

## QUELQUES PROBLEMES POSÉS PAR L'ESTIMATION DU BILAN HYDRIQUE EN PLEIN CHAMP

R. POSS\* ET H. SARAGONI \*\*

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

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

*Mots clés :*

Bilan hydrique, humidimétrie neutronique, drainage, tensiométrie.

19 DEC. 1988

ORSTOM Fonds Documentaire

N° :

Cote :

## RÉSUMÉ

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 total pluviométrique annuel (800 à 1000 mm en deux saisons des pluies) le drainage profond s'effectue en grande partie sous forme d'eau non gravitaire, ce qui interdit l'usage des lysimètres. Il a donc été nécessaire d'utiliser la méthode tensio-neutronique. Chaque parcelle est équipée de quatre tubes de sonde et de quatorze tensiomètres. Le principal problème est celui de l'évaluation du drainage. En effet la détermination au champ des relations entre les conductivités hydrauliques et l'humidité ou le potentiel matriciel du sol reste délicate. De plus, l'utilisation de ces relations pour évaluer les conductivités à partir des humidités ou des tensions pose un important problème de précision des mesures de terrain, étant donné la forme exponentielle des relations.

## ABSTRACT

### SOME METHODOLOGICAL PROBLEMS ABOUT THE ESTIMATION OF WATER BALANCE IN THE FIELD

In order to quantify the losses by leaching and the water needs of corn cultivation in southern Togo, a study has been carried out since 1984 in an agronomical station. In this area, where the average annual rainfall is rather weak (800 to 1000 mm in two rainy seasons), a great part of the deep drainage occurs by the way of unsaturated soil, which makes the use of lysimeters impossible. Therefore we had to use the tensio-neutron method, each plot being fitted out with four probe tubes and fourteen tensiometers. The main problem concerns the estimate of drainage. As a matter of fact, the determination in the field of the relationships between the conductivity coefficients and the water content or the matrix potential of the soil, remains a ticklish matter. In addition, we are faced with a problem about the use of these relationships to evaluate the conductivity from the water content or the matrix potential : the accuracy of the results widely depends upon the field measurements, due to the exponential shape of the relations.

## INTRODUCTION

Le Togo méridional (figure 1) est la zone la moins arrosée de tout le Golfe de Guinée : le total annuel moyen des précipitations ne dépasse pas 1000 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 h/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 à 4 t/ha pour le manioc et parviennent à peine à 800 kg/ha pour le maïs en culture associée.

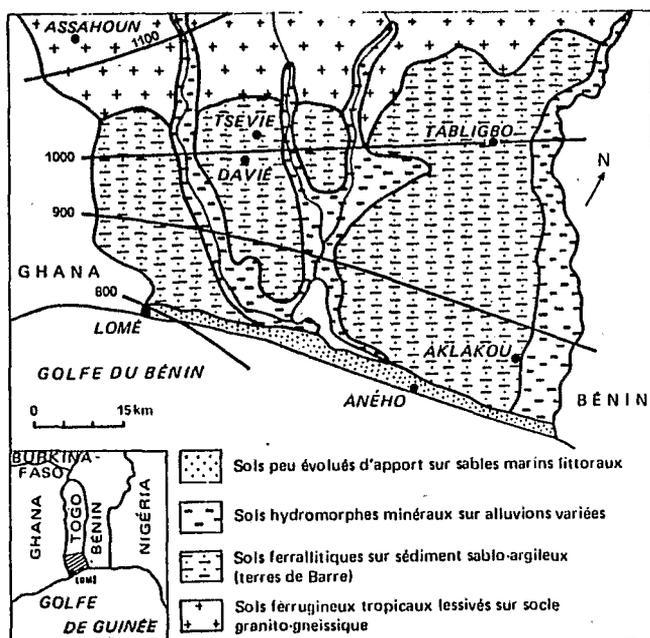


FIGURE N° 1 :

Organisation générale des sols au Togo méridional (d'après Lamouroux, 1969) et isohyètes annuelles moyennes (1965-1985).

*General organization of the soils in southern Togo and average annual rainfall.*

Pour résoudre ces problèmes vitaux pour l'agriculture togolaise, des essais de longue durée ont été implantés par l'IRAT (Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières) 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 30q/ha la première saison, 10 q/ha la deuxième saison), même en effectuant deux récoltes par an. D'autre part, un apport 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 précocement en première saison, les meilleurs résultats sont obtenus lorsque le semis est effectué plus tard dans la saison.

Ces résultats soulèvent certains problèmes quant à 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 amenés 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 Millette, 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 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 les 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 nos sites de

mesures ont été installés sur un essai factoriel cultivé depuis une dizaine d'années 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 d'azote et 30 kg/ha de phosphore en moyenne à chaque saison de culture), mais où l'apport potassique était très contrasté : aucun apport sur la première (parcelle KO), apport d'environ 60 kg/ha pour chaque cycle 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 une parcelle nue (tableau 1).

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

Tableau 1 : dispositif expérimental.

*Experimental plots.*

Le dispositif adopté 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 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

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 gravitaire est rédhibitoire dans cette étude. En effet l'eau recueillie à la base des lysimètres est par nature même de l'eau gravitaire. Or l'expérimentation se déroule dans une zone où les précipitations sont suffisantes pour humecter tout le profil, mais insuffisantes pour que les circulations d'eau sous tension soient négligeables par rapport au total drainé. Nous avons donc utilisé la méthode tensio-neutronique pour évaluer l'évapo-transpiration réelle à partir de l'équation de conservation de la masse :

$$ETR = P - \Delta S - D - R$$

ETR Evapotranspiration réelle  
P Total pluviométrique  
 $\Delta S$  Variation de stock  
D Drainage  
R Ruissellement

Les précipitations ont été mesurées 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.

### II.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 le front racinaire du maïs ne dépassait pas une profondeur de 1,5m. 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 l'imprécision inhérente à la méthode neutronique. Il en résulte une incertitude sur le stock dans la tranche de sol représentée par cette mesure. L'erreur absolue sur le stock total étant la somme des erreurs dans chaque tranche de sol, il en résulte qu'en l'absence de drainage, plus la profondeur étudiée est faible, plus l'évapotranspiration peut être connue avec précision. En prenant en compte l'imprécision sur la mesure du drainage à l'aide de la loi de Darcy (cf 3.1.) il est possible de proposer la règle pratique suivante : dans les régions sèches où il n'y a pas de drainage profond, 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 si possible l'évaluation du stock à proximité de la base du front racinaire et de calculer le drainage à cette profondeur. Mais ce choix doit également prendre en compte le régime hydrique du sol : en effet, pour diminuer l'incertitude sur la valeur du drainage, il peut être souhaitable de choisir un niveau plus profond que la base du système racinaire, si les périodes de drainage y sont

moins fréquentes que dans les horizons proches de la surface. L'augmentation de précision obtenue sur le drainage compense alors largement la perte de précision sur les calculs de stocks.

Quel est le nombre de tubes nécessaire pour connaître le stock avec une précision de l'ordre de 1mm sur une profondeur de 1,5 m ? 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 IRAT/CIRAD du Sénégal. Il est encore trop tôt pour savoir si ce choix était optimal.

Disposant d'observateurs sur place et de plusieurs humidimètres, nous n'avons pas de contraintes matérielles pour déterminer la fréquence des observations. Comme nous souhaitons 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). On constate (figure 6) que les imprécisions sur les variations de stock et le drainage permettent difficilement d'évaluer l'ETR à l'échelle journalière. Un protocole de mesures quotidiennes ne semble donc se justifier qu'en période pluvieuse, pour évaluer le drainage à partir des relations  $K(\theta)$  lorsque ces relations sont utilisables (cf 3.1.). Sinon 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, mesures tous les deux jours pour une étude pentadaire...) 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  $0,35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , 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 représente 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.

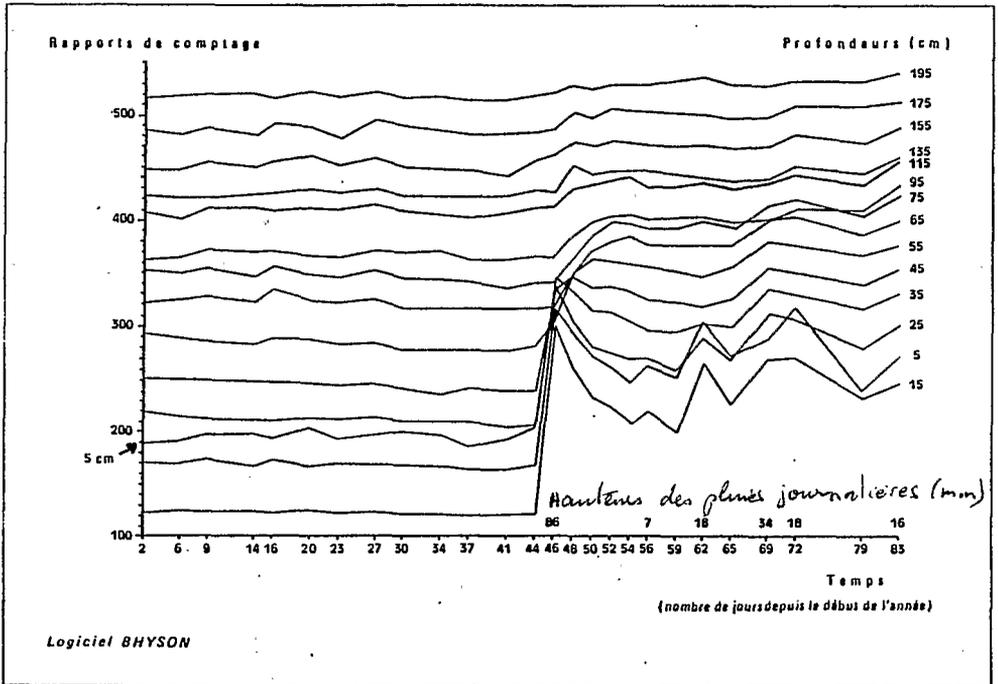


Figure 2 :  
 Evolution des rapports de comptage en fonction du temps (sol nu, fin de saison sèche).  
 Evolution of the count rate ratios versus time (bare soil, end of the dry season).

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. Il est possible de juger de l'imprécision obtenue à ce niveau en considérant les résultats des mesures au cours d'une longue période sèche (courbe marquée d'une flèche entre le 2ème et le 44ème jour sur la figure 2). L'imprécision à 5 cm est supérieure à celle des niveaux immédiatement adjacent, mais elle est du même ordre de grandeur que celle obtenue dans les niveaux de profondeur, également pris en compte (jusqu'à 155 cm) pour le calcul du stock. L'utilisation des valeurs obtenues à ce niveau n'introduit donc pas une incertitude importante sur le stock total, tout en rendant mieux compte de ses variations. Il faut noter cependant que des mesures à proximité de la surface nécessitent impérativement un étalonnage spécifique.

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

Dans le cas où plusieurs humidimètres sont utilisés successivement sur le même tube, il est indispensable de les étalonner les uns par rapport aux autres. En effet, les taux de comptage sont généralement différents d'un appareil à l'autre, ce qui peut causer d'importantes erreurs sur les variations de stock lors du changement d'humidimètre. L'étalonnage entre appareils doit être réalisé dans des milieux d'humidités très différentes, ce qui permet d'établir une corrélation linéaire (la pente est en principe unitaire entre deux appareils de même type).

Le problème de l'étalonnage entre les rapports de comptage et les humidités volumiques a déjà fait l'objet d'une volumineuse bibliographie (voir Greacen, 1981) dans laquelle plusieurs méthodes ont été proposées. Pratiquement, il semble que les meilleures corrélations soient obtenues par le suivi d'une dynamique de ressuyage simultanément à l'humidimètre et par prélèvements gravimétriques à proximité du tube, méthode que nous avons retenue. Si la méthode au bloc graphite (Couchat *et al.*, 1975) est préférée, il est toujours souhaitable d'effectuer quelques vérifications par prélèvement gravimétrique pour contrôler l'absence de biais, surtout dans le cas des sols tropicaux où une comparaison systématique des deux méthodes n'a pas été réalisée.

## 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 au centre de chaque parcelle (tensiomètres à bougie en céramique et 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.

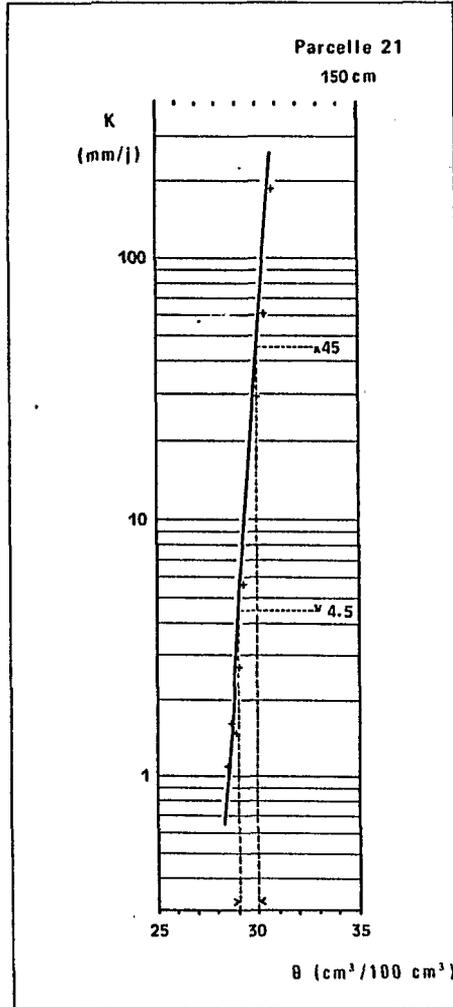


Figure 3 :  
Relation entre conductivité hydraulique et humidité volumique.  
*Relationship between hydraulic conductivity and water content.*

### III - PREMIERS RÉSULTATS

#### 3.1. Relations entre les conductivités hydrauliques et les humidités volumiques ou les tensions matricielles.

L'allure des courbes  $K(\theta)$  obtenues est représentée sur la figure 3. En prenant une incertitude sur l'humidité volumique de  $0,005 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (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 1,5m (45% d'argile), 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).

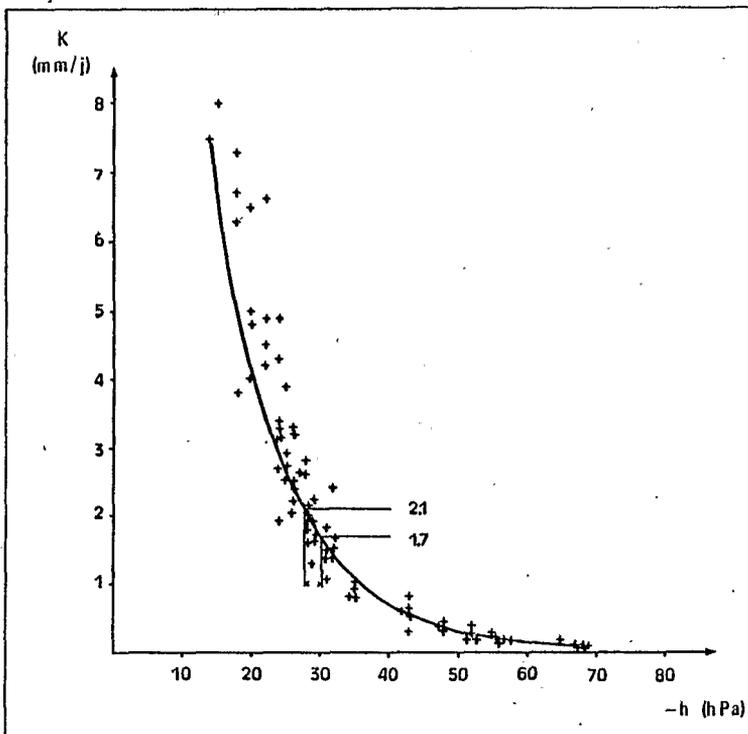


Figure 4 :  
Relation entre conductivité hydraulique et tension matricielle (150 cm).  
*Relationship between hydraulic conductivity and matrix potential.*

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 tension moyenne, observée 2 ou 3 jours après la 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 tension matricielle.

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 tension varie de 20 à 30 hPa, diminuant le coefficient d'un facteur 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 de 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 2mm/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 sont peu sensibles : 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 1,5m 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 :

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

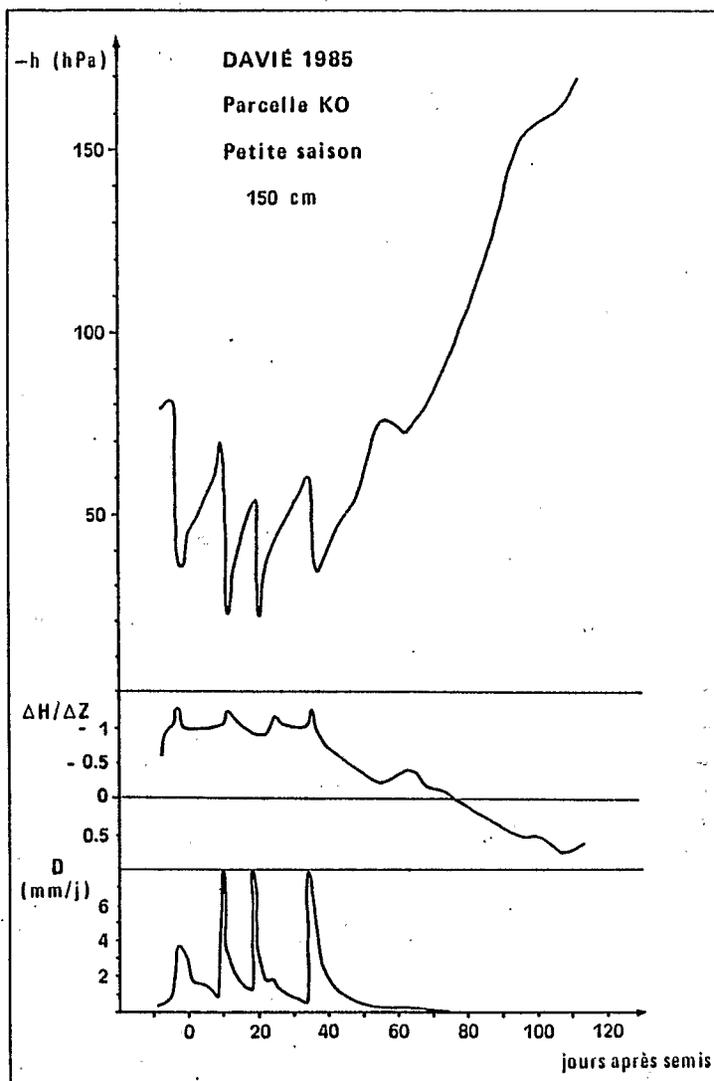


Figure 5 :  
Détermination du drainage à partir des mesures tensiométriques.  
*Determination of the deep drainage from tensiometer data.*

### 3.2. Drainage et évapotranspiration réelle

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.

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.

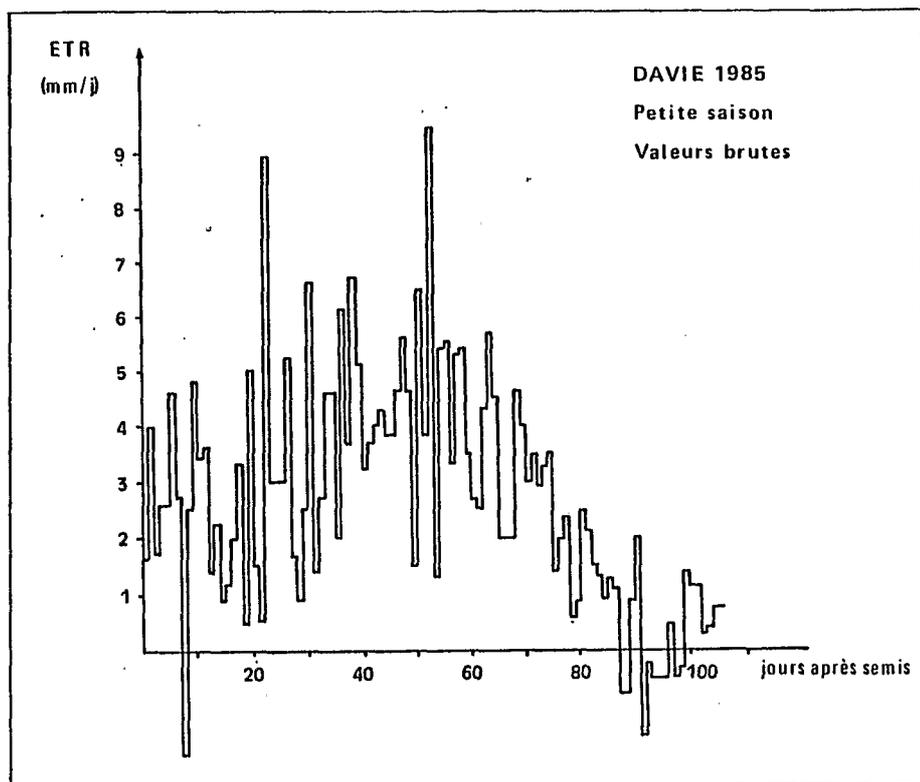


Figure 6 :  
Evapotranspiration réelle journalière d'un couvert de maïs (méthode tensio-neutronique).  
*Daily real evapotranspiration of a corn crop (tensio-neutron method)*

L'interprétation doit donc s'appuyer sur des valeurs moyennes intégrant plusieurs jours consécutifs (par exemple 4,2 mm/j entre le 57ème et le 61ème jour après semis, soit 110% du bac d'évapotranspiration de classe A). 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 sa généralisation : l'expérimentation, longue et délicate, reste du domaine de la recherche et les lysimètres restent toujours un outil bien adapté dans certains domaines, en particulier pour déterminer les besoins maximaux en eau des plantes cultivées.

## BIBLIOGRAPHIE

- COUCHAT P., CARRE C., MARCESSE J., LE HO J., 1975. The measurement of thermal neutron constants of the soil : application to the calibration of neutron moisture gauges and to pedological study of the soil. *Proc. Conf. Nuclear Data Cross sections in Technology Washington, D.C.*
- DOMÉ 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.*
- GREACEN E.L., 1981. Soil water assesment by the neutron method. *CSIRO (Australia), 140 p.*
- 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., STYLIANOY Y., 1972. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics *in situ*. *Soil Sci. 114 : 395-400.*
- LAMOUREUX M., 1969. Carte pédologique du Togo au 1/1.000.000è. *Not. Expl. n°34. ORSTOM (Paris), 91 p.*
- POSS R., 1984. La précision de 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 medium. *Physics, 1 : 318-33.*
- 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.*
- 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 H., 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 000ème h.t.*

# MILIEUX POREUX ET TRANSFERTS HYDRIQUES

BULLETIN DU GROUPE FRANÇAIS D'HUMIDIMETRIE NEUTRONIQUE  
ET DES TECHNIQUES ASSOCIEES.

NOVEMBRE 1987

