

**CHOIX D'UNE METHODE D'APPROCHE DU BILAN  
HYDRIQUE EN PLEIN CHAMP**

R. POSS\* et H. SARAGONI\*\*

Communication présentée lors des 11<sup>e</sup> journées du G.F.H.N.  
(Angers, novembre 1986)

Mots clés : bilan hydrique, humidimétrie neutronique, drainage,  
tensiométrie

\* Pédologue ORSTOM, B.P. 375, LOME - TOGO

\*\* Agronome IRAT/DRA, B.P. 1163 et 2318, LOME - TOGO

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 24 403

Cote : B

15 MARS 1988

## RESUME

Afin de quantifier les pertes par lixiviation et les besoins en eau du maïs au Togo méridional, une étude est conduite depuis 1984 en station agronomique. Dans cette zone à faible pluviométrie (800 à 1 000 mm en deux saisons des pluies) le drainage profond s'effectue en grande partie sous forme d'eau non saturante, ce qui interdit l'usage des lysimètres. Il a donc été nécessaire d'utiliser la méthode tension-neutronique, chaque parcelle étant équipée de quatre tubes de sonde et de quatorze tensiomètres. D'importants problèmes proviennent de l'évaluation du drainage car l'estimation quotidienne de la valeur des coefficients de conductivité de chaque parcelle ne peut être très précise : aux erreurs liées à la détermination des relations  $K(\theta)$  ou  $K(H)$  elles-mêmes s'ajoutent celles provenant de l'imprécision sur la détermination des valeurs de  $\theta$  ou de  $H$  au champ.

## ABSTRACT : CHOICE OF A METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE FIELD REGIME

In order to quantify the losses by leaching and the water needs of the corn in the Southern Togo, a study is carried out since 1984 in an agronomical station. In this area with a weak pluviometry (800 to 1 000 mm in two rainy seasons) the deep drainage results for a great part from the unsaturated water, so the use of lysimeters is impossible. Therefore we had to use the tensio-neutron method, each plot being equiped with four probe tubes and fourteen tensiometers. Important problems come from the evaluation of the drainage, because the daily estimation of the value of the conductivity coefficient of each plot cannot be very accurate : in addition of the errors derived from the determination of the  $K(\theta)$  or  $K(H)$  relationships themselves come those resulting of the imprecision on the determination of the values of  $\theta$  or  $H$  on the field.

## INTRODUCTION

Le Togo méridional (figure 1) est la zone la moins arrosée de tout le Golfe de Guinée : la pluviométrie annuelle moyenne ne dépasse pas 1 000 mm. Or les pluies sont réparties sur deux saisons, permettant deux campagnes agricoles : si au cours de la première saison les pluies sont suffisantes (environ 600 mm en quatre mois) pour permettre la croissance du maïs, principale culture vivrière de la région, les 200 à 300 millimètres de la deuxième saison constituent par contre un facteur limitant considérable. A ce problème climatique s'ajoute un important problème agronomique : toute cette région présente de fortes densités de population (jusqu'à 500 ha/km<sup>2</sup>) et contribue pour une grande part à l'alimentation de Lomé, la capitale (environ 400 000 habitants). Les sols sont donc fréquemment cultivés sans jachères, parfois depuis plusieurs dizaines d'années, sans aucune restitution organique. Même les résidus de récolte sont utilisés comme combustible ménager. Il en résulte une diminution catastrophique des rendements en milieu paysan : les rendements sont passés de 40 t à 4 t/ha pour le manioc et parviennent à peine à 800 kg/ha pour le maïs en culture associée.

Pour résoudre ces problèmes vitaux pour l'agriculture togolaise, des essais de longue durée ont été implantés par l'IRAT sur plusieurs stations agronomiques. Un premier bilan a permis de tirer des conclusions dans trois domaines. Tout d'abord il a été prouvé qu'avec une fertilisation correcte et en restituant les résidus de récolte au sol, il était possible de maintenir un rendement moyen constant en culture pure de maïs (de 20 à 30 q/ha la première saison, 10 q/ha la deuxième saison), même en effectuant deux récoltes par an. D'autre part un apport même modéré d'engrais potassique permet d'améliorer la résistance de la plante aux stress hydriques de la deuxième saison de culture. Enfin la date de semis intervient considérablement : bien qu'il soit possible de semer très

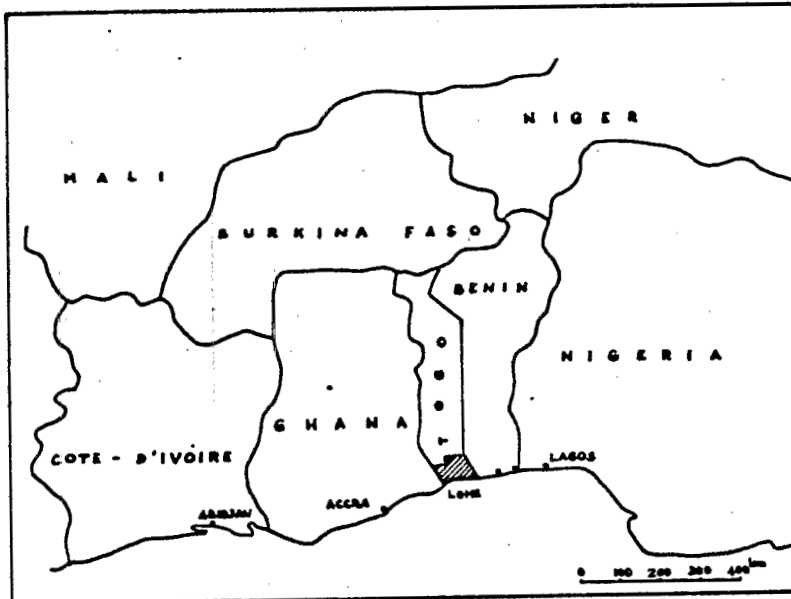


Fig. 1 : Croquis de Situation

précocement en première saison, les meilleurs résultats sont obtenus lorsque le semis est effectué plus tard dans la saison.

Ces résultats soulèvent certains problèmes au niveau de leur application. Les apports d'engrais sont en effet une charge de plus en plus lourde pour une agriculture à faible productivité : il est donc indispensable de les limiter le plus possible et de les effectuer au bon moment, ce qui impose de disposer d'éléments concernant la dynamique des éléments minéraux, et singulièrement celle du potassium. D'autre part il est nécessaire de définir des stratégies de semis optimales. Cela pose le problème de l'évaluation de la consommation en eau du maïs, donc plus généralement celui de la détermination des flux hydriques, et des relations entre l'évapotranspiration du couvert végétal et la production de matière sèche et de grains.

Un programme de recherche conjoint (ORSTOM-IRAT-Direction de la Recherche Agronomique Togolaise) a été initié depuis trois ans pour répondre à ces questions. L'étude comporte un volet hydrodynamique et un volet

dynamique des éléments minéraux, abordé principalement à l'aide de capteurs de solution du sol, ce qui nécessite de connaître le drainage au niveau des capteurs. Nous ne traiterons ici que de la démarche qui a été retenue pour aborder l'aspect hydrodynamique, en justifiant les choix que nous avons été amené à effectuer. Le volet dynamique des éléments minéraux sera abordé dans un article ultérieur.

**I - CHOIX DES SITES**

Le Togo méridional est constitué principalement de plateaux à pentes très faibles (de l'ordre de 1 %) portant des sols rouges ferrallitiques profonds très homogènes latéralement appelés localement "terres de Barre" (VIEILLEFON et al., 1965). La répartition toposéquentielle classique des sols tropicaux ne se retrouve que sur les versants conduisant aux rares axes de drainage (DOME, 1985). Le choix d'un site représentatif ne pose donc aucun problème sur les plateaux : l'expérimentation a été conduite sur la station de recherche de Davié, à 35 km au nord de Lomé, en raison de l'infrastructure existante.

Comment choisir les parcelles ? Afin de comprendre la dynamique des éléments minéraux, il était souhaitable d'étudier des parcelles parvenues à un état d'équilibre, donc sur lesquelles la même culture était conduite depuis longtemps avec la même dose d'engrais. C'est pourquoi nous nous sommes implantés sur un essai factoriel cultivé depuis une dizaine d'année à raison de deux cultures par an. Ce choix a conduit à étudier des parcelles de petite taille (5 x 8 m), ce qui pose un délicat problème de représentativité spatiale des résultats hydrodynamiques encore imparfaitement résolu.

Souhaitant avant tout obtenir des informations sur la dynamique du potassium nous avons choisi deux parcelles où la fertilisation en azote et en phosphore était identique (60 kg/ha/an d'azote et 30 kg/ha/an de phosphore en moyenne), mais où l'apport potassique était très contrasté: aucun apport sur la première (parcelle K0), apport d'envi-

ron 60 kg/ha sur la seconde (parcelle K2). Cependant, pour comprendre la dynamique des éléments minéraux, il était nécessaire de pouvoir faire la part des phénomènes d'ordre pédologique (équilibre sol-solution, lixiviation...) de ceux liés à la plante. En effet le maïs intervient considérablement sur la redistribution des éléments minéraux : au Togo méridional, en bonnes conditions d'alimentation minérale, les pailles de maïs contiennent de l'ordre de 50 kg/ha de potassium. C'est pourquoi nous avons étudié simultanément deux parcelles nues sur lesquelles nous avons apporté les mêmes doses d'engrais que sur les parcelles de l'essai factoriel. Nous sommes donc parvenus au dispositif suivant:

	Sans culture de maïs	Avec culture de maïs
Sans fertilisation potassique	Parcelle nue K0	Essai factoriel Parcelle K0
Avec fertilisation potassique	Parcelle nue K2	Essai factoriel Parcelle K2

Ce dispositif ne résoud cependant pas tous les problèmes : en effet le système racinaire de la plante modifie considérablement les mouvements de l'eau dans le sol, donc les phénomènes de lixiviation. La comparaison parcelle nue-parcelle cultivée ne permet donc pas d'isoler facilement la part des remontées par les racines du maïs dans la diminution de la lixiviation des bases, puisque le drainage diminue simultanément : il n'est pas possible d'étudier un facteur sans modifier simultanément tous les autres.

## II - MATERIEL ET METHODES

La caractérisation du bilan hydrique et minéral sur des parcelles de petite dimension peut s'effectuer soit à l'aide de lysimètres, soit à l'aide de la méthode tensio-neutronique. Parmi les nombreux problèmes que soulève

l'utilisation des lysimètres, celui du blocage de la circulation de l'eau non saturante est rédhibitoire dans cette étude. En effet l'eau recueillie à la base des lysimètres est par nature même de l'eau saturante. Or l'expérimentation se déroule dans une zone où la pluviométrie est suffisante pour humecter tout le profil, mais insuffisante pour que les circulations en conditions non-saturantes soient négligeables. Nous avons donc utilisé la méthode tensio-neutronique pour évaluer l'évapotranspiration réelle à partir de l'équation de conservation de la masse :

$$ETR = P - \text{variation de stock} - D - R$$

ETR	Evapotranspiration
P	Total pluviométrique
D	Drainage
R	Ruissellement

La pluviométrie a été mesurée à l'aide d'un pluviomètre installé à proximité des parcelles et le ruissellement, extrêmement faible sur ces sols, a été supprimé en entourant les parcelles de tôles. Il restait donc à mesurer la variation de stock et le drainage.

### 2.1. Mesure de la variation de stock

Un suivi de la dynamique de l'enracinement au cours de deux saisons de culture successives a révélé que les racines du maïs ne dépassaient pas une *profondeur* de 1.5 mètre. Nous avons donc choisi d'évaluer le stock entre la surface du sol et cette profondeur afin d'obtenir une incertitude absolue la plus faible possible, ce qui est fondamental dans notre cas puisque nous cherchons à mettre en évidence des évapotranspirations réelles de quelques millimètres sur un stock total de l'ordre de 400 mm. En effet l'humidité volumique à chaque profondeur est connue avec une incertitude inhérente à la méthode neutronique. Il en résulte une incertitude sur le stock dans la tranche de sol représentée par cette mesure. L'incertitude sur le stock total étant la somme des incertitudes dans chaque tranche de sol, il en résulte que plus la profondeur étudiée est faible, plus l'évapotranspiration peut être connue

avec précision (du moins dans les cas où le drainage est soit nul, soit connu avec une précision constante quelle que soit la profondeur...). En prenant en compte l'imprécision sur la mesure du drainage à l'aide de la loi de Darcy (cf. 2.2) il est possible de proposer la règle pratique suivante : dans les régions sèches où il n'y a pas de drainage, la meilleure évaluation de l'évapotranspiration réelle sera obtenue en calculant le stock entre la surface et la base du front d'humectation. Par contre, dès que le drainage apparaît, il est préférable de limiter l'évaluation du stock à la base du front racinaire et de calculer le drainage à cette profondeur.

Quel est le nombre de tubes nécessaire pour connaître le stock avec une précision de l'ordre de 1 mm sur une profondeur de 1.5 mètre ? Grâce à une analyse des différentes erreurs intervenant dans l'estimation des humidités volumiques (HAVERKAMP et al., 1984 ; VAUCLIN et al., 1984) il est maintenant possible de définir la précision des mesures après leur réalisation. Mais cette précision reste difficile à estimer *a priori* en raison notamment de l'impossibilité de connaître l'imprécision sur la pente de la droite d'étalonnage. Nous avons donc choisi d'effectuer les mesures sur quatre tubes, suivant en cela l'exemple de l'équipe du IRAT-CIRAD au Sénégal. Il est encore trop tôt pour savoir si ce choix était optimal, mais les résultats montrent déjà (figure 6) que la précision souhaitée est loin d'être atteinte...

Disposant d'observateurs sur place et de plusieurs humidimètres, nous n'avons pas de contraintes matérielles pour déterminer la fréquence des observations. Comme nous souhaitions utiliser les relations  $K(\theta)$  pour estimer le drainage et que les expérimentations de drainage interne avaient montré une dynamique de ressuyage très rapide, nous avons adopté un protocole de mesures quotidiennes. Le traitement des nombreuses données qui en résultent a été résolu grâce à la mise au point du logiciel BHYSON (POSS, 1987). Or les relations  $K(\theta)$  se sont révélées inutilisables (cf. 2.2) et



l'imprécision sur les variations de stock (figure 6) rend impossible l'évaluation de l'ETR à l'échelle journalière. Finalement, sauf dans le cas où les relations  $K(\theta)$  doivent être utilisées, il ne paraît pas souhaitable d'adopter une fréquence de mesures supérieure à deux fois par semaine. Mais il est préférable cependant d'effectuer les mesures à une fréquence supérieure au pas de temps retenu pour les dépouillements (mesures tous les cinq jours pour une étude décadaire par exemple) en raison des possibilités de lissage que ce protocole permet.

La détermination des *profondeurs de mesure* est un sujet peu abordé dans la littérature, bien qu'il soulève de nombreuses discussions entre les expérimentateurs. Les deux facteurs à prendre en compte sont le rayon de la sphère d'influence et les possibilités d'importants gradients d'humidité. Dans le cas du matériel utilisé (humidimètre SOLO 25 Nardeux à source Am-Be) le constructeur indique un rayon de la sphère d'influence de 20 cm pour une humidité volumique de 35 cm<sup>3</sup>/100 cm<sup>3</sup>, mais le volume de sol situé à proximité immédiate de la sonde détermine la plus grande part du taux de comptage. Il en résulte que des mesures rapprochées introduisent une redondance qui n'améliore pas la précision. Pratiquement, il n'est jamais conseillé d'espacer deux mesures consécutives de moins de 10 cm. L'espacement entre mesures consécutives est également fonction des gradients d'humidité : lorsqu'ils sont faibles ou constants, des profondeurs de mesure éloignées fourniront des estimations correctes du stock. Dans notre cas le sol en dessous de 80 cm (figure 2) ne présente de variation importante d'humidité ni dans le temps, ni verticalement : nous avons donc choisi de réaliser des mesures tous les 20 cm. Un espacement plus important n'aurait d'ailleurs probablement pas modifié les résultats. En surface, par contre, les gradients verticaux peuvent être importants lors des pluies, ce qui impose des mesures plus rapprochées pour obtenir une estimation fiable du stock. Nous avons alors choisi un écartement de 10 cm, qui semble bien adapté à notre étude.

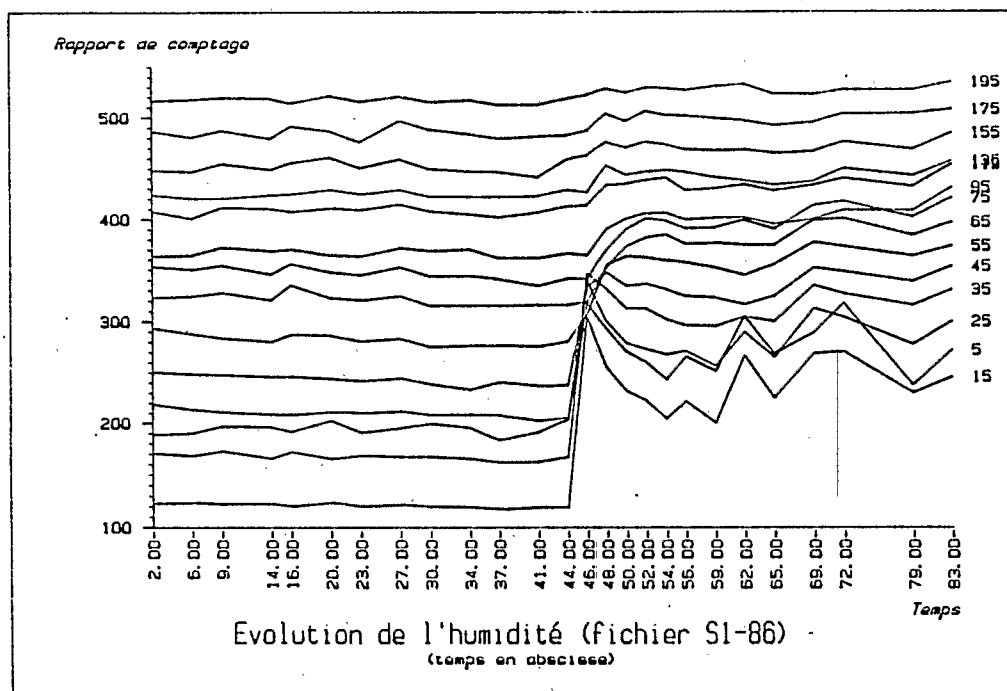


Fig. 2 : Evolution des rapports de comptage en fonction du temps (logiciel BHYSON)

La détermination de la *première profondeur de mesure* est le résultat d'un compromis. En effet, dans un sol, le niveau où les variations d'humidité sont les plus importantes est l'horizon de surface. Celui-ci est donc responsable de la plus grande partie de la variation de stock totale (niveaux 5 et 15 de la figure 2) et il est souhaitable de connaître son humidité avec la meilleure précision possible. Mais lorsque la source est rapprochée de la surface du sol, une quantité importante de neutrons est perdue dans l'atmosphère ou le réflecteur, et cette quantité varie très rapidement avec la profondeur de la source : il en résulte qu'une faible erreur sur le positionnement de la source entraîne d'importantes variations sur le taux de comptage. Nous avons choisi d'effectuer la première mesure à 5 cm de profondeur, la source étant positionnée précisément grâce à une remontée préalable dans l'étui et une remise à zéro de la molette. Les résultats (courbe partant du rapport de comptage 190 au temps 2 sur la figure 2) montrent que l'imprécision obtenue (période sèche entre le 2<sup>e</sup> et le 44<sup>e</sup> jour) est supérieure à celle des niveaux immédiatement voisins, mais qu'elle est du même ordre de

grandeur que celle des niveaux de profondeurs, également pris en compte (jusqu'à 155 cm) pour le calcul du stock. Il faut noter cependant que des mesures à proximité de la surface nécessitent de plus un étalonnage spécifique.

Le problème du *nombre de répétitions par niveau* ne sera pas abordé ici, ayant été développé par ailleurs (POSS, 1984).

### 2.2. Mesure du drainage

L'adoption de la méthode tensio-neutronique impose l'évaluation des coefficients de conductivité hydraulique de la loi de Darcy généralisée. Cette détermination doit s'effectuer sur chaque parcelle en raison de l'importante variabilité latérale des relations, liée principalement à l'hétérogénéité granulométrique des sols (VACHAUD et al., 1982). Elle a été réalisée à l'aide de la méthode du "bilan naturel" (VACHAUD et al., 1978), en suivant l'évolution des humidités et des charges hydrauliques après une pluie ayant humecté tout le profil. Il n'était pas possible, pour ne pas perturber l'essai agronomique, d'effectuer des apports d'eau sur les parcelles de l'essai factoriel, ce qui interdisait d'utiliser la méthode du "drainage interne" (HILLEL et al., 1972). La méthode du "bilan naturel" requiert une connaissance aussi précise que possible de la profondeur du plan de flux nul, qui peut descendre dans nos sols jusqu'à 60 cm de profondeur. C'est pourquoi nous avons implanté 14 tensiomètres (tensiomètres en céramique à manomètre à mercure, système DTM 5000 NARDEUX): tous les 10 cm entre 5 et 75 cm, tous les 20 cm ensuite. Les profondeurs d'implantation des tensiomètres ont été choisies égales aux profondeurs de mesure de l'humidimètre afin de simplifier les calculs.

L'allure des courbes  $K(\theta)$  obtenues est représentée sur la figure 3. En prenant une incertitude sur l'humidité volumique de 0,5 cm<sup>3</sup>/100 cm<sup>3</sup> (ce qui est un minimum) on constate que le coefficient de conductivité hydraulique, donc le drainage, varie de 1 à 10. Ce résultat, qui résulte de la texture argileuse du sol à 1,5 mètre (45 % d'argile),

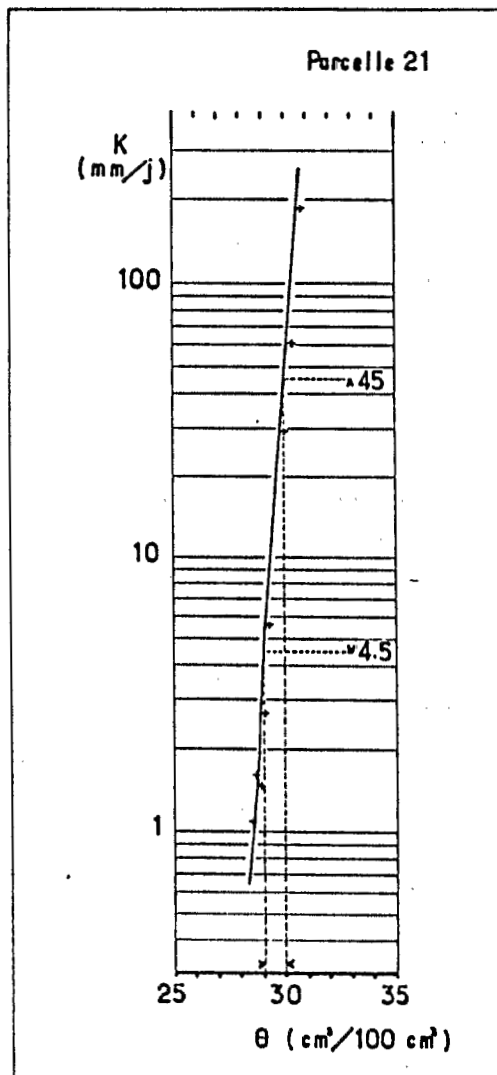


Fig. 3: Relation conductivité hydraulique - humidité volumique

interdit d'utiliser les relations  $K(\theta)$  pour estimer le drainage dans le sol. Nous avons alors représenté (figure 4) les courbes  $K(H)$ , ce qui n'est d'ailleurs qu'un retour aux sources de la théorie (RICHARDS, 1931) ! Les points obtenus s'ajustent sur une loi classique  $K = a e^{bH}$ , qui fournit une estimation plus précise des coefficients de conductivité que la loi  $K(\theta)$  : pour une valeur de charge moyenne, observée 2 ou 3 jours après une pluie, l'erreur sur le coefficient, donc le drainage, est de l'ordre de 15 % en prenant une incertitude de  $\pm 2$  HPa sur la charge hydraulique.

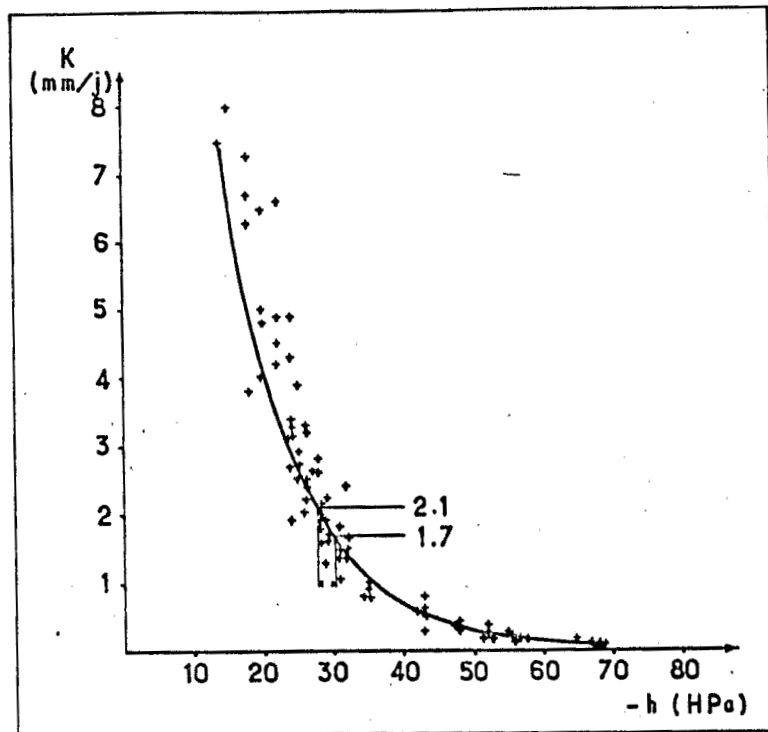


Fig. 4: Relation conductivité hydraulique - Tension de l'eau

L'utilisation de cette relation soulève toutefois des *difficultés juste après les épisodes pluvieux*. En effet l'utilisation de la relation  $K(H)$  pour évaluer le drainage suppose que  $H$  varie peu entre deux mesures successives. Or sur les deux premiers jours après une pluie produisant du drainage, la charge varie de 20 à 30 HPa, diminuant le coefficient de conductivité d'un coefficient de l'ordre de 3 : une mesure instantanée quotidienne ne permet donc pas d'obtenir une évaluation correcte du drainage (le même problème se pose d'ailleurs si l'on utilise les relations  $K(\theta)$ ...). Dans ce cas-là (6 fois en 1985, jamais en 1984), le drainage journalier a dû être estimé par différence entre la pluviométrie et la somme de la variation de stock (calculée) et de l'évapotranspiration (estimée en fonction des valeurs trouvées les jours suivants). Cette méthode introduit une imprécision de l'ordre de 2 mm/j sur le drainage et l'évapotranspiration au cours de ces deux jours, mais cette imprécision est inférieure à celle qui serait obtenue en appliquant directement la relation  $K(H)$ .

Etant donné la texture argileuse du sol *les phénomènes d'hystérésis n'interviennent pas* : les relations peuvent donc être utilisées aussi bien en phase d'infiltration qu'en phase de

ressuyage. La rapidité du drainage dans le sol étudié est d'ailleurs telle que les phases d'infiltration n'ont été que rarement observées.

Une lecture des charges hydrauliques est donc effectuée tous les matins pour évaluer le drainage dans les parcelles. La valeur à 1,5 mètre permet de déterminer le coefficient de conductivité à l'aide de la relation  $K(H)$  et les valeurs obtenues sur les tensiomètres placés de part et d'autre permettent d'obtenir la pente motrice  $\Delta H/\Delta Z$ . Le drainage en est déduit (figure 5) à l'aide de la loi de Darcy généralisée :

$$D = -K \frac{\Delta H}{\Delta Z}$$

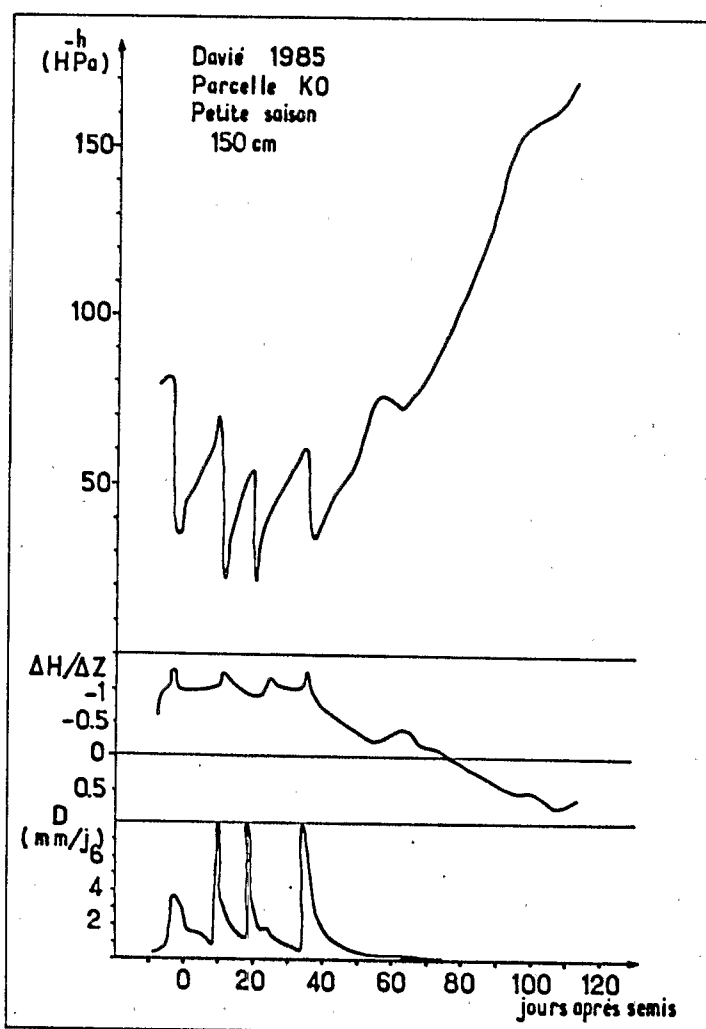


Fig. 5: Détermination du drainage à partir des mesures tensiométriques

### III - PREMIERS RESULTATS

Le suivi quotidien des charges depuis 1984 a permis d'évaluer le drainage sous culture de maïs (0 mm en 1984, 240 mm en 1985 et 180 mm sur les sept premiers mois de l'année 1986) et de mettre en évidence la possibilité de drainages importants lors des orages de début de cycle : ces résultats nous ont conduit dès 1986 à fractionner les apports d'engrais potassiques comme c'était déjà le cas pour les engrais azotés.

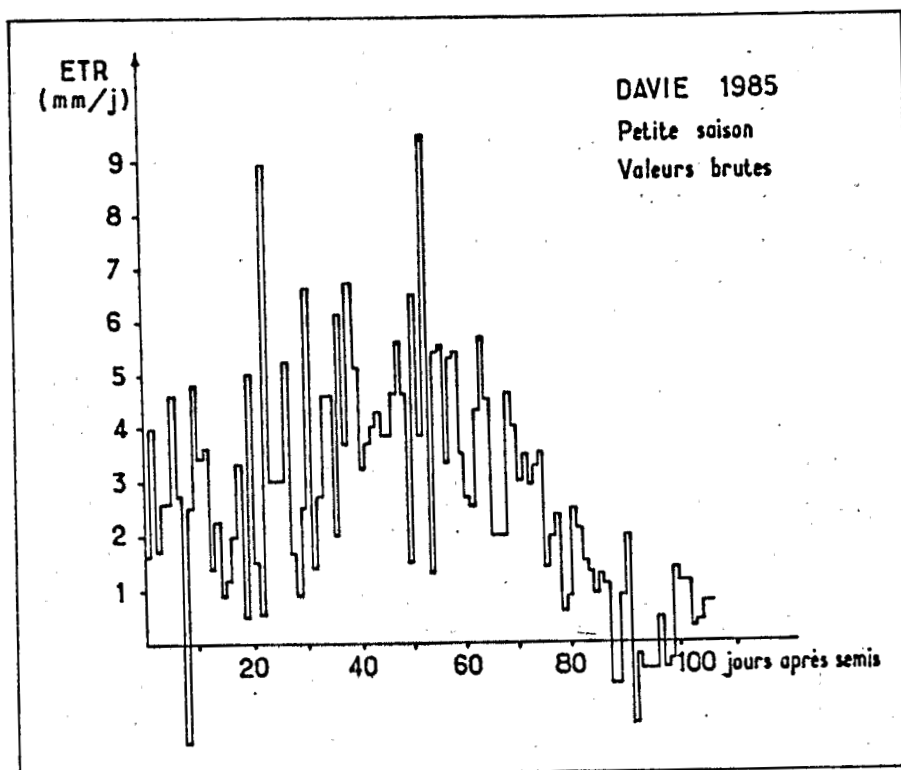


Fig. 6 : Evapotranspiration réelle journalière d'un couvert de maïs (méthode tensio - neutronique)

Les valeurs d'évapotranspiration obtenues (figure 6) montrent une importante variabilité résultant principalement des imprécisions sur la détermination des variations de stock et sur celles des valeurs du drainage. L'interprétation doit donc s'appuyer sur des valeurs moyennes intégrant plusieurs jours consécutifs. Les valeurs au cours des 30 premiers jours sont particulièrement variables car la plante est peu développée : l'évapotranspiration est

principalement constituée par l'évaporation du sol nu, qui varie considérablement en fonction de son humidité de surface. Les résultats rendent bien compte de l'évolution connue des besoins en eau du maïs au cours du cycle cultural, et en particulier de la demande maximale au moment de la floraison (45ème au 60ème jour).

## CONCLUSION

La méthode adoptée, malgré ses imprécisions, fournit des résultats prometteurs qui pourront être utilisés, en particulier pour caler un modèle de simulation de bilan hydrique. Mais ces résultats ont été obtenus dans un sol favorable à ce type d'expérimentation (aucun élément grossier, pas de gradient textural brutal) : dans la plupart des sols tropicaux, cette méthode demeure inutilisable en raison de l'abondance des éléments grossiers. Dans notre cas la principale imprécision provient de la détermination du drainage, les relations  $K(\theta)$  ou  $K(H)$  étant connues avec une forte imprécision. Si, pour résoudre notre problème, la méthode tensio-neutronique était la seule adaptée, il faut se garder de préconiser son emploi à une grande échelle : l'expérimentation, longue et délicate, reste du domaine de la recherche et les lysimètres constituent toujours un outil bien adapté dans certains domaines, en particulier pour déterminer les besoins maximaux en eau des plantes cultivées.

## BIBLIOGRAPHIE

DOME (D.), 1985.- Carte pédologique de la région de Tsévié (Togo) au 1/50.000è. Contribution à l'étude pédo-agronomique des terres de Barre du Togo. Rapp. ORSTOM (Lomé), 138 p., multigr.

HAVERKAMP (R.), VAUCLIN (M.), VACHAUD (G.), 1984.- Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements. 1.- Local stand point, *Soil. Sci.*, 137 : 78-90.



- HILLEL (D.), KRENTOS (V.D.), STYLIANOU (Y.), 1972.- Procedure and test of an internal drainage methode for measuring soil hydraulic characteristics *in situ*. *Soil. Sci.*, 114 : 395-400.
- POSS (R.), 1984.- La précision du comptage neutronique avec l'humidimètre SOLO 25. Définition des protocoles de mesure. *Bull. GFHN*, 16 : 109-122.
- POSS (R.), 1987.- BHYSON 1.2. Logiciel intégré pour le traitement des données d'humidimétrie neutronique - ORSTOM (Paris), coll. LOGOR, 60 p., 1 disquette.
- RICHARDS (L.A.), 1931.- Capillary conduction of liquids in porous mediums - *Physics*, 1 : 318-333.
- VACHAUD (G.), DANCETTE (C.), THONY (T.L.), 1978.- Méthodes de caractérisation hydro-dynamique *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. Agro.* 29 (1) : 1-36.
- VACHAUD (G.), VAUCLIN (M.), IMBERNON (J.), PIERI (C.), DANCETTE (C.) et DIATTA (S.), 1982.- Etude des pertes en eau et en matières minérales sous culture considérant la variabilité spatiale du sol. 12è Congrès Int. Sc. Sol (New-DELHI), 13 p.
- VAUCLIN (M.), HAVERKAMP (R.), VACHAUD (G.), 1984.- Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements : 2. Spatial stand point. *Soil Sci.*, 137 (3) : 141-148.
- VIEILLEFON (J.), MILLETTE (G.), 1965.- Etudes pédo-hydrologiques au Togo. Vol. II : les sols de la région maritime et des savanes. ONU/FAO (Rome) - ORSTOM (Paris), 189 p., 5 cartes 1/50.000è h.t.