HAL
open science

L'eau utile et les caractéristiques hydrodynamiques des sols sous culture de canne à sucre

Rémi Gaudin, Marinus Brouwers

To cite this version:

Rémi Gaudin, Marinus Brouwers. L'eau utile et les caractéristiques hydrodynamiques des sols sous culture de canne à sucre. 2003. ird-00758735

HAL Id: ird-00758735

https://ird.hal.science/ird-00758735

Submitted on 29 Nov 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'eau utile et les caractéristiques hydrodynamiques des sols sous culture de canne à sucre

Introduction

L'exploitant peut agir sur les paramètres du sol et le fait parfois involontairement. Ainsi une irrigation en excès peut faire remonter la nappe, créer des conditions d'asphyxie préjudiciables aux rendements ou au nombre de repousses économiquement intéressantes, poser des problèmes pour l'intervention des engins en cours de culture particulièrement dans les zones basses.

Un certain nombre de paramètres du bilan hydrique et de la satisfaction des besoins en eau de la culture de canne à sucre relèvent des caractéristiques intrinsèques et extrinsèques du sol. Ils peuvent être groupés ainsi (figure 1) :

– l'état de la surface et la pente du terrain. Ils déterminent la part de l'eau pluviale ou apportée par l'irrigation qui s'infiltre et par différence, celle qui ruisselle (R). L'état de la surface n'étant pas figé, le seuil de déclenchement du ruissellement varie ;

– la réserve utile (RU) et la réserve facilement utilisable (RFU). Dans leur définition, interviennent à la fois le sol (rétention en eau) et la plante (profondeur exploitée par les racines, humidité à partir de laquelle la croissance est réduite, point de flétrissement) ;

– la relation avec la nappe. Comme toute culture, la canne peut puiser tout ou partie de l'eau dont elle a besoin dans une nappe. Cette contribution dépend de nombreux facteurs.

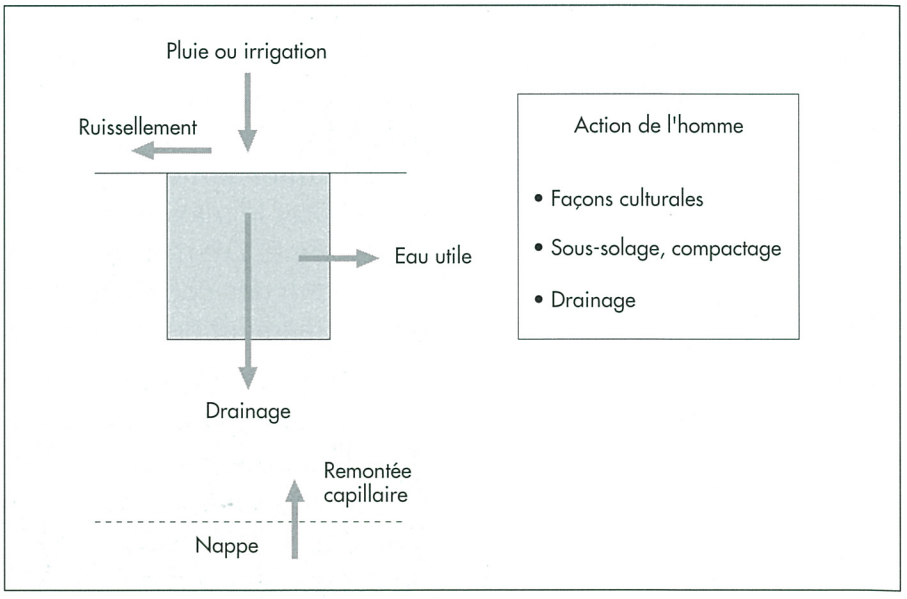


Figure 1. Les termes du bilan hydrique et le champ principal d'intervention de l'exploitant.

R. GAUDIN, M. BROUWERS
Cirad-ca, avenue Agropolis,
34398 Montpellier Cedex 5, France
gaudin@ensam.inra.fr
marinus.brouwers@cirad.fr

J.-L. CHOPART
Cirad-amis, avenue Agropolis,
34398 Montpellier Cedex 5, France
jean-louis.chopart@cirad.fr

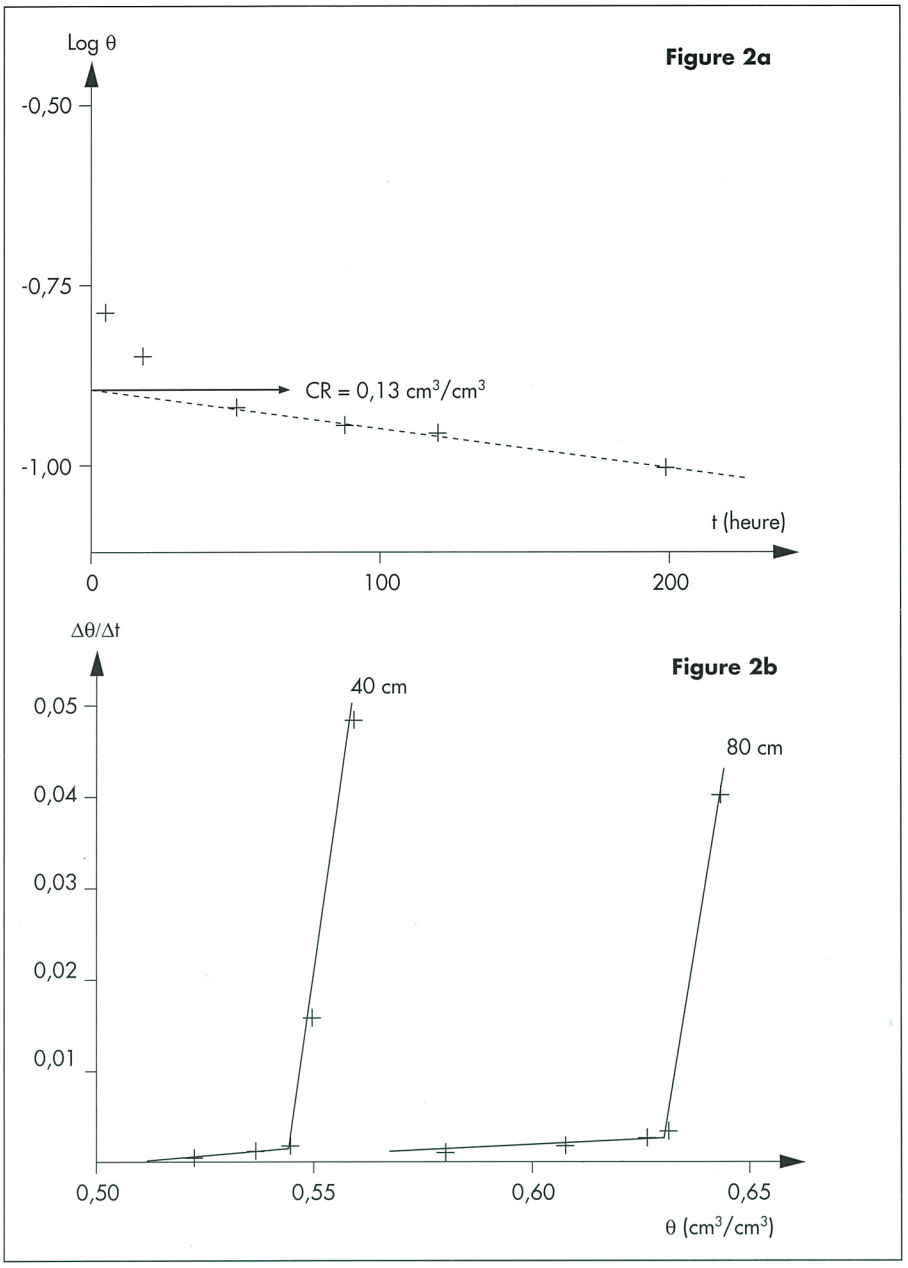


Figure 2. Détermination de la capacité de rétention (CR) à l'aide des représentations de Marcesse et de Feodoroff.
2a. Sols sableux d'Analaiva (Madagascar), représentation de Marcesse (JOURDAN, 1983).
2b. Andosol à Trois-bassins (la Réunion), représentation de Féodoroff (PARIENTE, 1987).
Il y a équivalence des deux représentations en termes mathématiques. L'équation $d\theta / dt = k_1\theta_1$, ou $k_2\theta_2$, selon la valeur de θ par rapport à la capacité de retention, correspond à la représentation de Féodoroff. Elle s'écrit aussi : $d\theta / \theta = k_1 \cdot dt$, ou $k_2 \cdot dt$, d'où $\text{Log}\theta = kdt$ + constante (équation de la cinétique lente, mise en évidence par Marcesse).
Les encadrés 1 et 2 apportent des précisions sur les valeurs de capacité de retention mesurées et leur importance pour la réserve utile.

Cette valeur de pF ne s'applique pas à tous les types de sols. Ainsi, les études menées à la Réunion par BOURON (1990) conduisent à préconiser un pF égal à 1,8 pour les sols à caractère andique.

Si la capacité au champ est mesurée *in situ*, elle tient compte de l'état structural du sol et de son profil.

Il est préférable qu'à une humidité correspondant à la capacité au champ, l'eau n'occupe pas trop de place au sein de la porosité du sol, sous peine d'asphyxie après les pluies ou les irrigations. Une valeur minimale de 10 % d'air par rapport au volume de sol est souvent associée à une croissance racinaire normale (JOUVE et OUSSIBLE, 1980). Ce problème concerne surtout les sols lourds à forte capacité au champ, comme par exemple le périmètre de Dougabougou au Mali (SIDIBE, 1987).

La composante statique de la réserve utile est représentée pour les principaux niveaux du sol par les valeurs d'humidité correspondant à la capacité au champ et au point de flétrissement. La composante dynamique de l'enracinement doit être précisée, plus particulièrement pour des cannes vierges. CHOPART et MARION (1994) l'ont étudiée pendant une durée de 4 mois sur un sol ferrallitique gravillonnaire à Bouaké (Côte d'Ivoire). Le front racinaire descend de 1 cm/j pendant cette période et la cote 2 m peut être atteinte à la récolte (figure 3). Des travaux anciens (EVANS, 1967) ont mis en évidence que la canne s'adapte à des situations hydriques contrastées. Par exemple, si le sol est gorgé d'eau, des racines émises à la base de la tige peuvent se développer sur la surface du sol. *A contrario,* si l'eau est seulement disponible dans le sous-sol, la part de l'eau extraite à grande profondeur (entre 2 et 5 m) pourrait occuper une place telle qu'elle serait, du fait de sa faible teneur en azote minéral, à l'origine d'un déséquilibre. Il s'agit là sans doute de situations extrêmes, mais il n'en reste pas moins que la liaison proportionnelle entre la réserve utile et la profondeur du front racinaire justifie tout l'intérêt qu'il faut porter à ces mesures au champ.

La réserve facilement utilisable

La réserve facilement utilisable (RFU) est la part de l'eau utile accessible sans difficulté par la plante. C'est souvent sur la RFU qu'est calée la dose d'irrigation.

La valeur de la RFU est donnée par la formule RFU = 2/3 RU ou RFU = 1/2 RU selon les auteurs.

La profondeur de la nappe et l'enracinement de la canne, les caractères de texture et de structure, qui influencent la conductivité hydraulique du sol et déterminent le flux de remontée capillaire, sont les paramètres qui peuvent interagir.

Après avoir abordé rapidement le problème du ruissellement, le concept d'eau utile sera discuté en référence à la culture de la canne. Le lien entre les propriétés hydrodynamiques des sols et la circulation de l'eau sera ensuite traité.

Le ruissellement

Le ruissellement est déterminé par la vitesse d'infiltration à travers la surface ou à un niveau inférieur, si celui-ci est moins perméable. Pour une intensité de pluie constante, supérieure à l'infiltrabilité permanente, la conductivité hydraulique et la sorptivité capillaire au voisinage de la saturation déterminent le moment auquel apparaît la submersion (VAUCLIN et CHOPART, 1992). Ces deux valeurs peuvent être déterminées par infiltrométrie multidisques ou par une autre technique associant de petits tensiomètres à des capteurs capacitifs (PEREZ *et al.*, 1999 ; TOUMA *et al.*, 1999).

Dans la pratique, les modes de gestion du sol (culture en courbes de niveau, billonnage, griffage, etc.) peuvent agir favorablement ou défavorablement sur les caractéristiques hydrodynamiques du sol et donc sur l'efficacité de l'eau apportée. Ce sont des moyens d'action privilégiés de l'exploitant ou du chef de culture.

L'eau utile

La réserve utile est définie par la relation : $RU = z_r (\theta_{CC} - \theta_{FP})$

avec z_r, profondeur exploitée par les racines,

θ_{CC}, humidité volumique à la capacité au champ du sol,

θ_{FP}, humidité volumique au point de flétrissement permanent.

Le point de flétrissement permanent est associé à la valeur de pF = 4,2 (le pF est le cologarithme du potentiel matriciel exprimé en cm d'eau, le potentiel matriciel est égal à l'opposé de la valeur de la succion, voir « évaluation des besoins en eau de la canne » p. 14 figure 2) ; ceci correspond à une dépression de 16 bars ou 1,6 MPa (mégapascals). Cette mesure de laboratoire est parfois remplacée par l'humidité correspondant au profil d'assèchement maximum observé sous une culture en stress hydrique (MAERTENS *et al.*, 1974 ; VAKSMANN, 1987). La canne se prête bien à ce dernier protocole puisque le processus de maturation conduit à l'assèchement du sol.

La capacité au champ, la réserve utile

La capacité au champ (CC) se rapporte à l'humidité atteinte pour un temps de ressuyage d'environ deux jours après une forte pluie (HILLEL, 1980) ou un apport d'eau conséquent, délai permettant l'installation du ressuyage lent. Le sol est couvert durant ce laps de temps pour empêcher l'évaporation, voire l'évapotranspiration si la mesure est effectuée en tout début de repousse.

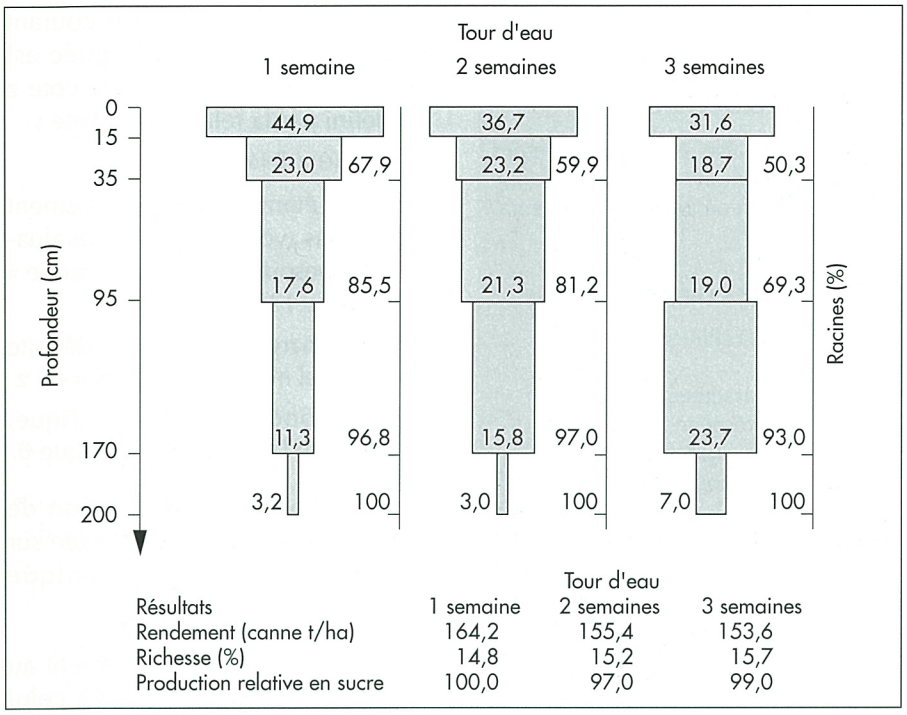
L'humidité volumique de l'échantillon prélevé à la cote étudiée est le produit de deux mesures : l'humidité pondérale obtenue par gravimétrie et la densité apparente du sol sec connue par d'autres méthodes telles que le gamma-densimètre, le prélèvement au cylindre ou le densitomètre à membrane.

Deux procédures différentes sont employées.

D'une part, la représentation de MARCESSE (1967) dans laquelle la capacité au champ, désignée capacité de rétention, est définie comme l'ordonnée à l'origine de la phase de drainage lent. Cette méthode s'est développée avec l'usage de la sonde à neutrons (DANCETTE, 1970), mais elle est effectuée aussi à la tarière (mesure de l'humidité pondérale sur un échantillon moyen de plusieurs prises). La représentation de MARCESSE est équivalente à celle de FEODOROFF (1962) qui associe la capacité de rétention à un changement de pente dans la vitesse de ressuyage (figure 2).

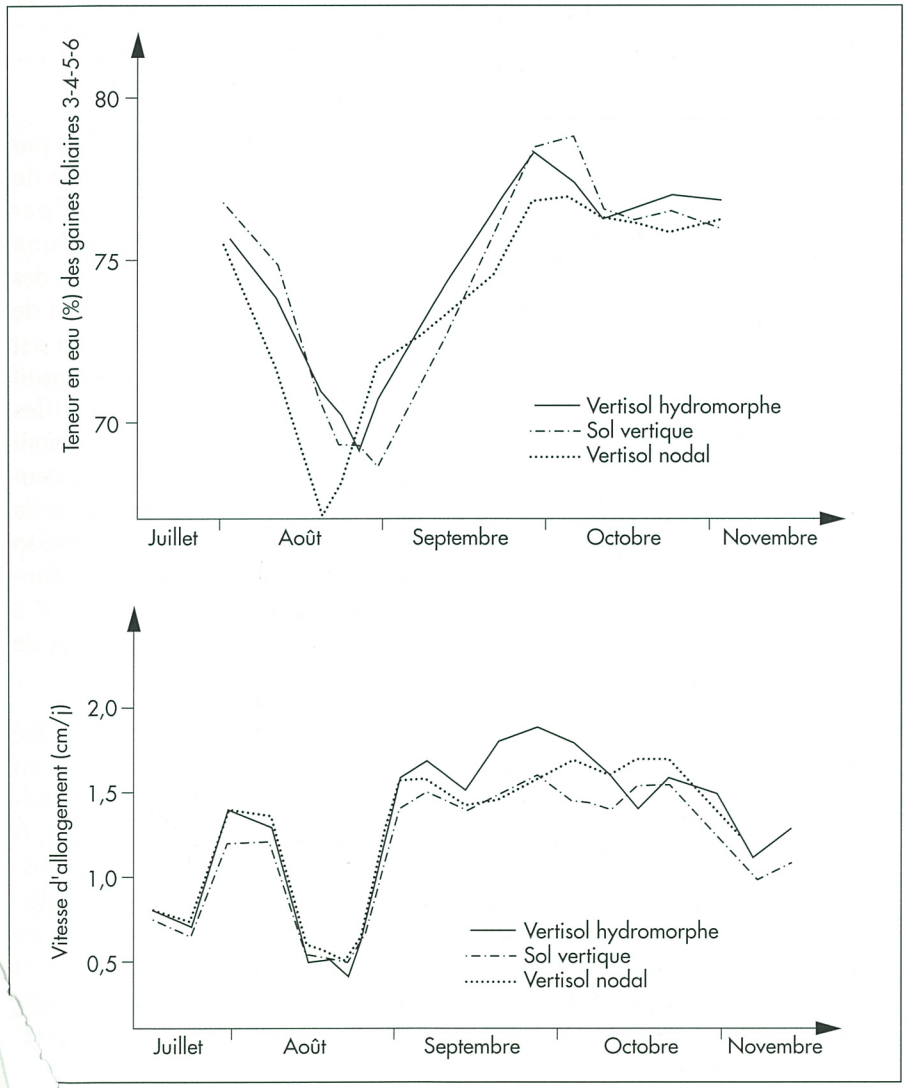
D'autre part, l'humidité à pF = 2,5 mesurée au laboratoire sur un échantillon broyé passé au tamis de 2 mm est quelquefois retenue pour approcher la valeur de la capacité au champ (KRAMER et BOYER, 1995).

Irrigation basse pression d'une pépinière (Analaiva, Madagascar).



Résultats	Tour d'eau 1 semaine	2 semaines	3 semaines
Rendement (canne t/ha)	164,2	155,4	153,6
Richesse (%)	14,8	15,2	15,7
Production relative en sucre	100,0	97,0	99,0

Figure 3. Répartition verticale des racines à la récolte d'une canne vierge, en fonction de la fréquence d'arrosage à Ferkéssédougou, Côte d'Ivoire (BARAN *et al.*, 1974).



L'enracinement est un facteur essentiel de la RFU. La présence d'un horizon argileux peut gêner la pénétration des racines ; l'estimation de la RFU doit donc intégrer l'eau facilement utilisable des horizons prospectés par la plante, chacun ayant des valeurs particulières de θ_{CC} et de θ_{FP}. Cette détermination par sommation est, bien sûr, appliquée aussi pour l'ensemble de la réserve utile, dont la réserve difficilement utilisable mise à contribution dans la dernière phase de la culture ou phase de maturation (RDU = RU - RFU).

L'approche empirique de la réserve facilement utilisable (RFU) mériterait d'être précisée par des études qui associeraient des mesures dans le sol et le suivi d'un indicateur de la plante. Chez la canne, cet indicateur est l'humidité des gaines foliaires 3, 4, 5 et 6 (CLEMENTS et KUBOTA, 1942), qui est bien corrélée avec la vitesse d'élongation (figure 4, KOKASON, 1982).

La notion de RFU a fait l'objet d'une attention spéciale dans les vertisols de Guadeloupe. La présence d'argiles gonflantes place ces sols hors du champ d'application des méthodes classiques de détermination de la capacité au champ, paramètre essentiel de la réserve utile et de la réserve facilement utilisable. Dans ce milieu, la canne pousse par à-coups en saison des pluies. La RFU est définie par la porosité structurale d'origine biologique ; elle se remplit et se vide en priorité par rapport à la porosité texturale, indépendamment des mouvements de retrait et de gonflement du sol (GUILLAUME, 1993, 1998 ; GUILLAUME et CABIDOCHE, 1999).

Figure 4. Relation entre la vitesse de croissance de la canne et l'humidité des gaines foliaires, pour différents types de sols (données obtenues par KOKASON, 1982).
Conditions d'expérience : canne de 2e repousse, coupe précédente le 25 avril. Entre les différents types de sols étudiés (Guadeloupe, sols argileux, argiles gonflantes), les différences de comportement ne sont pas très importantes.

Encadré 1

Deux situations contrastées

L'examen de deux situations, les sols à sables roux d'Analaiva (Madagascar) et les sols ferrallitiques à caractère andique du sud de la Réunion, montre que la plus faible rétention de l'eau dans un sol de texture grossière peut être compensée par un enracinement très profond de la canne.

Comparaison d'un sol à sables roux et d'un sol ferrallitique à caractère andique

Type de sol	Ferrugineux	Ferrallitique
Particularité	sables roux	caractère andique présence de matériaux amorphes par exemple l'imogolite
Localisation	plaine de Monrondava Madagascar	Bassin Martin la Réunion
Capacité de rétention	13 à 15 %	45 à 55 % (valeurs les plus élevées en profondeur)
Humidité volumique au point de flétrissement	6 à 8 %	35 à 45 % (valeurs les plus élevées en profondeur)
Enracinement	2 m	1 m
Réserve utile	140 mm	100 mm
Niveau de la nappe	4 à 6 m	2 à 3 m
Remontées capillaires	mm/ jour sur 1 m (en ordre de grandeur)	non étudiées (possibilités de transferts latéraux sur sols en pente)
Contraintes	drainage de l'ordre de 1 mm par jour dans la partie supérieure de la réserve utile	ne pas laisser le sol s'assécher fortement sous peine d'une évolution irréversible (effondrement de la porosité si l'humidité diminue en deçà de celle correspondant à pF = 4)

Les caractéristiques hydrodynamiques

La réserve utile est un paramètre essentiel des modèles de bilan hydrique. Elle permet une première approche du fonctionnement hydrique du sol. Mais celui-ci est, en fait, physiquement déterminé par les relations K(θ) — conductivité hydraulique en fonction de l'humidité volumique — et h(θ) — courbe caractéristique de la succion en fonction de l'humidité volumique.

Nous allons maintenant rappeler brièvement comment ces relations sont obtenues et quel est leur domaine d'application en culture cannière.

Le sol est un milieu poreux complexe dans lequel l'eau se déplace vers le niveau d'énergie le plus bas. La loi de DARCY généralisée aux milieux insaturés décrit ce processus. Le déplacement le plus courant en culture pluviale ou irriguée est vertical. Le flux d'eau q_z à la cote z est défini par la relation suivante :

$q_z = - K(\theta)\ (dH/dz)_z$,

l'axe Oz étant orienté positivement vers le bas (voir l'article « L'évaluation des besoins en eau de la canne » figure 6, p. 17),

avec H, charge hydraulique, déduite du potentiel matriciel (h) par H = h - z

et K(θ), conductivité hydraulique, fonction de l'humidité volumique θ.

La variation de K en fonction de l'humidité peut être représentée sur un graphe semi-logarithmique (figure 5).

Les relations K(θ) et h(θ) servent au calcul du drainage ainsi qu'à celui de la remontée capillaire (GARDNER, 1958 ; DE LAAT, 1980).

Comment connaître la relation K(θ) ?

La relation K(θ) est accessible par plusieurs méthodes. La méthode du drainage interne décrite par VACHAUD *et al.* (1978) est une méthode de terrain applicable à des sols sans nappe à moins de 3 m de profondeur. Une lame d'eau est appliquée en surface d'un dispositif à double anneau, équipé à différentes cotes de tensiomètres, et muni d'un tube d'accès pour sonde à neutrons. Le suivi de la redistribution de l'eau et des tensions après infiltration complète de la lame fournit les données qui permettent de calculer K à différentes valeurs d'humidité et de succion.

Plus récemment, cette méthode a été adaptée pour une détermination en laboratoire (méthode de Wind vulgarisée par TAMARI *et al.*, 1993). A cet effet, un cylindre de sol est instrumenté avec des micro-tensiomètres ; sa pesée en continu au cours d'un assèchement progressif donne l'humidité volumique. Le traitement des données fournit la relation K(θ).

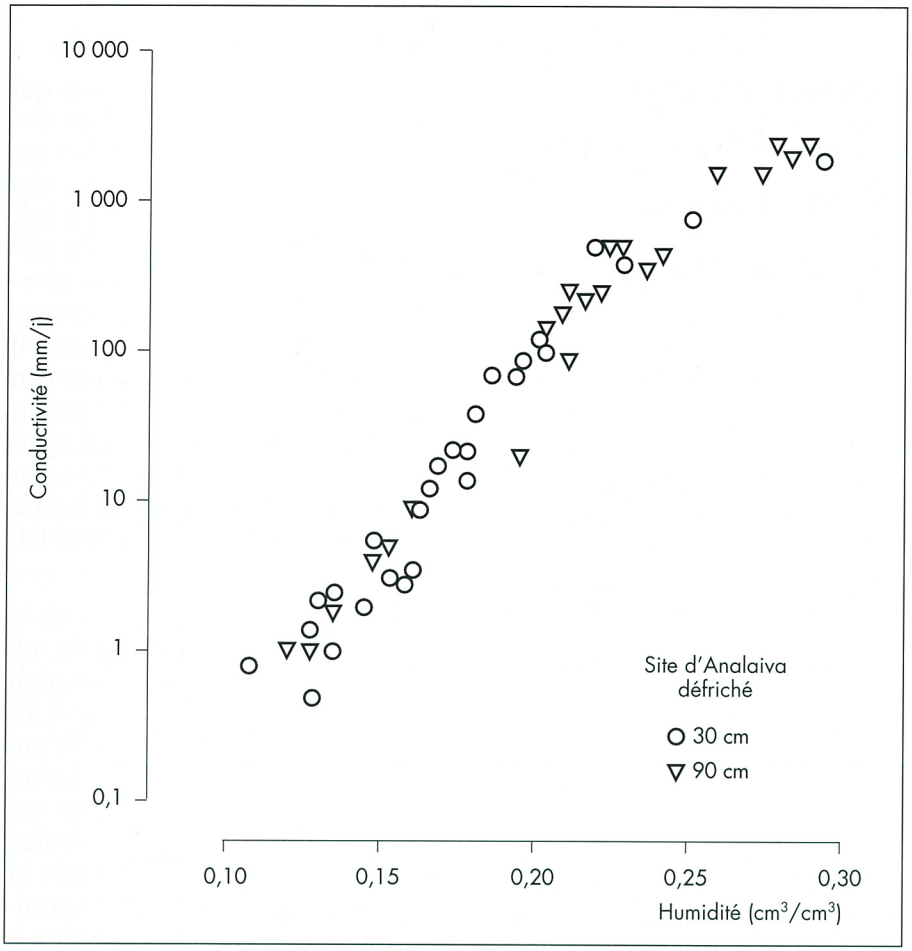


Figure 5. Conductivité hydraulique en fonction de l'humidité pour l'un des sites étudiés par MARINI *et al.* (1976) sur le périmètre d'Analaiva (Madagascar).

Le suivi des mouvements de l'eau

Sous culture de canne, comme sous d'autres cultures à fort écartement entre rangs ou pieds, le mouvement de l'eau n'est pas toujours vertical. Plusieurs facteurs l'expliquent :

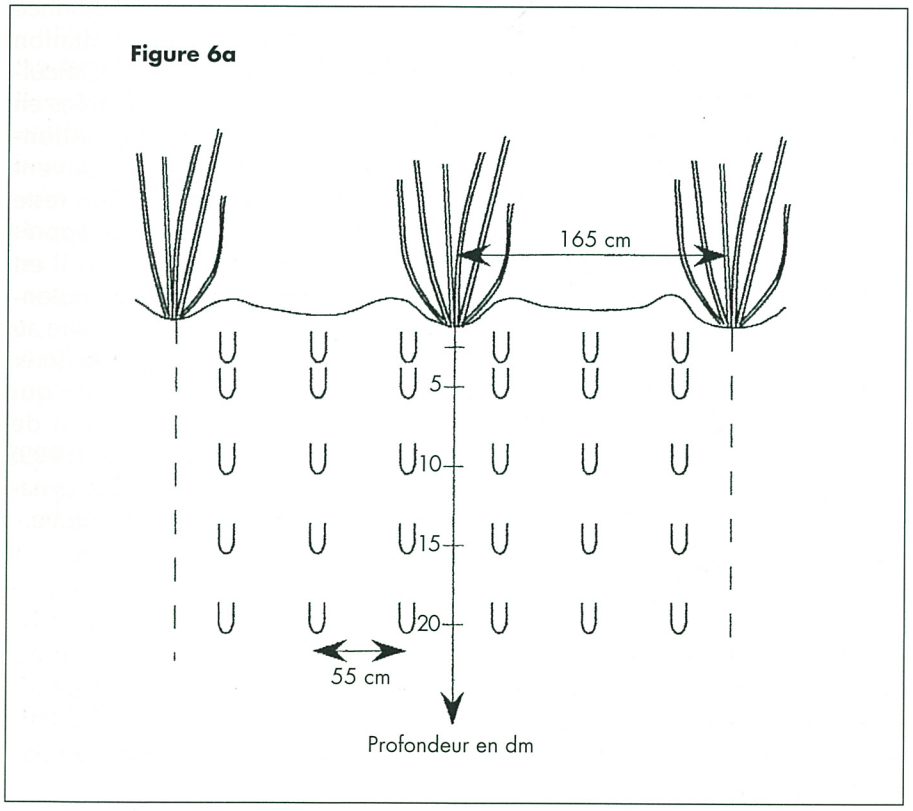
– le sous-solage à fort écartement avant la mise en culture et les façons culturales ou le compactage induit par le passage d'engins dans les interlignes provoquent en surface ou dans une partie du profil une variation de la porosité, donc des paramètres hydriques ;

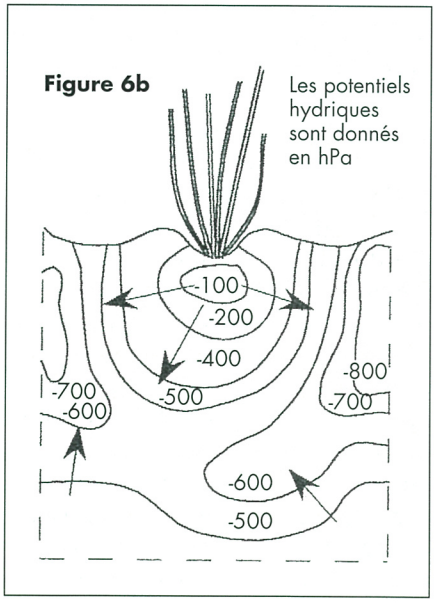
– la végétation de la canne modifie la répartition de l'eau apportée par les pluies ou les arrosages. Les feuilles et les tiges interceptent l'eau qui s'écoule préférentiellement le long des tiges.

Figure 6. Mise en évidence de flux obliques dans un champ de canne (site de Analaiva, Madagascar, GAUDIN *et al.*, 1998).

6a. Dispositif de mesures comprenant une batterie de 30 tensiomètres dont les bougies sont réparties de part et d'autre de la ligne de canne. Conditions d'expérience : canne âgée de 10 mois, sol profond et homogène de texture limono-sableuse, irrigation par rampe pivotante.

6b. Visualisation des flux obliques. La direction des flux est perpendiculaire aux courbes d'isopotentiel obtenues par krigeage.





Encadré 2

Caractérisation de quelques sols rencontrés en culture de canne à sucre

Caractéristiques hydrodynamiques pouvant être obtenues par tensio-humidimétrie (méthode du drainage interne)

sols sablo-limoneux ou limono-sableux profonds (sables roux d'Analaiva)

– Circulation aisée de l'eau

– Enracinement profond de la canne

– Percolation dans la réserve facilement utilisable : pilotage de l'irrigation par tensiométrie

sols à caractère andique

– Très grande perméabilité à saturation (mesure par perméamétrie à disque)

– Chute rapide de la conductivité hydraulique suite à une faible diminution de l'humidité volumique, comportement de « pseudo-sables »

– Nappe à moyenne profondeur avec de possibles écoulements latéraux (sols en pente) et une éventuelle contribution à l'alimentation en eau de la canne

Difficulté à installer les dispositifs de mesure ou à les mettre au point

sols gravillonnaires

– Circulation aisée de l'eau

– Enracinement profond de la canne

– Rôle positif des gravillons à préciser

sols avec cuirasse, sols sur basalte

– Réserve utile apparemment limitée par la profondeur d'apparition de l'horizon induré ou de la roche mère. L'expérience des agronomes, confortée par des observations ponctuelles, montre que les racines traversent parfois une couche réputée infranchissable

Cas où les hypothèses à la base de la méthode de drainage interne ne sont pas vérifiées

sols à argiles gonflantes, vertisols

– Etude avec les capteurs de déplacement (voir « Stratégies de gestion des irrigations sur vertisols de Guadeloupe » p. 132-140)

– La réserve facilement utilisable occupe la porosité d'origine biologique

Un phénomène identique se produit avec la rosée. La ligne de culture définit donc une zone privilégiée d'infiltration (QUIDEAU, 1988 ; ORIOL *et al.*, 1995).

La redistribution de l'eau dans le sol peut, en pareil cas, être étudiée grâce à un dispositif multi-tensiométrique, qui conduit à tracer les courbes d'égal potentiel hydrique (figure 6). A l'île Maurice, cette technique a servi à préciser les régimes hydrodynamiques associés à l'emploi du goutte à goutte enterré sur des sols à caractère andique (BELL *et al.*, 1990 ; HODNETT *et al.*, 1990). En profondeur, la verticalité des flux reste cependant la règle. De plus, en l'absence de nappe et si l'évaporation, ou l'évapotranspiration, sont faibles, on observe une tendance à l'homogénéité du potentiel matriciel dans l'ensemble du profil du sol ; ceci implique un gradient de charge hydraulique égal à -1 ($dH/dz = -1$). L'expression du flux se simplifie : $q_z = + K(\theta)$. Le flux de drainage est alors accessible indirectement par une mesure d'humidité, ou bien par une mesure tensiométrique *via* la courbe caractéristique de l'humidité du sol. JOURDAN (1983) a ainsi mis en évidence que le maintien du sol dans la RFU (définie par lui comme le tiers supérieur de l'humidité contenue par le sol à sa capacité au champ) pouvait, en sols sableux, conduire à une perte d'eau, de 1 à 4 mm par jour pour une tranche de sol de un mètre.

Conclusion

La canne à sucre est une plante qui pousse dans des sols très variés. On la cultive avec succès aussi bien sur des argiles très lourdes que sur des tourbes presque pures ou sur des sols sableux. Ses exigences sont une certaine profondeur, une bonne aération, une circulation de l'eau correcte et la libre descente des racines. Il est admis que la faible rétention en eau d'un sol sableux en comparaison d'un sol argileux se trouve compensée en terme agronomique par un meilleur enracinement de la canne dans le sol léger (TRAN-MINH, comm. pers.).

La grande faculté d'adaptation de la canne à sucre aux conditions de sol, son niveau élevé de consommation en eau (avec des pointes de 10 à 12 mm/jour), la longueur du cycle (au moins une année) sont autant de facteurs qui font de cette plante un cas très particulier. Compte tenu du flux hydrique très élevé qui traverse la culture, le système sol-canne constitue une situation intéressante à étudier pour tester des modèles de fonctionnement hydrique d'un système continu sol-plante-atmosphère.

La dispersion géographique des zones de culture, la priorité donnée à la production dans l'exploitation des périmètres sucriers et les difficultés méthodologiques rencontrées en particulier dans les sols gravillonnaires et les vertisols ont souvent retardé les études. Si la tarière reste un outil irremplaçable pour appréhender des situations simples, il est important pour l'avenir d'approfondir les connaissances et de mettre au point des techniques pour améliorer la gestion de cette ressource qui devient rare, l'eau. Le travail de GUILLAUME et CABIDOCHE (1999) sur les vertisols illustre bien la dynamique souhaitable de la recherche.

Bibliographie

BARAN R., BASSEREAU D., GILLET N., 1974. Measurement of available water and root development on an irrigated sugar cane crop in Ivory Coast. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technology 15 : 726-735.

BELL J.P., WELLINGS S.R., HODNETT M.G., AH KOON P.D., 1990. Soil water status : a concept for characterising soil water conditions beneath a drip irrigated sow crop. Agricultural Water Management 17 : 171-187.

BOURON B., 1990. Caractérisation hydrodynamique des sols d'une toposéquence. Mémoire de DAA, Cirad, la Réunion, Saint-Pierre, 57 p.

CHOPART J.-L., MARION D., 1994. Caractérisation au champ de l'enracinement de la canne à sucre. Application à l'élaboration d'une méthode d'évaluation de la biomasse racinaire. Note technique 7/94 RD, Idessa, Bouaké, Côte d'Ivoire, 28 p.

CLEMENTS H.F., KUBOTA, 1942. Internal moisture relations of sugarcane. The selection of a moisture index. Hawaïan Planter's Record, p. 17-35.

DANCETTE C., 1970. 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. L'Agron. Trop. 25 (3) : 225-240.

DE LAAT P.J.M., 1980. Model for unsaturated flow above a shallow water-table, applied to a regional subsurface flow problem. Wageningen, Pays-Bas, PUDOC, 126 p.

EVANS H., 1967. Tissue diagnostic analyses and their interpretation in sugar-cane. *In* Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, twelfth congress, San Juan, Porto Rico, 28 mars-10 avril, 1965, p. 156-180. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, Pays-Bas.

FEODOROFF A., 1962. Ressuyage du sol et capacité de rétention pour l'eau. Ann. Agron. 13 (6) : 523-547.

GARDNER W.R., 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow quation with application to evaporation from a watertable. Soil Sci. 85 (4) : 228-232.

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

GUILLAUME P., 1993. Détermination d'un optimum économique d'utilisation des ressources en eau de la canne à sucre. Campagne 1992-1993, Cirad, Guadeloupe, 31 p.

GUILLAUME P., 1998. Analyse tridimensionnelle directe de la porosité structurale de vertisols. Relations entre formes et fonctionnement hydrique. Thèse de doctorat, Ensam Montpellier, France, 146 p.

GUILLAUME P., CABIDOCHE Y.M., 1999. Stratégies de gestion des irrigations sur vertisols de Guadeloupe. Agriculture et Développement, 24 : 132-140.

HILLEL D., 1980. Applications of soil physics. New York, Etats-Unis, Academic Press, 385 p.

HODNETT M.G., BELL J.P., AH KOON P.D., SOOPRAMANIEN G.C., BATCHELOR C.H., 1990. The control of drip irrigation of sugar cane using " index " tensiometers : some comparisons with control by the water budget method. Agricultural Water Management 17 : 198-207.

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.

JOUVE P., OUSSIBLE M., 1980. Conséquences du tassement sur l'enracinement et la production de plantations de canne à sucre dans le Gharb. Revue Homme, Terre et Eau (Sciences agronomiques et vétérinaires du Maroc) 33 : 69-82.

KOKASON S., 1982. Croissance et état hydrique de la canne à sucre en relation avec les réserves en eau du sol. Mémoire ISTOM, Petit-Bourg, Guadeloupe, France, 96 pages.

KRAMER P.J., BOYER J.S., 1995. Water relations of plants and soils. San Diego, Etats-Unis, Academic Press, 495 p.

MAERTENS C., BLANCHET R., PUECH J., 1974. Influence des différents régimes hydriques sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les cultures. 1. Régimes hydriques, système racinaire et modalités d'alimentation en eau. Ann. Agron. 25 : 575-586.

MARCESSE J., 1967. Détermination *in situ* de la capacité de rétention d'un sol au moyen d'un humidimètre à neutrons. *In* Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies, IAEA-SM-94/14, p.137-145 (compte-rendu du colloque d'Istambul), Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, Autriche.

MARINI P., VILLEMIN P., JOURDAN O., 1976. Définition des propriétés hydro-dynamiques des sols du périmètre sucrier d'Analaiva. Tananarive, Madagascar, Laboratoire des Radio-isotopes, 41 p.

ORIOL P., RAPANOELINA M., GAUDIN R., 1995. Le pilotage de l'irrigation de la canne à sucre par tensiomètres. Agriculture et Développement 6 : 39-48.

PARIENTE P., 1987. Détermination des caractéristiques hydriques et hydro-dynamiques de deux types de sols. Mémoire Istom, Cirad, la Réunion, 163 p.

PEREZ P., TODOROFF P., TOUMA J., FORTIER M., 1999. Caractérisation hydrodynamique d'un sol encroûté en zone sahélienne. 1. Approche expérimentale *in situ*. Agronomie 19 : 331-340.

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.

SIDIBE Z., 1987. Contraintes pédologiques à la production de canne à sucre dans le périmètre de Dougabougou, Office du Niger, Mali. Thèse de doctorat, Ina-pg, France, 140 p.

TAMARI S., BRUCKLER L., HALBERTSMA J., CHADOEUF J., 1993. A simple method for determining soil hydraulic properties in the laboratory. Soil Sci. Soc. Am. J. 57 : 642-651.

TOUMA J., PEREZ P., TODOROFF P., 1999. Caractérisation hydrodynamique d'un sol encroûté en zone sahélienne. 2. Modélisation du processus d'infiltration. Agronomie 19 : 341-348.

VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S., THONY J.-L. 1978. Méthodes de caractérisation hydrodynamique *in situ* d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. Ann. Agron. 29 : 1-36.

VAKSMANN M., 1987. Etude du fonctionnement hydrique des andosols et des sols andiques de l'île de la Réunion. Thèse de doctorat, Montpellier, France, 170 p.

VAUCLIN M., CHOPART J.-L., 1992. L'infiltrométrie multidisques pour la détermination *in situ* des caractéristiques hydrodynamiques de la surface d'un sol gravillonnaire de Côte d'Ivoire. L'Agron. Trop. 46 (4) : 259-271.

Résumé...Abstract...Resumen

R. GAUDIN, M. BROUWERS, J.-L. CHOPART — **L'eau utile et les caractéristiques hydrodynamiques des sols sous culture de canne à sucre.**

Les paramètres qui interviennent dans la définition de la réserve utile d'un sol, la profondeur d'enracinement et les humidités volumiques au point de flétrissement et à la capacité de rétention, sont obtenus par des protocoles qui ne sont pas spécifiques de la canne. Une attention particulière est donnée aux méthodes de détermination de la capacité de rétention et aux représentations de Marcesse et de Féodoroff. L'enracinement important de la plante conduit souvent à considérer la tranche 0-2 m pour évaluer la réserve utile. Les transferts d'eau sous canne peuvent être quantifiés grâce à la loi de Darcy généralisée aux milieux insaturés. Le flux est le produit de K(Θ), conductivité hydraulique fonction de l'humidité volumique, par le gradient de charge hydraulique. Ces flux sont le plus souvent verticaux à grande profondeur. Ce n'est pas toujours le cas près de la ligne de cannes car la base des tiges est une zone privilégiée d'infiltration de l'eau captée et orientée par les feuilles et les tiges qui fonctionnent comme un entonnoir.

Mots-clés : réserve utile, *Saccharum,* enracinement, capacité au champ, capacité de rétention, conductivité hydraulique.

R. GAUDIN, M. BROUWERS, J.-L. CHOPART — **Useful water and soil hydrodynamic characteristics under sugarcane cultivation.**

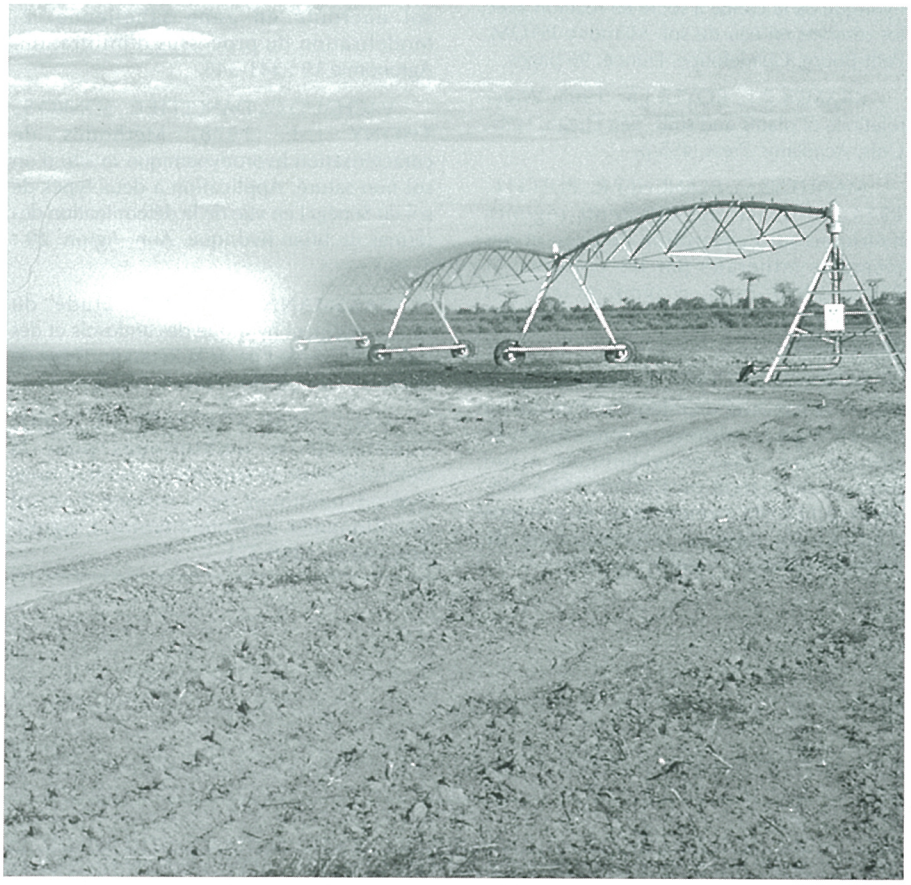
The parameters used to define the available reserve of a soil, depth of rooting and soil water contents at wilting point and retention capacity, are obtained using protocols that are not specific to sugarcane. Particular attention is paid to methods for determining retention capacity and to Marcesse's and Feodoroff's representations. The plant's extensive root system often means that it is the 0-2 m layer that is considered when evaluating the available reserve. Water transfers under sugarcane can be identified using Darcy's law, extended to unsaturated media. Water flow is the product of K(Θ), hydraulic conductivity, which is a function of volumetric soil moisture, and hydraulic gradient. These flows are generally vertical, and very deep down. This is not always the case near a row of sugarcane, since the base of the stem is a prime site for infiltration of the water collected and channelled by the leaves and stems, which act as a funnel.

Keywords: available reserve, *Saccharum,* rooting, field capacity, retention capacity, hydraulic conductivity

R. GAUDIN, M. BROUWERS, J.-L. CHOPART — **El agua útil y las características hidrodinámicas de los suelos con cultura de caña de azúcar.**

Los parámetros que intervienen en la definición de la reserva útil de un suelo: la profundidad de enraizamiento y las humedades volumétricas en el punto de marchitamiento y en capacidad de retención, se obtienen mediante protocolos que no son exclusivos de la caña. Se concede una atención especial a los métodos de determinación de la capacidad de retención y a las representaciones de Marcesse y Feodoroff. El importante enraizamiento de la planta hace que, frecuentemente, se considere el tramo 0-2 m para evaluar la reserva útil. Las transferencias de agua bajo la caña pueden cuantificarse gracias a la ley de Darcy generalizada en medios insaturados. El flujo es el producto de K(Θ), conductividad hidráulica función de la humedad volumétrica, por el gradiente de carga hidráulica. Estos flujos son, a menudo, verticales a gran profundidad. Esto no ocurre siempre así cerca de la línea de cañas ya que la base de los tallos es una zona privilegiada de infiltración de agua que es captada y dirigida por hojas y tallos que funcionan como un embudo.

Palabras clave: reserva útil, enraizamiento, capacidad de campo, capacidad de retención, conductividad hidráulica.



Système pivot
(Analaiva, Madagascar).
(© Cirad)