

# Sables roux, pivots, tensiomètres : comment ajuster les irrigations ?

## Introduction

Le complexe sucrier d'Analaiva (2 400 ha) est implanté sur une terrasse alluviale ancienne de la rivière Morondava sur la côte ouest de Madagascar. Les sols sont majoritairement des « sables roux » profonds et assez homogènes, classés dans les sols ferrugineux. Les propriétés hydrodynamiques de ces sols, c'est à dire les fonctions  $K(\theta)$  — conductivité hydraulique en fonction de l'humidité volumique — et  $h(\theta)$  — courbe caractéristique de la succion en fonction de l'humidité —, ont été étudiées et décrites par MARINI *et al.* (1976), à la fois pour les sables roux et pour un type de sol caractérisé par la présence d'une couche compacte, très peu perméable à moyenne profondeur (sol hydro-morphe). Les sables roux sont remarquables par une grande mobilité de l'eau, en saison des pluies ou après un arrosage important. D'après MARINI *et al.*, pour le suivi de l'état hydrique du sol, il est préférable d'employer des tensiomètres, peu coûteux, plus maniables, susceptibles d'être utilisés (après un étalonnage fondé sur les relations succion-humidité) comme système d'alerte à l'irrigation plutôt qu'un instrument de mesure de l'humidité et des stocks d'eau.

Les sables roux constituent en fait un milieu privilégié pour l'étude de l'hydrodynamique insaturée, l'emploi des tensiomètres et la pratique de l'irrigation (JOURDAN, 1980 et 1983 ; GAUDIN *et al.*, 1990). Cette

situation, — presque un cas d'école pour l'étude des fondements de la physique de l'eau du sol (RICHARDS, 1960) —, permet d'envisager, grâce au système d'irrigation par rampe pivotante, une grande maîtrise de l'eau en culture de canne (ORIOU *et al.*, 1995).

## Le pilotage tensiométrique idéal

Quel est le pilotage tensiométrique idéal pour un sol léger, profond et homogène ?

Le pilotage de l'irrigation utilise au moins deux tensiomètres, l'un installé dans la zone de plus forte densité racinaire, l'autre très en-dessous (RICHARDS et MARSH, 1961). L'arrosage est déclenché par le dépassement d'une valeur de succion. Le temps d'arrosage — donc, la dose apportée — est calculé pour que le sol reste aussi sec que possible en profondeur. Il en résulte un relevé tensiométrique en dents de scie qui décrit une suite d'oscillations du potentiel hydrique, pour la partie supérieure du sol (figure 1). La dose est consommée entre deux tours d'eau. La forme de chaque oscillation dérive de l'allure de la courbe caractéristique de l'humidité du sol, ce qui revient à considérer que la consommation en eau de la plante varie très peu sur quelques jours. Bien sûr, les oscillations

M. RAPANOELINA

Fonds d'intervention pour le développement,  
BP 505, 601 Toliara, Madagascar  
dru@dts.mg

R. GAUDIN

Cirad-ca, avenue Agropolis,  
BP 398, Montpellier Cedex 5, France  
gaudin@ensam.inra.fr

P. ORIOU

Cirad-ca, Station de Roujol,  
97170 Petit-Bourg, Guadeloupe

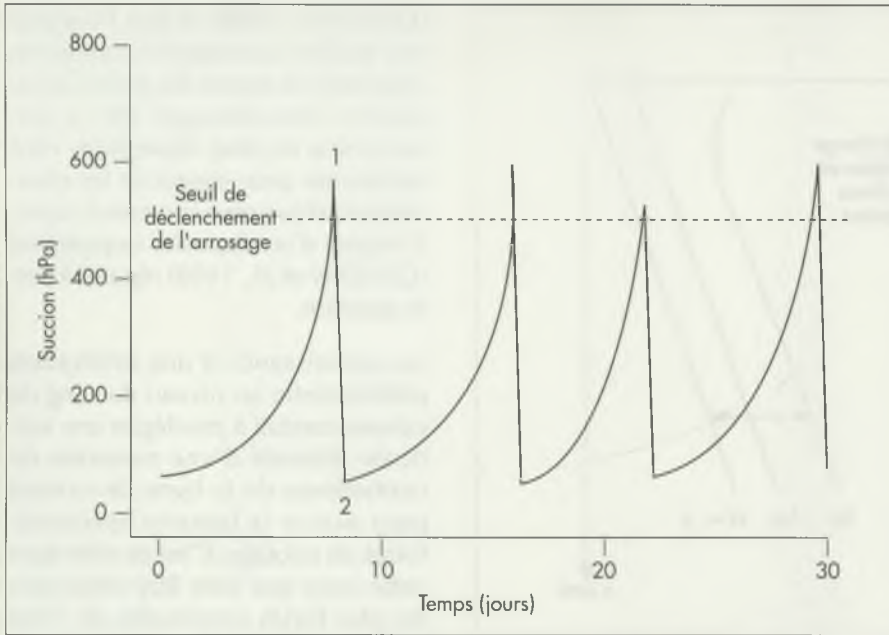


Figure 1. Evolution de la succion mesurée par le tensiomètre à faible profondeur : relevé en dents de scie ; la courbure de chaque dent s'explique par la forme de la courbe caractéristique de l'humidité du sol (relation de la succion à l'humidité).

deviennent plus pointues au fur et à mesure que les besoins en eau de la plante augmentent (ORIOU *et al.*, 1991).

Cette représentation de l'évolution du potentiel à faible profondeur ne donne pas d'information sur d'éventuels mouvements de l'eau. Ceux-ci sont appréciés indépendamment grâce au profil de charge hydraulique (figure 2), obtenu par une bat-

terie de tensiomètres placés à différentes profondeurs.

Pour une culture irriguée de canne à sucre, il est recommandé de mesurer le potentiel hydrique à grande profondeur pour au moins deux raisons :

- les racines peuvent descendre très bas, à plusieurs mètres, et l'observation tensiométrique essaie de couvrir toute la zone où peut agir le pompage racinaire ;

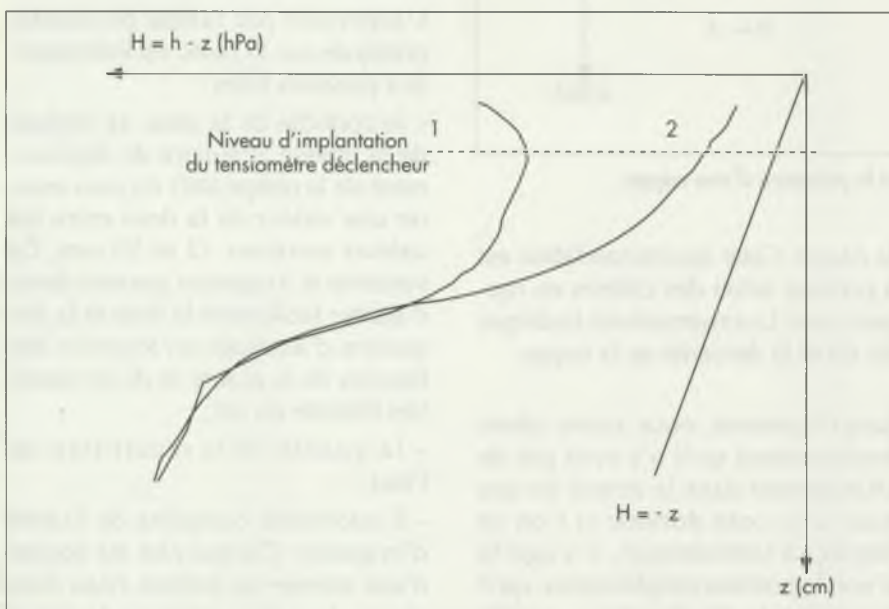


Figure 2. Profils de charge hydraulique avant (1) et après (2) arrosage.

- la présence d'une nappe, même temporaire, influe sur l'alimentation en eau de la plante et sur la circulation de l'eau dans le profil. Tout doit donc être mis en œuvre pour détecter cette nappe et suivre son évolution au cours de l'année, ce que permet le suivi avec les tensiomètres.

## Evolution des profils de potentiel hydrique

D'autres situations sont étudiées : la saison des pluies, la présence d'une nappe en profondeur, l'existence d'une infiltration préférentielle.

Lorsque des pluies importantes interviennent de façon répétée, l'irrigation n'est bien sûr plus à l'ordre du jour. Le profil de charge hydraulique est une parallèle à la droite de saturation (figure 3). Ceci résulte de la condition de flux descendant constant imposée à la loi de Darcy généralisée aux milieux insaturés (loi de Buckingham pour les Anglo-saxons).

La droite de saturation est la bissectrice du profil de charge définie par  $h = 0$ , c'est-à-dire par  $H = -z$ . Le parallélisme à cette droite exprime un gradient unitaire de charge hydraulique :  $dH / dz = -1$ . La distance à cette droite est en relation avec l'intensité du flux exprimée par la valeur de la conductivité hydraulique. Il est important de souligner que la conductivité hydraulique est très dépendante de l'humidité volumique. Plus le profil de charge sera éloigné de la droite de saturation, plus faible sera le flux descendant. Au cours des épisodes pluvieux, le profil de charge hydraulique est donc une parallèle à la droite de saturation, qui se rapproche d'elle au plus fort des précipitations et s'en éloigne quand il ne pleut plus. Cet éloignement est plus marqué en surface puisque l'eau n'y est plus renouvelée.

Si de l'eau s'accumule en profondeur, donc si une nappe se forme de



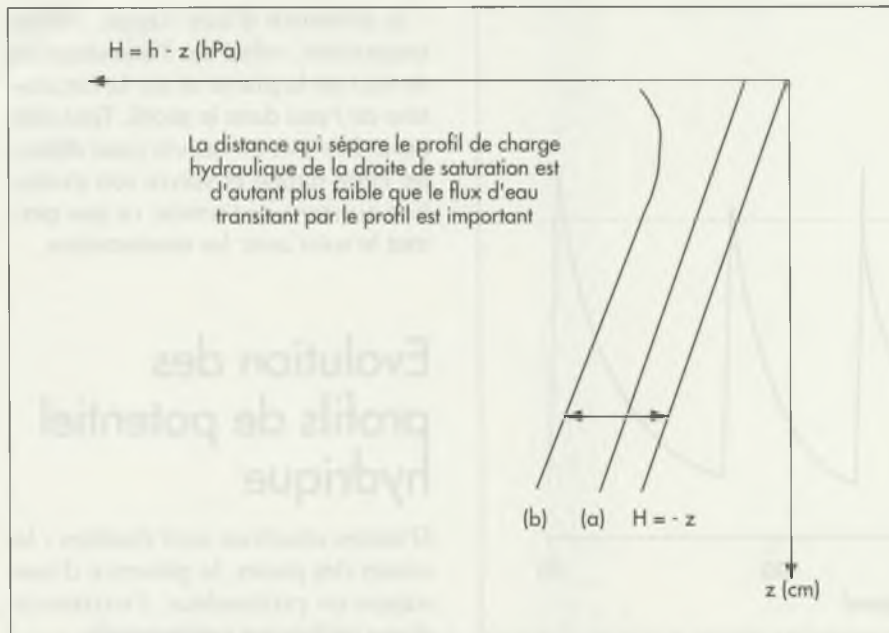
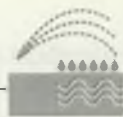


Figure 3. Profils de charge hydraulique pendant (courbe a) et après (courbe b) un long épisode pluvieux.

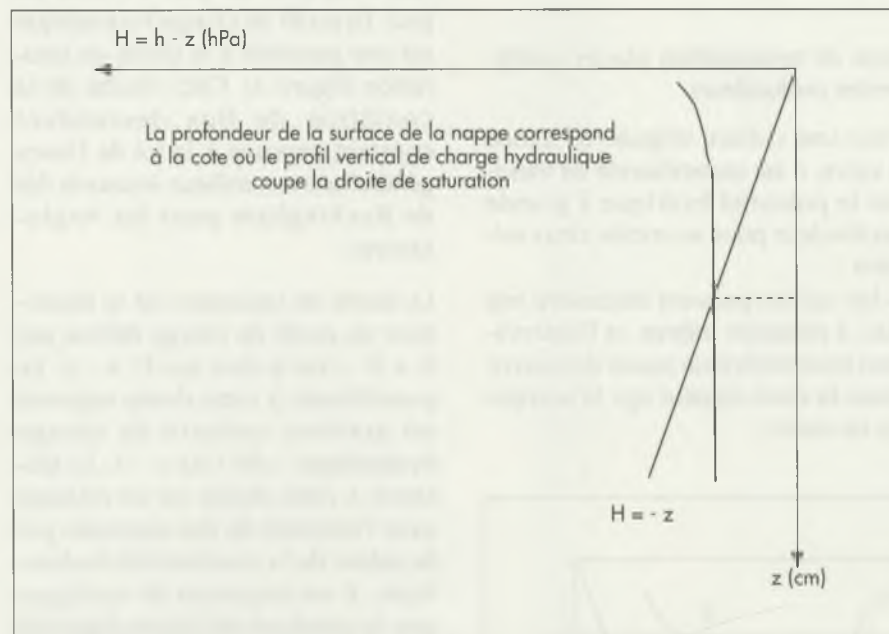


Figure 4. Profil de charge hydraulique indiquant la présence d'une nappe.

façon temporaire, le profil de charge va couper la droite de saturation (figure 4), à la cote qui serait indiquée par un piézomètre. Ce type d'informations est intéressant car si la canne a alors atteint le *boom-stage*, une gestion adéquate de l'irrigation à la fin de la saison des pluies va consister à essayer de tirer parti de cette eau profonde. Pour cela, il ne faudra pas hésiter à laisser le sol s'assécher dans le premier mètre pour provoquer une sollicitation de

la nappe. Cette recommandation est à préciser selon des critères en rapport avec la transmissivité hydrique du sol et la descente de la nappe.

Jusqu'à présent, nous avons admis implicitement qu'il n'y avait pas de changement dans la teneur en eau pour une cote donnée si l'on se déplaçait latéralement. Il s'agit là d'une hypothèse simplificatrice qu'il est difficile d'admettre aussitôt que la végétation couvre le sol

(QUIDEAU, 1988) et que l'éventail des feuilles se comporte comme un entonnoir en saison des pluies ou au moment des arrosages. De ce fait, une vision en deux dimensions est à rechercher pour apprécier les mouvements d'eau sous la canne à sucre. L'emploi d'un dispositif isopotential (GAUDIN *et al.*, 1998) répond à cette question.

La connaissance d'une infiltration préférentielle au niveau du rang de cannes conduit à privilégier une verticale distante d'une trentaine de centimètres de la ligne de cannes pour placer la batterie tensiométrique de pilotage. C'est en effet dans cette zone que vont être observées les plus fortes amplitudes de l'état hydrique du sol. Même si l'information ainsi acquise est incomplète, elle est suffisante pour comprendre le fonctionnement hydrique du système sol-canne.

## Le code de pilotage de la canne

L'irrigation de la canne et les conditions d'alimentation en eau ont été étudiées tout au long d'une année sous une rampe d'aspersion pivotante.

### L'aspersion pivotante

L'aspersion par rampe pivotante, pratiquée sur 33 plots, est intéressante à plusieurs titres :

- le contrôle de la dose. Le réglage de la vitesse angulaire de déplacement de la rampe (483 m) peut assurer une valeur de la dose entre les valeurs extrêmes 12 et 50 mm. Ce système d'irrigation permet donc d'ajuster facilement la dose et la fréquence d'arrosage en fonction des besoins de la plante et de la nature très filtrante du sol ;
- la qualité de la répartition de l'eau ;
- l'autonomie complète de l'unité d'irrigation. Chaque plot est équipé d'une pompe qui prélève l'eau dans un canal ou dans un forage, la nappe est présente vers 6 m.

## Le pilotage

Le code de pilotage est simple pour la partie du cycle de la plante précédant les pluies. Il vise à satisfaire les besoins en eau de la plante par des apports de 20 mm déclenchés chaque fois que le seuil de potentiel matriciel - 500 hPa est franchi à 25 cm (phase d'installation de la culture) puis à 50 cm de profondeur. Le relevé tensiométrique (figure 5, profils a et b) se rapproche du cas de figure idéal (figure 2).

Les pluies perturbent naturellement cette situation, en ramenant le profil de charge hydraulique vers la droite de saturation (figure 5, profil c). Le code intègre cette donnée nouvelle afin que la canne profite au mieux du sol humide en profondeur. La stratégie consiste à inverser au plus vite les flux (figure 5, profil d), sans

pénaliser pour autant la croissance continue de la canne. L'objectif final est un profil sec (figure 5, profil e) qui permette un sevrage effectif, gage d'une maturation réussie.

## Les résultats agronomiques

Le pilotage tensiométrique de l'irrigation a été testé sur plusieurs parcelles de 70 ha, équipées chacune de deux batteries de tensiomètres. Des plots voisins, en nouvelle plantation, et en repousses de même rang (1 et 5) ont été appariés et suivis pendant deux ans afin de comparer les méthodes tensiométrique et climatique de pilotage de l'irrigation. Le rendement des parcelles

contrôlées par tensiomètres a été maintenu à un niveau élevé, de l'ordre de 9 tonnes de cannes par hectare et par mois de végétation (9 tonnes et 7 tonnes respectivement pour les cinquième et sixième repousses), pour un arrosage réduit de 20 % par rapport aux parcelles dont les besoins en eau ont été estimés par simulation du bilan hydrique (ORIOL *et al.*, 1995).

L'économie en eau ainsi réalisée est due à un meilleur contrôle des flux profonds, en particulier au début du cycle de la culture et après la saison des pluies. Les remontées capillaires sont favorisées. La réduction des percolations a aussi un effet bénéfique sur la fertilité du sol en raison de la lixiviation plus faible des éléments minéraux et du lessivage plus faible des argiles.

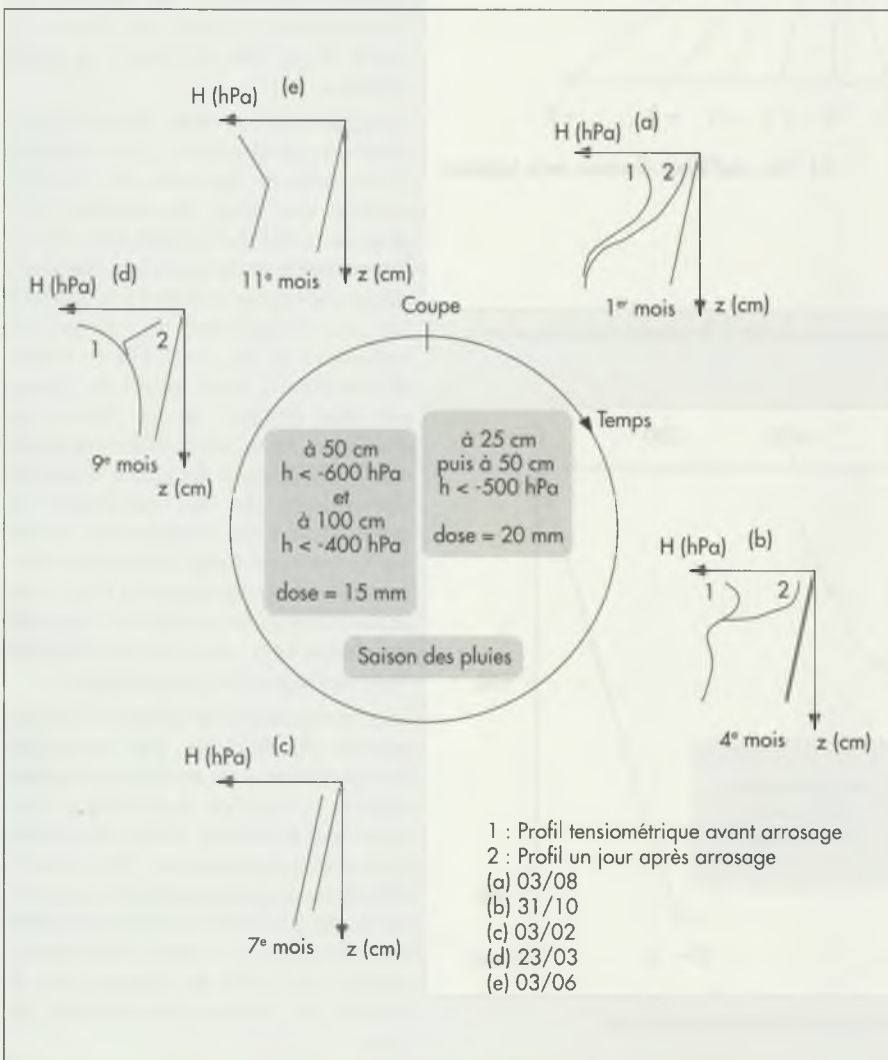


Figure 5. Pilotage des arrosages sur les sables roux : les profils hydriques observés, liés au pilotage tensiométrique des arrosages.



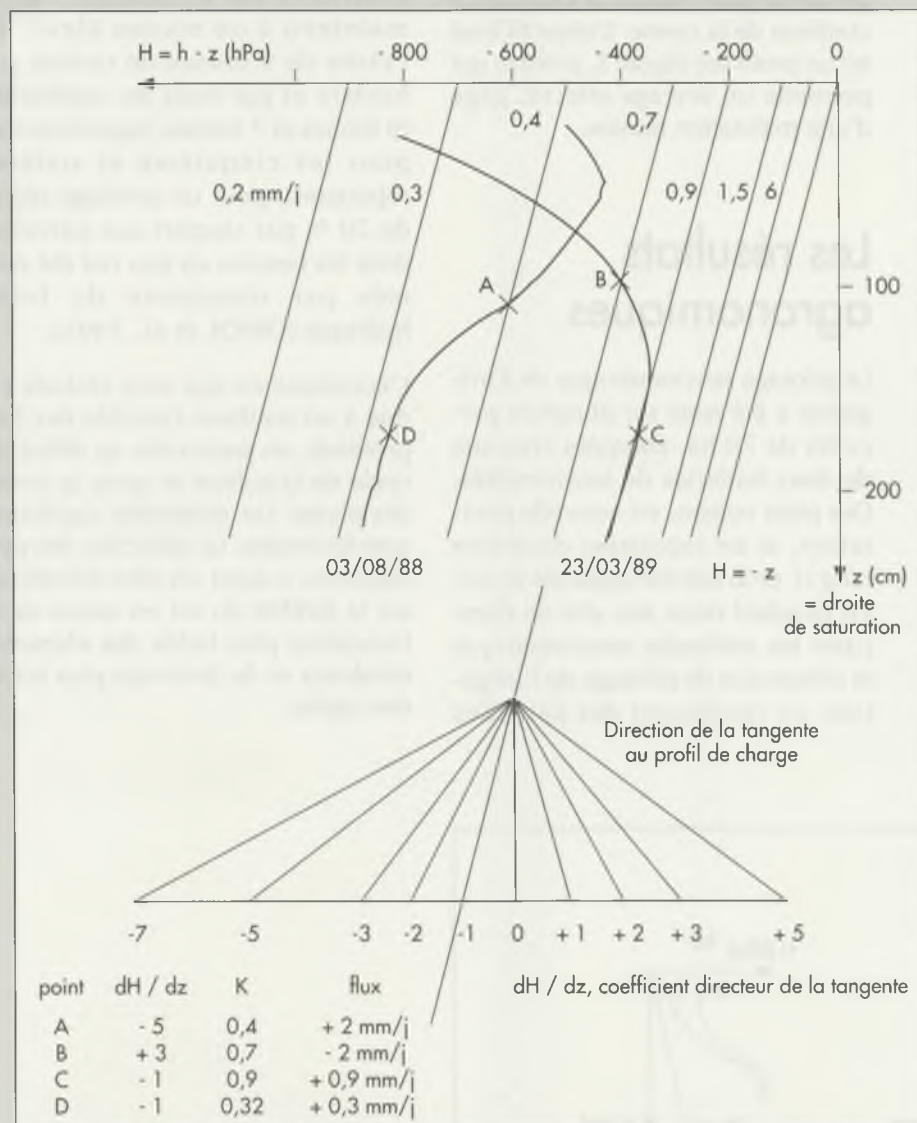
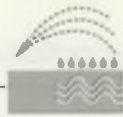


Figure 6. Calcul graphique du flux aux points d'intersection du profil de charge hydraulique avec les lignes d'isoflux.

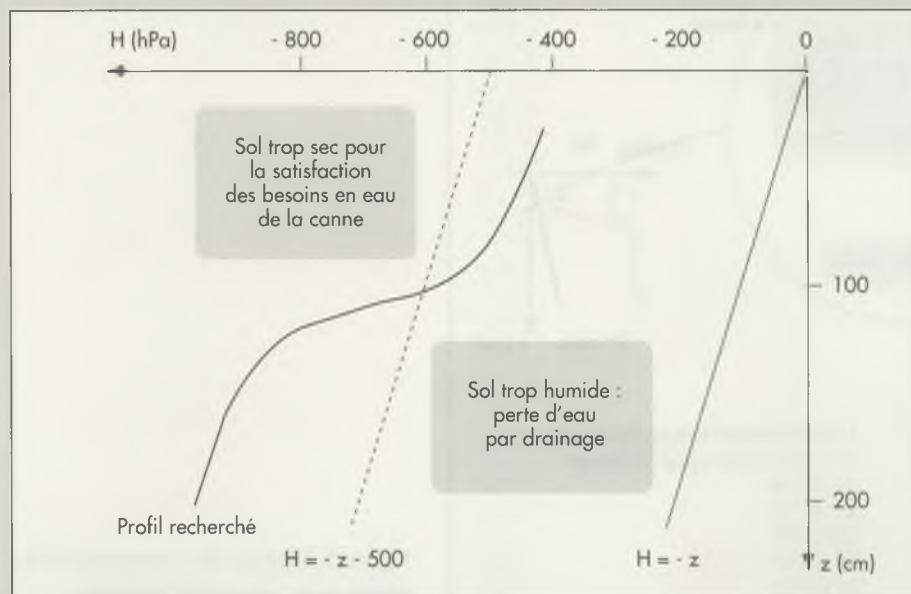


Figure 7. Pilotage des arrosages sur les sables roux : le profil hydrique recherché.

## Un diagramme pour visualiser les mouvements de l'eau

Le profil de charge hydraulique constitue une source d'informations suffisante pour évaluer les flux dès lors que sont connues la conductivité hydraulique et la courbe caractéristique de l'humidité, pour le site où est implantée la batterie de tensiomètres. Pour obtenir un calcul plus rapide, les lignes d'isoflux correspondant à certaines valeurs du potentiel matriciel sont inscrites directement en fond du diagramme de potentiel total. L'abaque ainsi construite (figure 6) permet le calcul du flux à n'importe quel point d'intersection d'un profil de charge avec une ligne isoflux. Pour donner la valeur du flux, cette valeur d'isoflux est multipliée par le gradient de charge, puis changée de signe. Le gradient de charge a une valeur qui découle de l'orientation du profil de charge au point où ce dernier coupe la ligne d'isoflux.

Les profils sélectionnés illustrent deux moments de la culture. Celui observé à un mois de repousse (le 3 août) montre des flux descendants en-dessous de 50 cm. A partir de 1,50 m, l'intensité de ce flux est complètement déterminée par le potentiel hydrique du sol, car le gradient de charge est unitaire ( $dH / dz = -1$ ). Elle est faible (0,3 mm/jour), car le profil de charge est très éloigné de la droite de saturation. Le second profil est observé à la fin de la saison des pluies. Il montre des valeurs de flux ascendant et descendant à des intensités de l'ordre de 1 mm/jour. Cette intensité de flux est intéressante par rapport à l'Etp. Leur action conjuguée va déplacer le profil de charge vers une zone de moindre flux (partie gauche du graphique).

La connaissance des lignes d'isoflux permet de délimiter des zones de fonctionnement du système sol-canne (figure 7). Le flux 0,4 mm/jour est considéré comme la limite supérieure acceptable du drainage. Hors saison des pluies, la partie supérieure du profil de charge devra être maintenue à droite de cette ligne, et la partie inférieure à gauche. Le code de pilotage vise à obtenir ce régime économique de l'eau.

## Bibliographie

GAUDIN R., RAPANOELINA M., ORIOL P., 1990. Rapport des études tensiométriques pour l'irrigation à la SIRANALA. Laboratoire des Radioisotopes, Tananarive et Entreprise Socialiste Siramamin'Analaiva, Morondava, 42 p.

GAUDIN R., RAPANOELINA M., ORIOL P., 1998. Analyses tensiométriques appliquées au pilotage d'irrigation. Cahiers Agricultures 7 : 131-138.

JOURDAN O., 1980. Tensiométrie. Tananarive, Madagascar, Laboratoire des Radioisotopes, 47 p.

JOURDAN O., 1983. Contribution à l'étude de la capacité de rétention en eau des sols. Cas de deux sols malgaches. Thèse de doctorat, USTL, Montpellier, France, 136 p.

MARINI P., VILLEMEN P., JOURDAN O., 1976. Définition des propriétés des sols du périmètre sucrier d'Analaiva. Tananarive, Madagascar, Laboratoire des Radioisotopes, 41 p.

ORIOU P., RAPANOELINA M., GAUDIN R., RASOLO J., 1991. Suivi tensiométrique d'une culture de canne à sucre irriguée par rampe pivotante sur sol alluvionnaire léger. Actes des premières rencontres Afcas du 10 au 15 juin 1991, p. 174-180, Montpellier, France.

ORIOU P., RAPANOELINA M., GAUDIN R., 1995. Le pilotage de l'irrigation de la

canne à sucre par tensiomètres. Agriculture et Développement 6 : 39-48.

QUIDEAU P., 1988. Appréciation de la situation hydrique d'une culture de canne à sucre à l'aide de quelques mesures et observations de terrain ; intérêt pour la conduite de l'irrigation. Note technique 03-88 FCS/IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 24 p.

RICHARDS L.A., 1960. Advances in soil physics. Proceedings 7th International Congress of Soil Science, Madison, Wisconsin, Etats-Unis, Vol. 1 : 67-79.

RICHARDS S.J., MARSH A.W., 1961. Irrigation based on soil suction measurements. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25 : 65-70.

## Résumé...Abstract...Resumen

M. RAPAOELINA, R. GAUDIN, P. ORIOL — **Sables roux, pivots, tensiomètres : comment ajuster les irrigations ?**

La qualité filtrante des sols de type « sables roux » sur lesquels est cultivée la canne à Analaiva (Madagascar) a conduit à choisir l'aspersion par rampe pivotante pour couvrir les besoins en eau de la culture en dehors de la courte saison des pluies. Ce système est bien adapté car il permet de choisir des doses faibles pour les sols filtrants : la dose appliquée varie entre 12 et 50 mm. Le pilotage de l'irrigation par tensiomètres est rendu possible par la grande profondeur des sols, leur homogénéité et la connaissance de leurs propriétés hydrodynamiques, ce qui permet de définir un régime idéal d'arrosage fondé sur le stade de la culture et le profil de charge hydraulique de la batterie déclencheuse. En phase de maturation, la mobilisation de l'eau, présente en profondeur, découle d'une inversion des flux d'eau après la saison des pluies. L'assèchement du profil avant la coupe conduit à retrouver le profil idéal de début de repousse.

Mots-clés : tensiomètre, pilotage de l'irrigation, rampe pivotante, Madagascar, *Saccharum*, canne à sucre.

M. RAPAOELINA, R. GAUDIN, P. ORIOL — **Red sands, pivots, tensiometers: how should irrigation be adjusted?**

The filtration capacity of the "red sand" type soils on which sugarcane is grown in Analaiva (Madagascar) prompted the choice of pivoting sprinkler booms to cover crop water requirements outside the short rainy season. The system is suitable, since small doses can be used for soils that filter well: the dose applied is between 12 and 50 mm. Irrigation can be controlled by tensiometers, as the soils are very deep and homogeneous, and their hydrodynamic properties are known, which makes it possible to establish an ideal watering pattern based on the crop growth stage and the hydraulic head profile of the trigger devices. During ripening, mobilization of the water deep down in the soil results from an inversion of flow after the rainy season. The drying out of the profile before cutting returns the profile to the ideal conditions for ratoon growth.

Keywords: tensiometer, irrigation control, pivoting boom, Madagascar, *Saccharum*, sugarcane

M. RAPAOELINA, R. GAUDIN, P. ORIOL — **Arenas rojas, pivotes, tensiómetros: ¿cómo ajustar los riegos?**

La calidad de filtración de los suelos ferruginosos, llamados de "arenas rojas", en los que se cultiva la caña en Analaiva (Madagascar) llevó a elegir la aspersion por barra pivotante para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo fuera de la breve estación de lluvias. Dicho sistema está bien adaptado porque permite elegir dosis bajas para los suelos filtrantes: la dosis aplicada varía entre 12 y 50 mm. El control de riego mediante tensiómetro se hizo posible por la gran profundidad de los suelos, su homogeneidad y el conocimiento de sus propiedades hidrodinámicas, lo que permite definir un régimen ideal de riego basado en la fase de maduración del cultivo y en el perfil de carga hidráulica de la batería disparadora. En fase de maduración, la movilización del agua, presente en profundidad, procede de una inversión de flujos de agua tras la estación de lluvias. La desecación del perfil antes del corte lleva a volver a encontrar el perfil ideal del inicio de rebrote.

Palabras clave: tensiómetro, control de riego, barra aspersora pivotante, Madagascar, *Saccharum*, caña de azúcar.