bruns à humus, situés sur terrain accidenté, à l'altitude terminale sur colline peu profonde
- Groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés (appauvris)
- II, VI Sols à sesquioxydes
- III Sols jaune rouge colluvial à lessivage peu marqué sans taches ni concrétions
- IV " " " " " " " " " " avec taches et concrétions
- V Sol brun très pâle à taches et concrétions ; hydromorphe
- VII, VIII Sols hydromorphes vrais

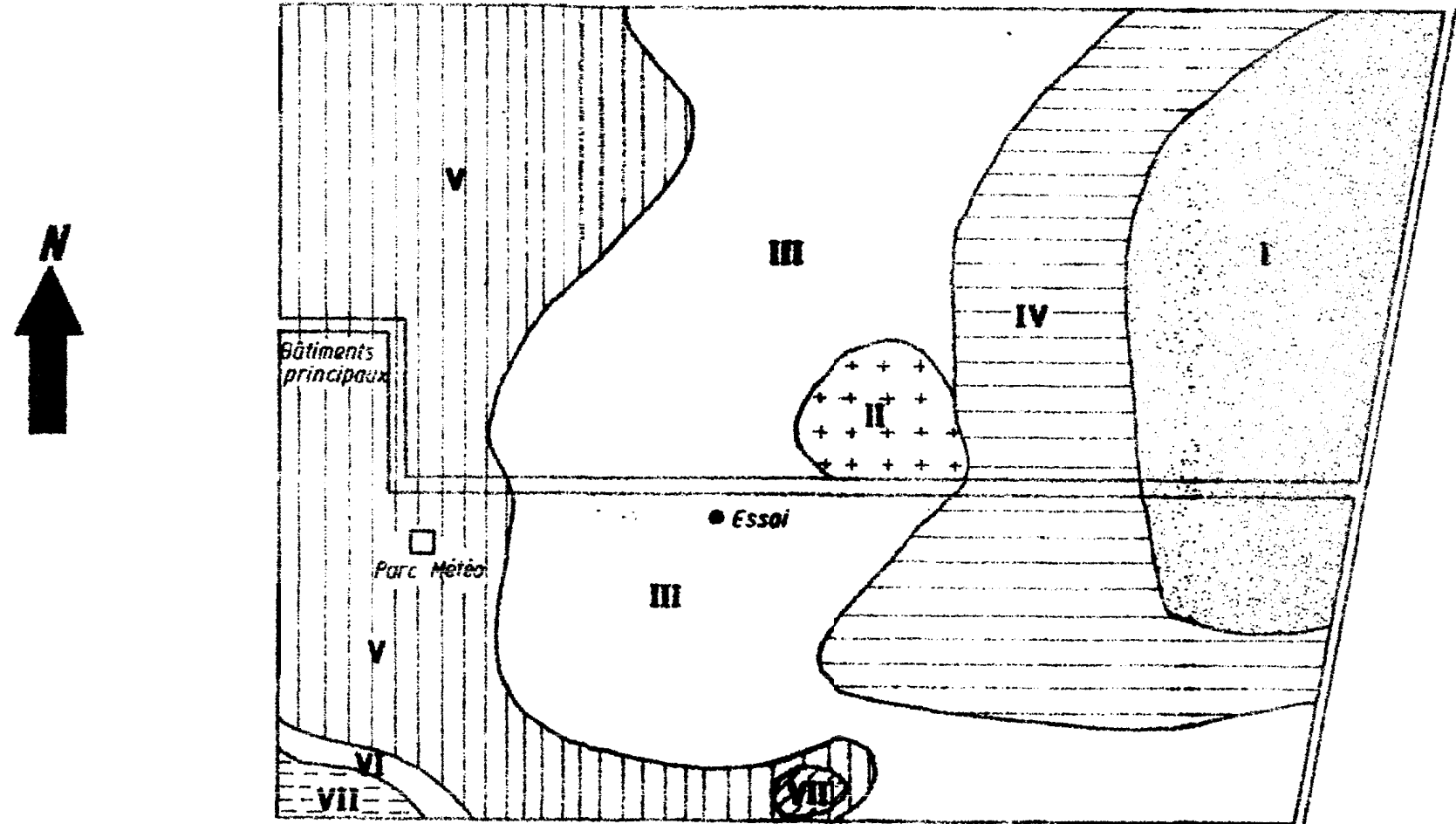
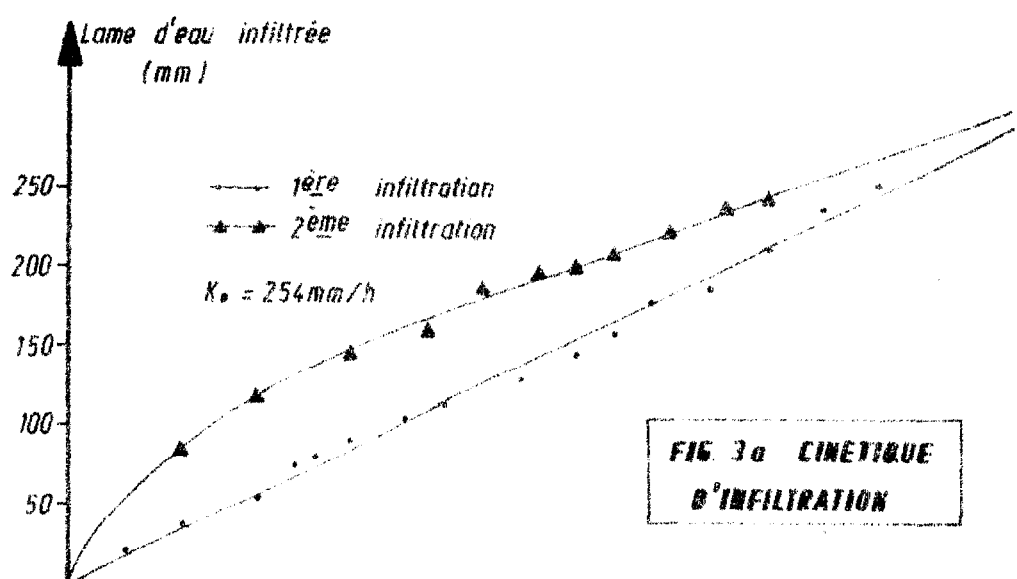
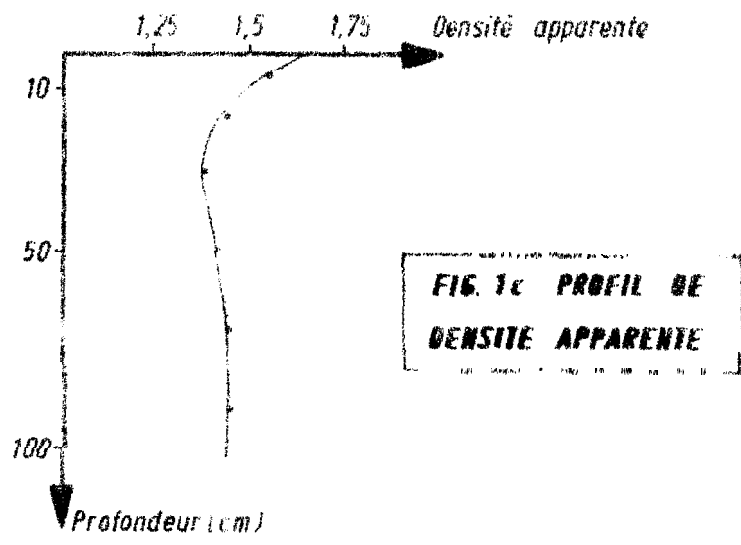
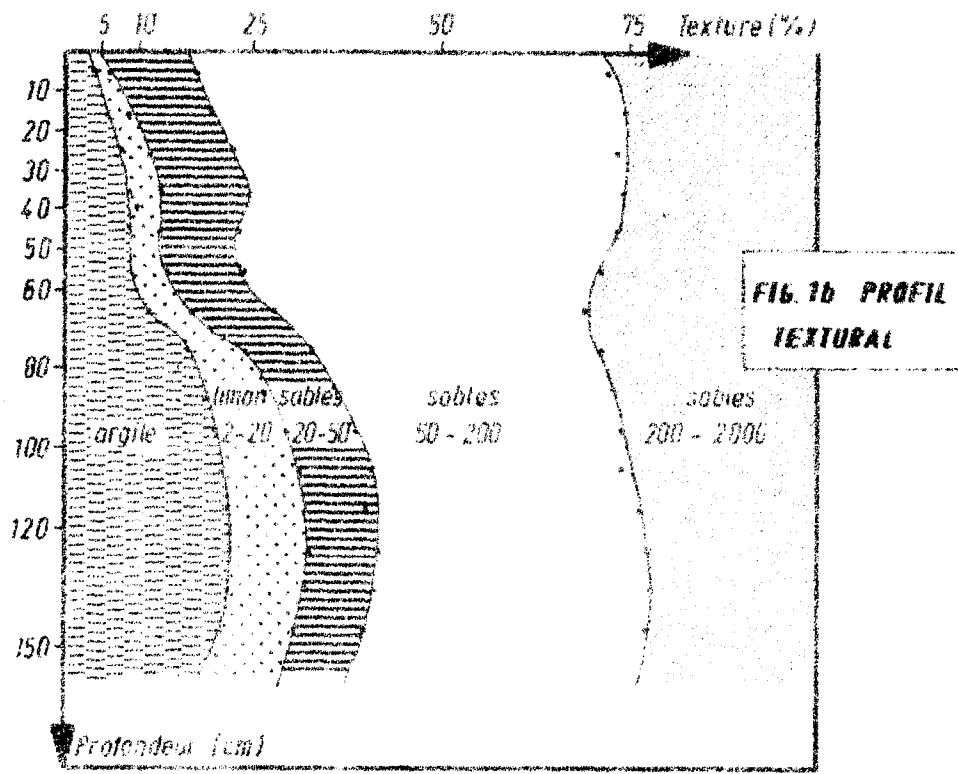


FIG. 1a SITUATION ET CARTE PÉDOLOGIQUE (D'APRÈS PIERI, C 1969)  
DE L'ESSAI DE CARACTÉRISATION À NORD DU RIP



# 1 - SITUATION, TYPE DE SOL

## 1.1. Situation :

La caractérisation a été effectuée sur le terrain de la station ISRA de Nioro du Rip, à environ 300 m à l'Est du groupe de bâtiments principaux. Le précédent cultural était une jachère d'herbe ayant asséché le sol sur une grande profondeur.

## 1.2. Type de sol

Le sol étudié appartient à une zone (cf carte 1 ) de sols ferrugineux tropicaux lessivés, jaune rouge colluvial à lessivage peu marqué, sans tâches ni concrétions. Lors de l'isolement du monolithe de sol (Baret, Bayo, 1980) nous avons remarqué sur le profil :

- de nombreuses fissures ou fentes de retrait.
- une discontinuité nette vers 70 cm, à partir de laquelle les horizons sont très durs et très compacts

Le sol paraissait relativement homogène horizontalement sur le périmètre du monolithe.

### 1.2.1. Distribution de la fraction % A+L

La fraction A+L représente le paramètre textural expliquant le mieux les caractéristiques hydrodynamiques. (Imbernon, 1979). La teneur en argile et limons fins ( $\phi < 20 \mu$ ) (cf grap. 1b) est assez importante et ~~est~~ <sup>croît</sup> progressivement avec la profondeur

### 1.2.2. Profil de densité apparente (fig 1b)

La densité apparente, constante en profondeur (1,45), tend à augmenter en surface : ceci correspond peut-être à une destructuration superficielle possible car la teneur en éléments fins est relativement faible en surface. Les valeurs obtenues de densité apparente serviront à transformer l'humidité pondérale en humidité volumique pour l'étalonnage de la sonde, et les mesures d'humidité de surface (0-10 ; 10-20)

## 2 - MATERIEL ET METHODES

Nous renvoyons le lecteur aux travaux de Vachaud et al (1978) pour la théorie, de Baret et Boye (1980) pour la méthodologie et le matériel et au tableau I, qui décrivent les caractéristiques détaillées de ce type d'essai

TABLEAU - I

Monolithe	Forme	cylindrique
	Surface	5 m <sup>2</sup>
	Profondeur	1,3 m
Mesure d'humidité volumique	Horizontals 0-10 10-20	méthode gravimétrique $\gamma \theta_p$ $\theta_v = d \times \theta_p$
	Il partir de 30 cm et tous les 10 cm : sonde à neutrons Troder-étaimage in situ	
Mesure de la charge hydraulique	Tensiomètres soil moisture implantés à 10-20-30-40-50-60-80-100-120-150 cm	

## 3 - L'INFILTRATION

La phase d'infiltration consiste à apporter une certaine quantité d'eau, de manière à amener le sol à une humidité proche de la saturation et sur une profondeur suffisante. On peut suivre pendant cette phase, la vitesse d'infiltration dans le sol, sous une lame d'eau maintenue constante en surface (4 cm de hauteur). Cette vitesse, une fois stabilisée est la perméabilité Muntz ( $K_0$ ) qui approche la perméabilité à saturation  $K_s$  en sol homogène. Nous avons du réalisé l'infiltration en 2 temps:

- 3.1. La première infiltration, faite le 11 Mars, a duré 47 mn durant lesquelles 252 mm se sont infiltrés ; il a été impossible d'obtenir une lame d'eau de hauteur constante de 4 cm. La perméabilité était bien trop forte et très certainement liée aux fentes de retrait notées sur le profil (cf chap. 1-2) lors de l'isolement du monolithe. La cinétique d'infiltration correspondante (cf Fig 3a) ne mesure en fait que le débit de fuite maximum du système d'apport d'eau. La perméabilité était alors supérieure à 350 mm/h
- L'infiltration préférentielle par le système

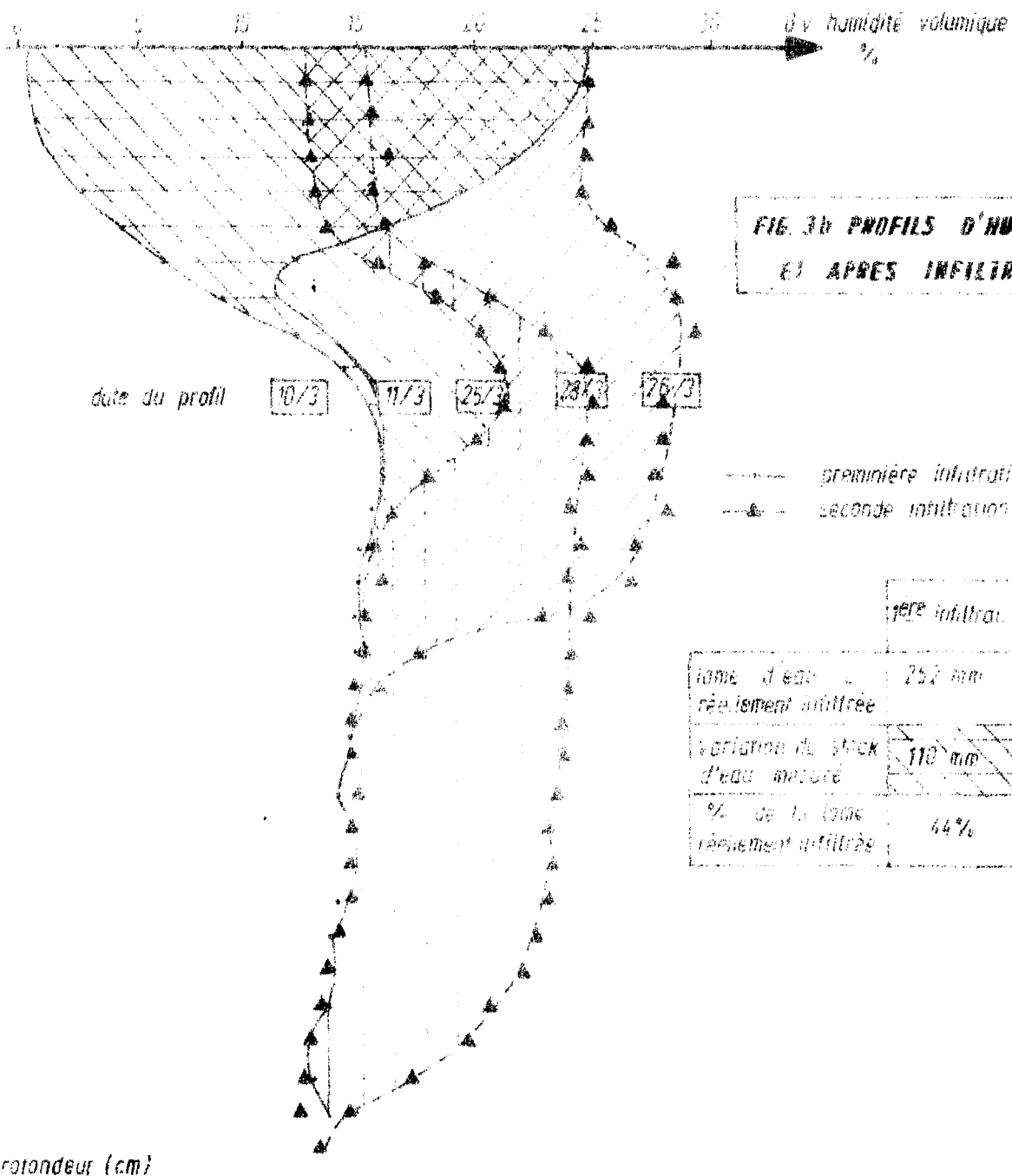


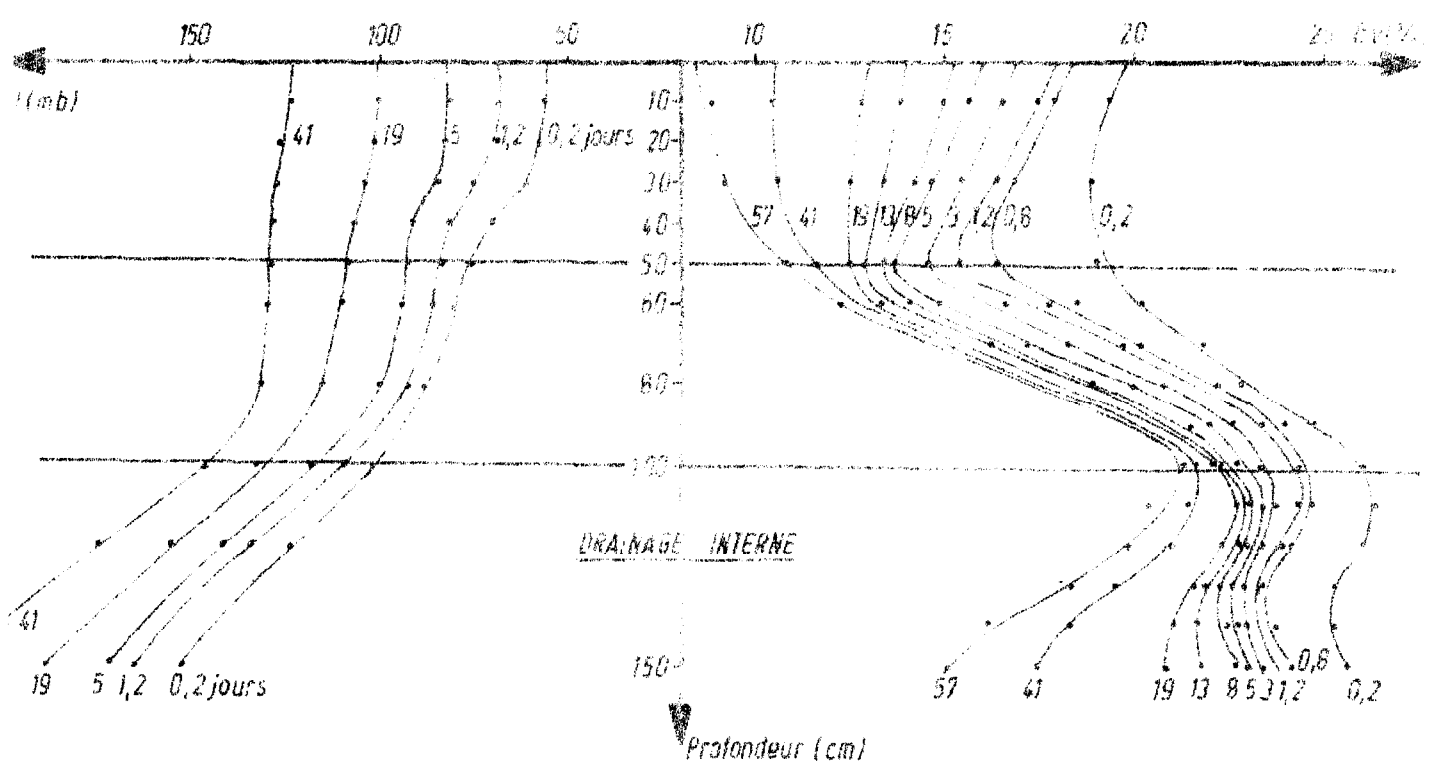
FIG. 30 PROFILS D'HUMIDITÉ AVANT ET APRES INFILTRATION

date du profil 10/3 11/3 25/3 28/3 29/3

—●— première infiltration (du 10/3 au 11/3)  
 -▲- seconde infiltration (du 25/3 au 29/3)

	1ère infiltration	2e infiltration
épaisseur d'eau réellement infiltrée	252 mm	241 mm
variation du stock d'eau mesuré	110 mm	105 mm
% de la lame réellement infiltrée	44%	69%

Profondeur (cm)



DRAINAGE INTERNE

Profondeur (cm)



de fentes de retrait est fort bien mise en évidence par la variation du stock d'eau avant et après l'infiltration qui ne représente que le 44 % du volume réellement infiltré (cf fig. 3b).

Le tensiomètre à 100 cm de profondeur a réagi avant celui placé à 80 cm : il existerait un écoulement préférentiel alimentant la zone proche de la bougie poreuse du tensiomètre 100cm. Le stock hydrique en fin d'infiltration s'est à peu près conservé lors de la redistribution car seulement 7,4 mm ont été perdus : la précision de la méthode de mesure du stock hydrique (Daudet, Valencogne, 1976) n'est pas suffisante pour affirmer que cette perte est réelle. La diffusion latérale semble donc très peu importante au niveau du tube d'accès de sonde.

3.2. La seconde infiltration, réalisée le 25 mars, soit 14 jours après la première a duré 44 minutes durant lesquelles 241 mm se sont infiltrés. La lame d'eau de 4 cm s'est formée en 4 minutes. La cinétique d'infiltration est typique avec une diminution progressive de la vitesse d'infiltration jusqu'à ce qu'elle se stabilise au bout de 20 minutes à la valeur  $K_0 = 254$  mm/h. (cf fig. 3a).

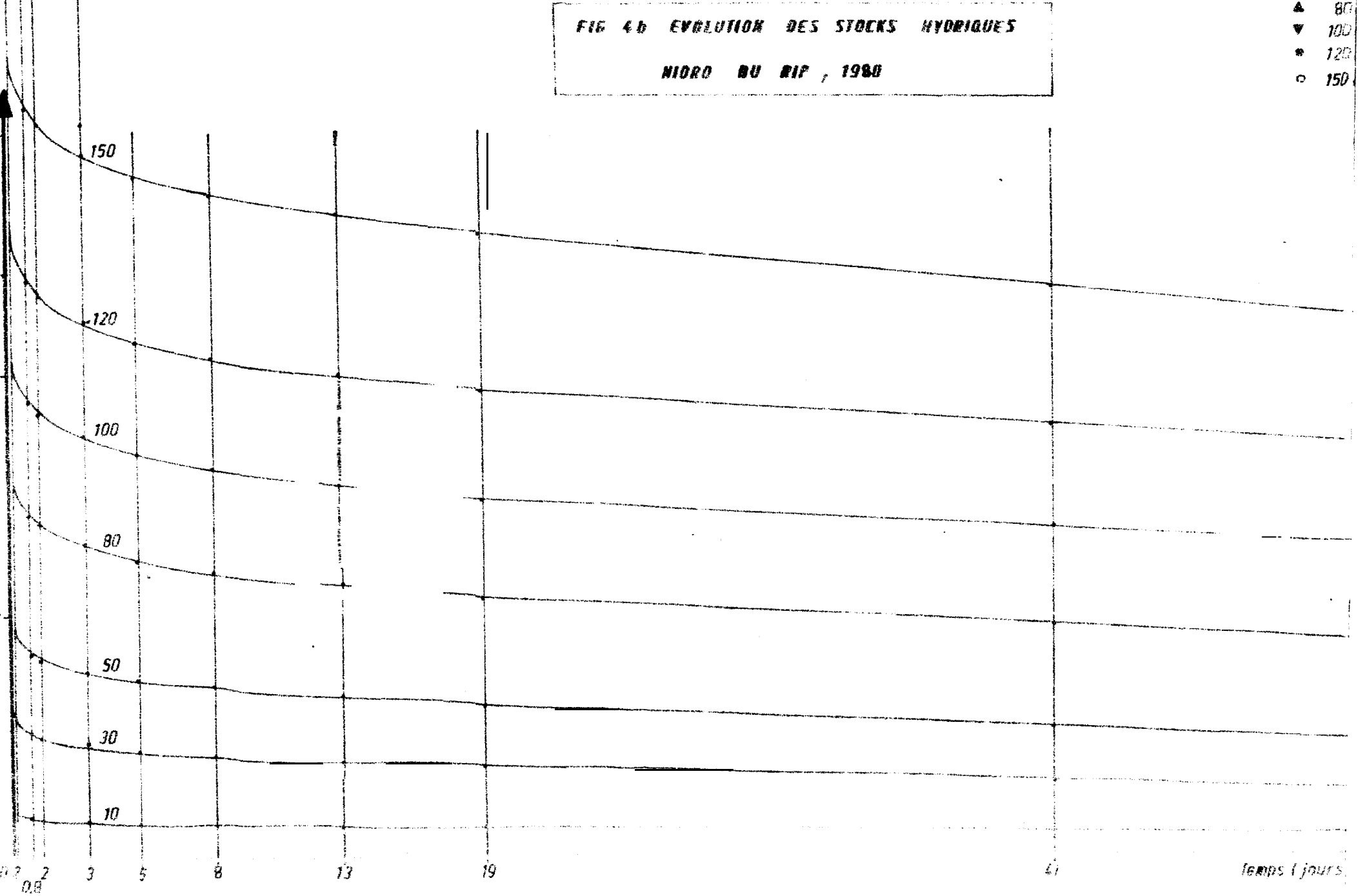
La variation du stock d'eau avant et après l'infiltration correspond à seulement 69 % de la lame d'eau réellement infiltrée. Il semble que le colmatage des fentes de retrait dû à la première infiltration ne soit que partiel, et que l'on perde encore une part importante d'eau par le système de macroporosité. Cette hypothèse est confirmée par la valeur du  $K_0$  qui semble très importante pour un sol aussi argileux : elle est de l'ordre de grandeur de celle trouvée par Imbernon en 1979 sur un sol Dior-Diéri dont la teneur en éléments fins inférieurs à 20  $\mu$  ( $\% A+L$ ) ne dépassait pas 4,5 %.

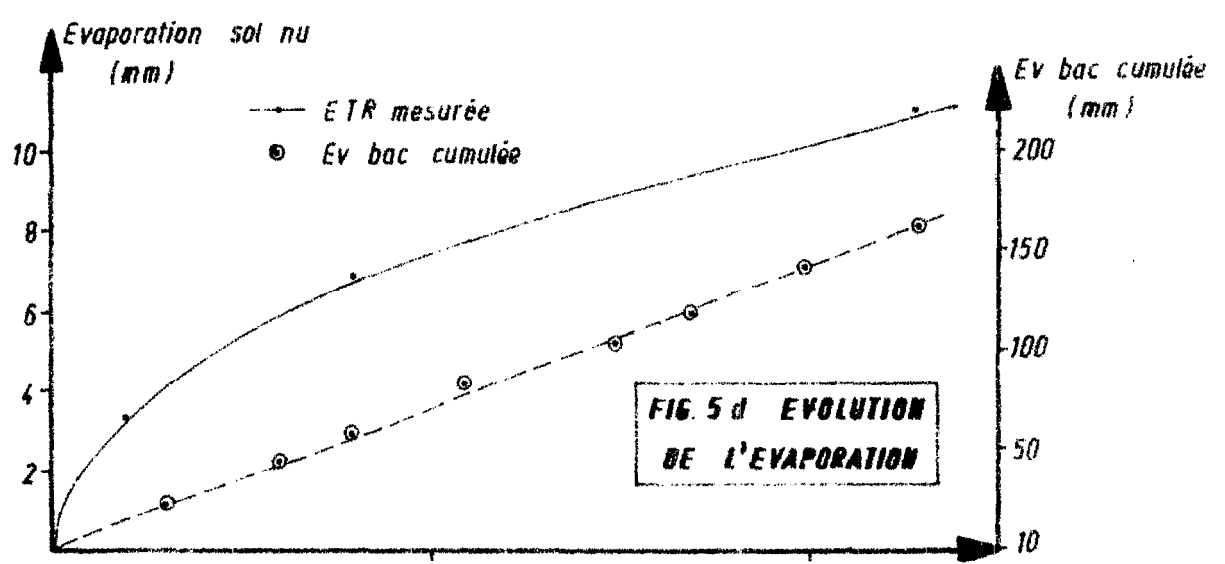
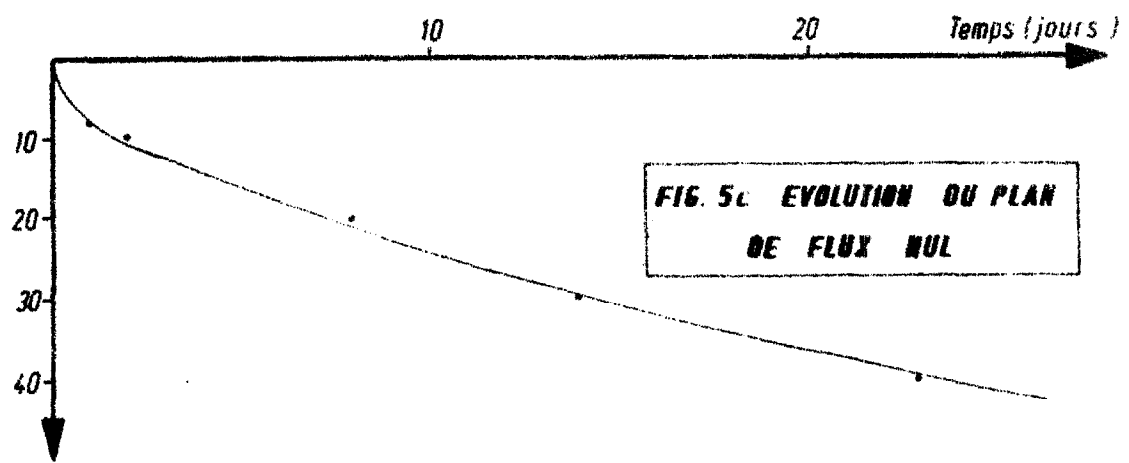
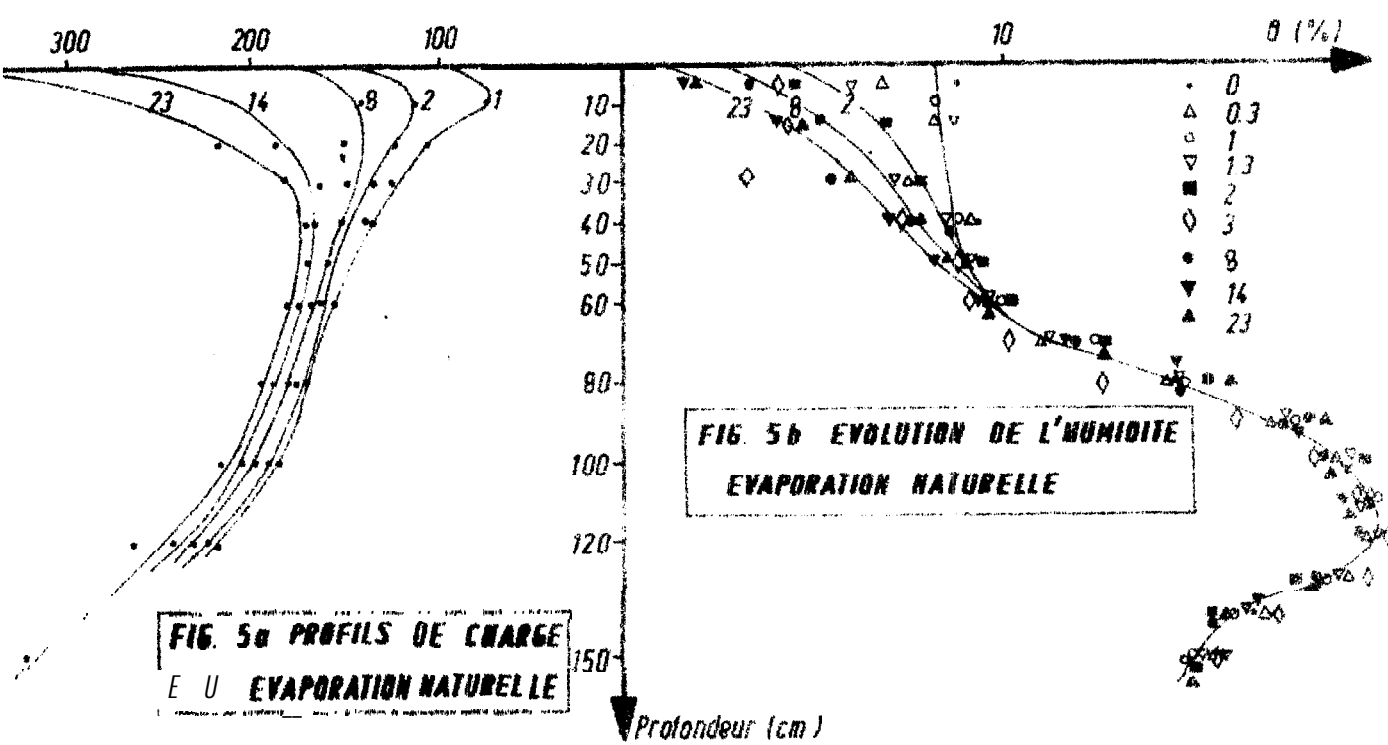
Comme lors de la première infiltration, certains tensiomètres (20, 80) ont réagi avant ceux placés au dessus (respectivement 10 et 60). C'est une preuve supplémentaire de l'écoulement gravitaire perturbé par les macropores.

FIG 4b EVOLUTION DES STOCKS HYDRIQUES

NORD DU RIF, 1980

- ▲ 80
- ▼ 100
- 120
- 150





#### 4 - LE DRAINAGE INTERNE

Cette deuxième phase de la caractérisation hydrodynamique consiste à suivre simultanément l'évolution de l'humidité et de la charge hydraulique à l'intérieur du monolithe, celui-ci ayant été recouvert d'un film plastique et d'un mulch pailleux annulant le terme évaporatif. L'écoulement sera donc descendant et pourra être considéré comme strictement vertical, condition nécessaire à l'application de la loi de Darcy, ou, égard à la conservation des stocks hydriques calculés sur tout le profil 5 jours après la disparition de la lame d'eau.

On remarque que l'hétérogénéité verticale de la texture est traduite par des profils de charge et surtout d'humidité accusant d'importantes variations verticales (fig 4a et 4b)

Les stocks hydriques (fig 4-B) évoluent relativement lentement la capacité de rétention, définie comme le stock d'eau après trois jours de ressuyage (Dancette 1970, Charreau 1963) est relativement importante dans ces sols :

TABLEAU II

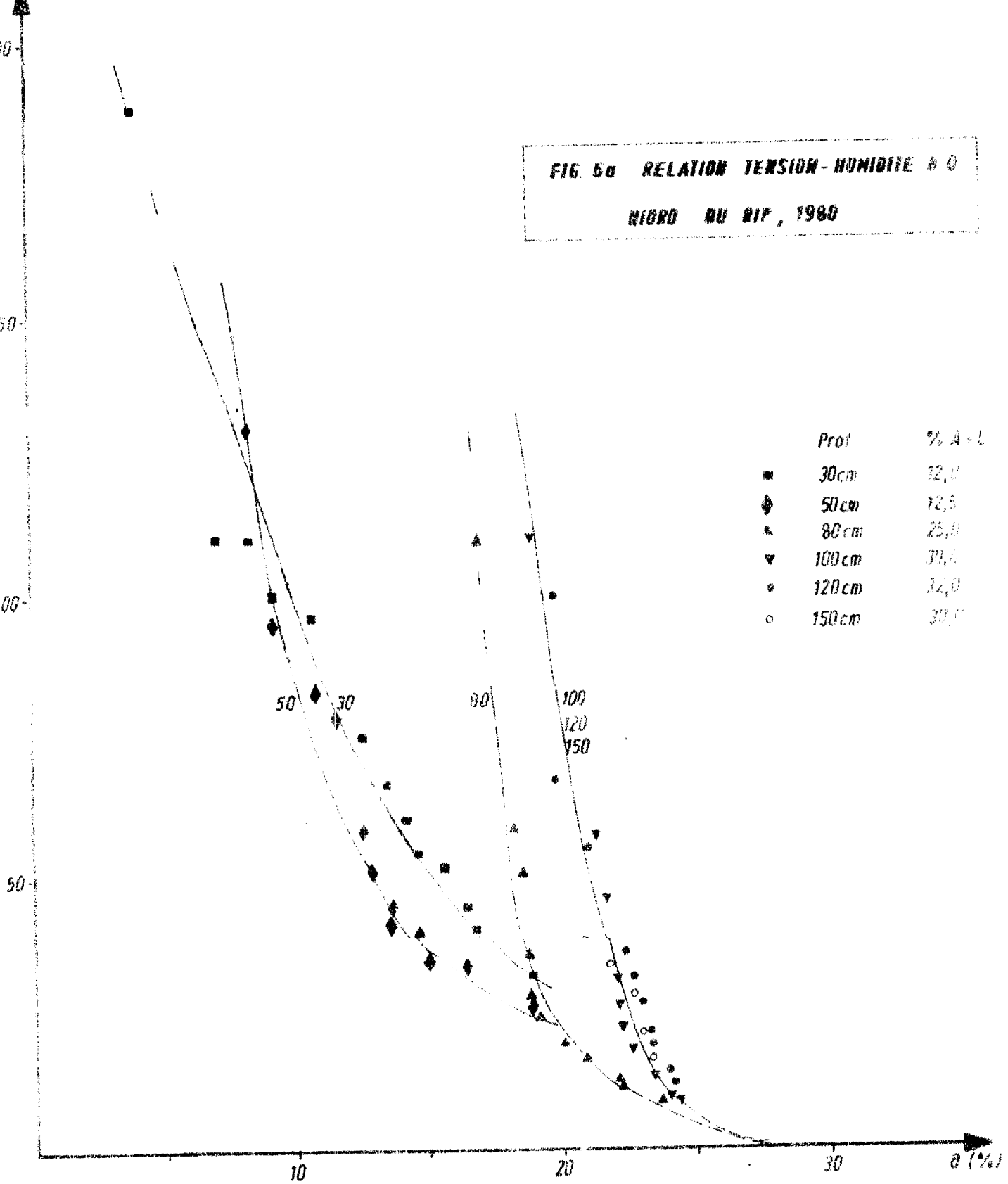
Profondeur (cm)	30	50	80	100	120	150
Réserve à C.R. (mm) et %	48 16%	78 16%	130 16%	175 18%	213 18%	292 20%
Réserve au pF 4.2 (mm) et %	8 3%	18 3%	39 4,5%	61 6%	85 7%	122 8%
Eau Utile (mm) et %	40 13 %	60 13%	91 11,5%	114 12%	128 11%	170 12%

#### 5 - EVAPORATION NATURELLE

Nous avons découvert le monolithe environ - 75 jours après la phase d'infiltration (fig 5a et 5b). On part d'un stock à la découverte et sur le premier mètre de 109 mm pour arriver en 23 jours à un stock de 91 mm. L'évaporation du sol nu a été durant cette période de 11 mm, et le drainage de 7 mm. Le plan du flux nul (fig 5-c) atteint la profondeur de 41 cm en 23 jours. L'évaporation est surtout intense dans les premiers jours qui suivent la découverte, la demande évaporative (Ev bac) restant à peu près constante (fig 5d). Sans parler de la perte de

Tension  $h$  (cm d eau = mb)

FIG. 60 RELATION TENSION-HUMIDITE  $\theta$   
 NIORD DU RIP, 1980

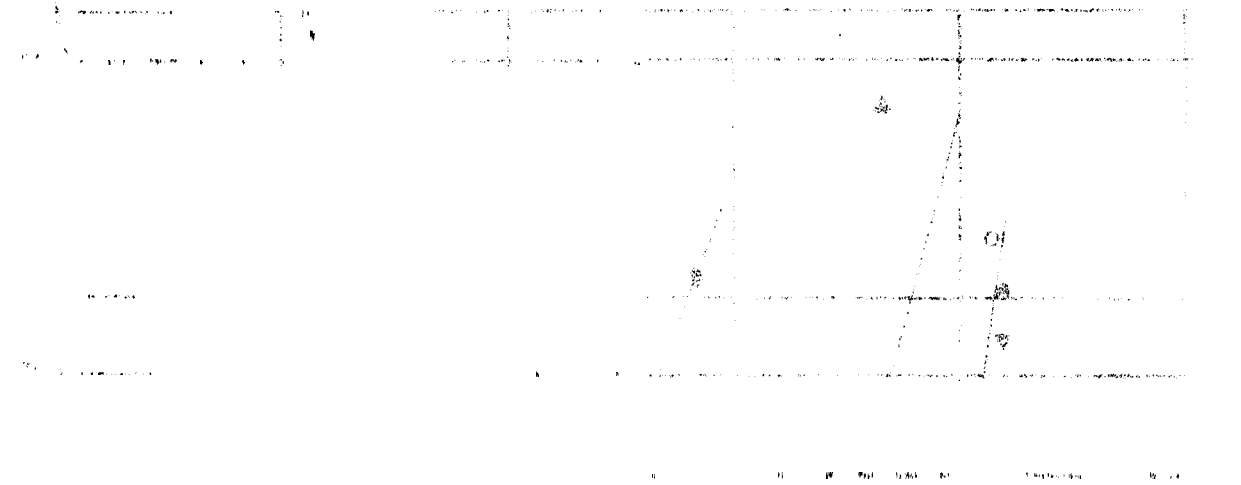


Prof	% A-L
■ 30cm	12,0
◆ 50cm	12,5
▲ 80cm	25,0
▼ 100cm	30,0
● 120cm	32,0
○ 150cm	30,0

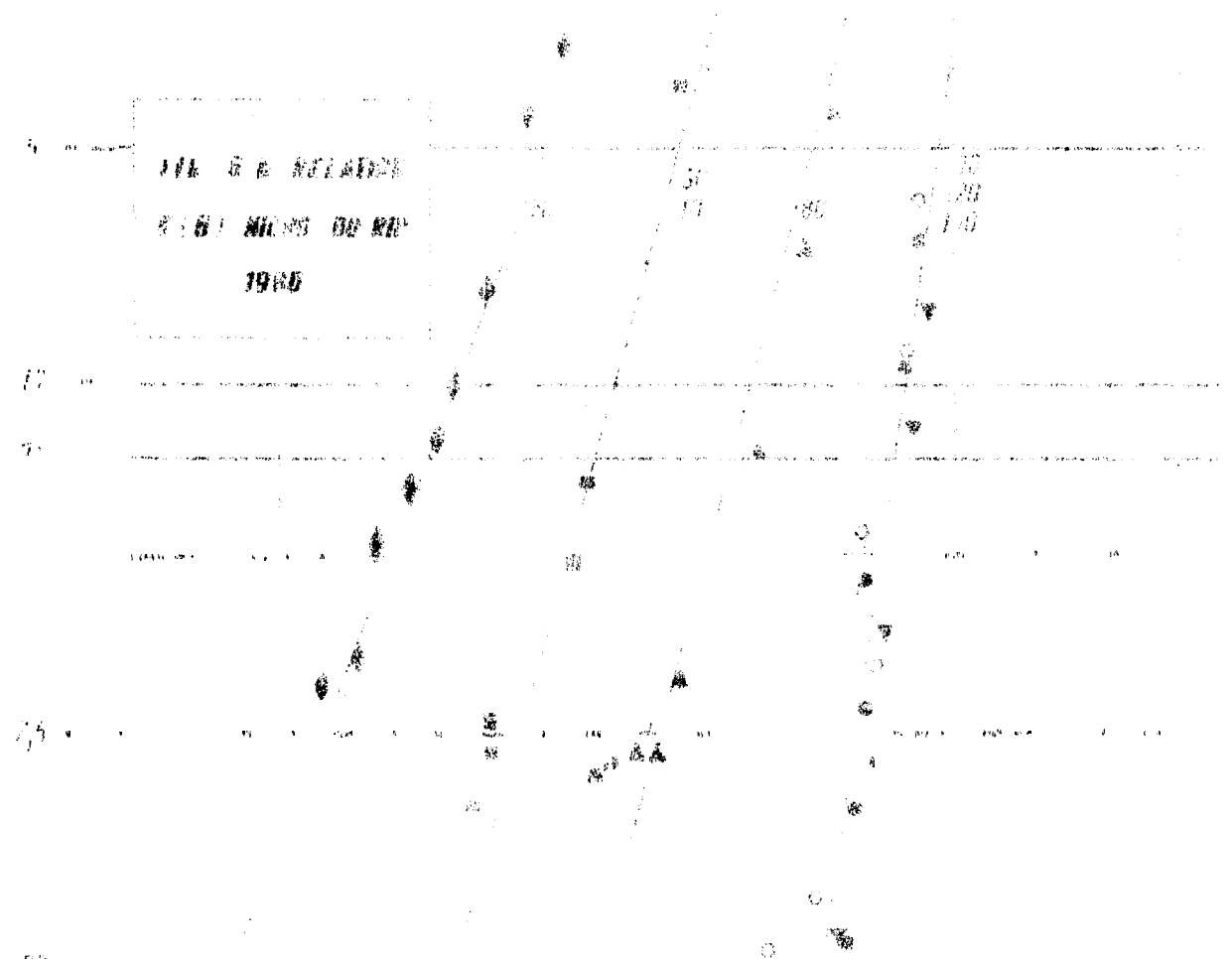
50 30 80 100 120 150

10 20 30  $\theta$  (%)

8 (mm/2)



116. 5. 6. RELATION  
 2. 8. 1. MILES DU RIV  
 1945



	% A. L.
10	5
20	12.5
50	12.5
90	25
100	35
120	50
150	80

0 (2%)

est plus importante, la surface étant réalimentée par une remontée capillaire rendue possible par la texture fine de ce sol. La drainage est; par contre faible

6 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

6.1 Relation-Tension-Humidité

Il existe d'importantes différences entre les relations tension humidité de ces horizons (cf fig 6a). La texture explique relativement bien ces différences de comportement. L'humidité à "saturation" se situe autour de 28% pour tous les horizons.

6.2 Relation Conductivité-Humidité

Il faut tout de suite remarquer que la perméabilité issue de la cinétique d'infiltration et calculée au chapitre 3 est très importante (= 6000 mm/j) et très supérieure à la perméabilité à saturation propre à chaque horizon (l'horizon 50 cm, le plus perméable n'a qu'un  $K_s$  inférieur à 2000 mm/j). L'hypothèse émise au chapitre 3.2 de l'existence d'un système de fentes augmentant considérablement la perméabilité apparente de surface trouva ici confirmée. L'hétérogénéité texturale du profil se traduit par des courbes-perméabilité-humidité différentes (fig 6-b). Nous avons paramétré ces relations en les mettant sous la forme (Vauclin 1380)

$$\frac{K}{K_0} = \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)^B$$

TABLEAU III

Horizon	%A+L	B	$K_0$ (mm/j)	nb points	$r^2$
10 - 30	6-12,6	9,67	813	10	0,70
50	12,5	6,65	979	10	0,98
80	25	13,16	456	10	0,86
100-300	30-32	24,70	115	20	0,89
150			265		

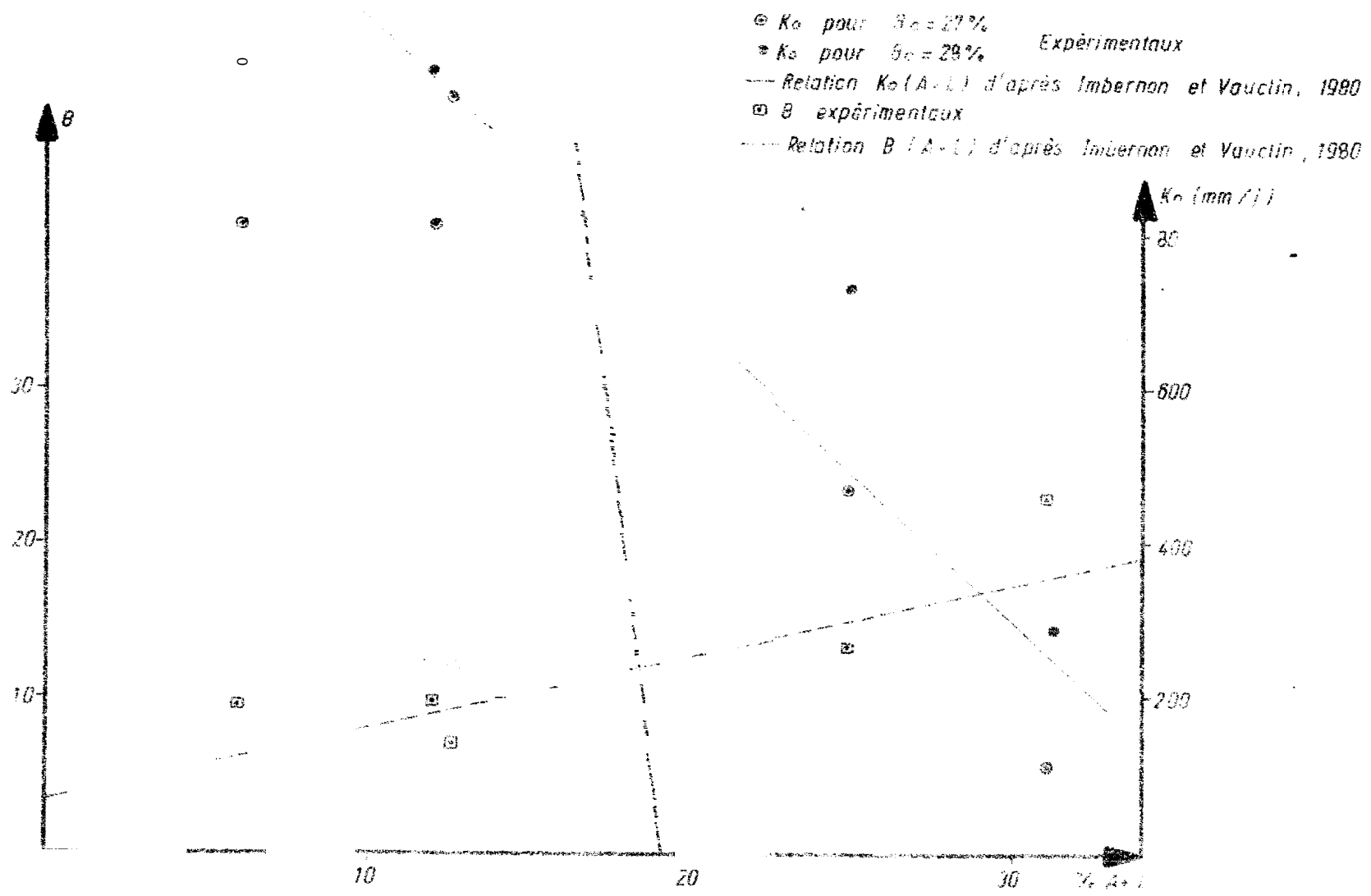


FIG. 6c PARAMETRES DE LA LOI  $K(R)$  ET TENEUR EN A-L  
 COMPARAISON AVEC LES RESULTATS PRECEDENTS



Nous avons établi la corrélation linéaire simple pour différents horizons entre  $LgK$  et  $lg\theta$ .  $lgK = Blg\theta + c$  (2)

or d'après la relation (1)

$$lgK = Blg\theta + lgK_0 - Blg\theta_0 \quad (3)$$

donc en égalisant (2) et (3) on obtient :  $K_0 = \exp^{(c + Blg\theta_0)}$  (4)

Tous les paramètres sont reportés dans le tableau III.

La figure 6c représente l'évolution de ces paramètres en fonction du taux  $A+L$  (éléments inférieurs à 20  $\mu$ ) ainsi que les droites de régressions obtenues sur 9 sites (Vauclin - Imbernon, 1980). On constate une relative bonne concordance en ce qui concerne le coefficient  $B$  avec les résultats précédents.

Par contre, on note une très importante divergence pour le  $K_0$ . Cette contradiction était inévitable, la relation  $K_0(A+L)$

(Vauclin, 1980) n'étant valable que pour des teneurs en  $A+L$  relativement faibles (pour  $A+L > 13$  %,  $K_0$  est négatif...). Cette valeur de  $K_0$  est d'autre part très sensible à la valeur de l'humidité à saturation  $\theta_0$  (relation (4) et fig 6c) qui ne peut guère être connue à moins du % d'humidité près (erreur relative 3,5 %). Le sol étant très hétérogène verticalement, il n'est pas possible non plus d'appréhender le  $K_0$  de chaque horizon directement par essai Muntz simple ;

## CONCLUSION

Cet essai a fait apparaître quelques difficultés relatives à l'application de la méthode de caractérisation hydrodynamique in situ à un sol fissuré et hétérogène verticalement :

- la présence d'un système de macroporosité variable suivant l'état hydrique du sol révélée par les cinétiques différentes des deux infiltrations rend toute relative la valeur  $K_0$  de la perméabilité Muntz. Ce  $K_0$  est en fait la résultante d'un écoulement variable par les macropores et d'un écoulement par les micropores dont le  $K_0$  propre est la conductivité à saturation  $K_s$  lue sur les courbes conductivité-humidité (fig 6b).

Les écoulements préférentiels par les fissures ont perturbé les mesures tensiométriques au début de la phase de redistribution interne.

- L'hétérogénéité verticale du sol qui traduit la texture, surtout importante sur le premier mètre (fig 1b : profil textural) induit des variations verticales d'humidité très importantes et diminue la précision des mesures neutroniques d'humidité dans cette zone. Néanmoins, un lissage des profils d'humidité et un lissage dans le temps de l'humidité à une certaine cote doivent pouvoir réduire l'intervalle de confiance associé à cette mesure.

La modélisation de la relation  $K(\theta)$  sous la forme (1) a fait apparaître la limite en ce qui concerne le paramètre  $K_0$  du modèle établi sur des sols plus sableux. Il y a par contre bonne concordance avec les résultats précédents (Vauclin, 1989) pour le paramètre  $B$ .

D'un point de vue agronomique, ces sols par leur fissuration importante réduisent les risques de ruissellement en cas d'intensité pluviométrique forte ; mais il est vrai aussi que l'on perd ainsi une partie non négligeable de la pluviométrie. Ces sols présentent une capacité utile relativement importante (130 mm sur le 1er mètre) et une cinétique de ressuyage plutôt lente. Ces deux caractères sont favorables dans les conditions pluviométriques aléatoires de cette région. Les phénomènes de remontée capillaire sont rendus possibles par la texture fine de ces sols. Ce peut être une source providentielle d'eau en cas d'arrêt prolongé des pluies au cours d'une culture. Mais cette remontée occasionne aussi une évaporation du sol au importance bien que la texture plus sableuse de la surface freine ce phénomène.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1980, BARET, F BEYE, M : Caractérisation hydrodynamique d'un sol de la région de Bambey note interne du CNRA Bambey 26 p.
- 1963, CHARREAU C, Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal  
Agro Trop 19 (11)
- 1970, DANCETTE, C : Détermination au champ de la capacité de rétention après irrigation, dans un sol sableux du Sénégal  
Intérêt agronomique de cette mesure et application à une culture d'arachide. Agro Trop 25 (3)
- 1976, DAUDET, VALANCOGNE : Mesure des flux profonds de drainage et de remontées capillaires, leur importance dans le bilan hydrique. Ann Agro 27 (2) p; 165-182
- 1979, IMBERNON J: Dynamique de l'eau et variabilité spatiale du sol note interne du CNRA Bambey (SENEGAL) p. 28
- 1979, IMBERNON J : Caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol de la région de Louga. Note interne du CNRA Bamboy
- 1969, PIERI C : Etude Pédologique de la Région de Nioro du Rip.  
Note interne du CNRA Bambey (SENEGAL)
- 1978, VACHAUD, DANCETTE, SONKO, THONY : Méthode de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé.  
Application à 2 types de sols du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique.  
ann. agro vol 29 (1) p.1-36
- 1980, VAUCLIN, M : Rapport de mission au CNRA de Bambey pour l'AIEA  
25 p.