

Le pilotage de l'irrigation de la canne à sucre par tensiomètres

Au cours des deux dernières décennies, la culture de la canne à sucre a été largement développée en zone semi-aride, à la suite de la réalisation de grands aménagements hydrauliques. La gestion optimale de l'irrigation est un objectif majeur d'un point de vue économique, pour la rentabilité durable de rendements élevés. Dans ce but, le périmètre sucrier de la SIRANALA, à Madagascar, a expérimenté la conduite de l'irrigation par tensiomètres.

Le périmètre sucrier de la SIRANALA est situé sur la côte ouest de Madagascar, près de la ville de Morondava (figure 1). Dans les années 70, cette région a bénéficié d'un aménagement hydraulique permettant l'irrigation d'environ 20 000 hectares. La Société d'aménagement de la vallée de la Morondava (SODEMO), en collaboration avec le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD, France), le Laboratoire des radio-isotopes d'Antananarivo et le Centre national de la recherche appliquée au développement rural de Madagascar (FOFIFA), a conduit les études agronomiques et pédologiques nécessaires pour la mise en culture de ces terres (SODEMO, 1982). De nombreuses



Figure 1. Le périmètre sucrier de la SIRANALA à Madagascar.

données techniques, relatives notamment aux ressources en eau et à l'aptitude des sols à l'irrigation, sont ainsi disponibles pour mener à bien les projets de développement de cette région. Le complexe agro-industriel sucrier de la SIRANALA a été mis en place dans les années 80 et y occupe aujourd'hui 2 400 hectares, entièrement irrigués en aspersion par rampes pivotantes.

P. ORIOL
CIRAD-CA,
station de Roujol,
97170 Petit-Bourg,
Guadeloupe
M. RAPANOELINA
BP 176, Morondava,
Madagascar
R. GAUDIN
laboratoire
des radio-isotopes,
BP 3383, Antananarivo,
Madagascar

Les conditions naturelles

Le climat semi-aride et les sols profonds et filtrants de la région sont globalement très favorables à la culture de la canne à sucre, à condition d'irriguer pendant la saison sèche.

Un fort potentiel de rendement mais des besoins en eau élevés

Le climat, de type tropical semi-aride, présente de nombreux atouts pour la croissance et la maturation de la canne à sucre : un fort ensoleillement, des températures élevées, mais aussi des écarts importants entre les températures journalières maximales et minimales à la récolte (figure 2).

Le potentiel de rendement y est particulièrement fort dans la mesure où le déficit pluviométrique est comblé par l'irrigation. Les rendements moyens observés sur le périmètre sucrier de la SIRANALA dépassent en effet 100 tonnes de canne à l'hectare pour un cycle de douze mois, soit plus de 8,5 tonnes de canne par hectare et par mois de végétation. Le déficit hydrique est estimé entre 1 000 et 1 300 millimètres d'eau selon les cycles de culture. L'irrigation reste le facteur prépondérant du rendement et doit être pratiquée pendant les huit mois de saison sèche (tableau 1).

Des sols profonds et filtrants

La culture de la canne à sucre est implantée sur une terrasse alluviale ancienne constituée de sables roux classés dans les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés (figures 3 et 4). Ces sols profonds sont limités par la présence d'une nappe phréatique entre 4 et 6 mètres de profondeur. Leur texture est limono-sableuse à sablo-limoneuse sur l'ensemble du profil. La granulométrie, constituée de 80 % de sables, et l'absence de discontinuité leur confèrent une forte perméabilité (350 à 400 millimètres par heure) et une grande aptitude au drainage (MARINI *et al.*, 1976 ; RABOTSY et RAKOTOVAO, 1976 ; LANGELLIER, 1986).

La faible réserve utile en eau, inférieure à 10 % en volume de sol, est compensée par une exploration racinaire dense et profonde. Il n'est pas rare d'observer de grosses racines ramifiées jusqu'à plus de deux mètres de profondeur. La capacité de stockage en eau reste difficile à évaluer en raison du fonctionnement hydrodynamique particulier des

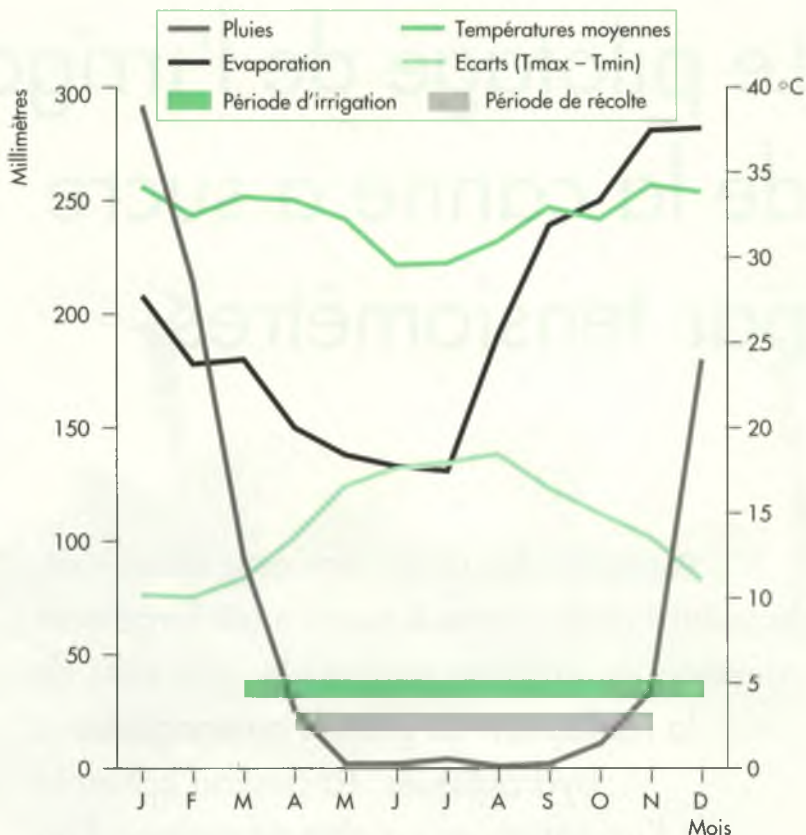


Figure 2. Les données météorologiques moyennes et les périodes de récolte et d'irrigation de la canne à sucre (SIRANALA, 1987).

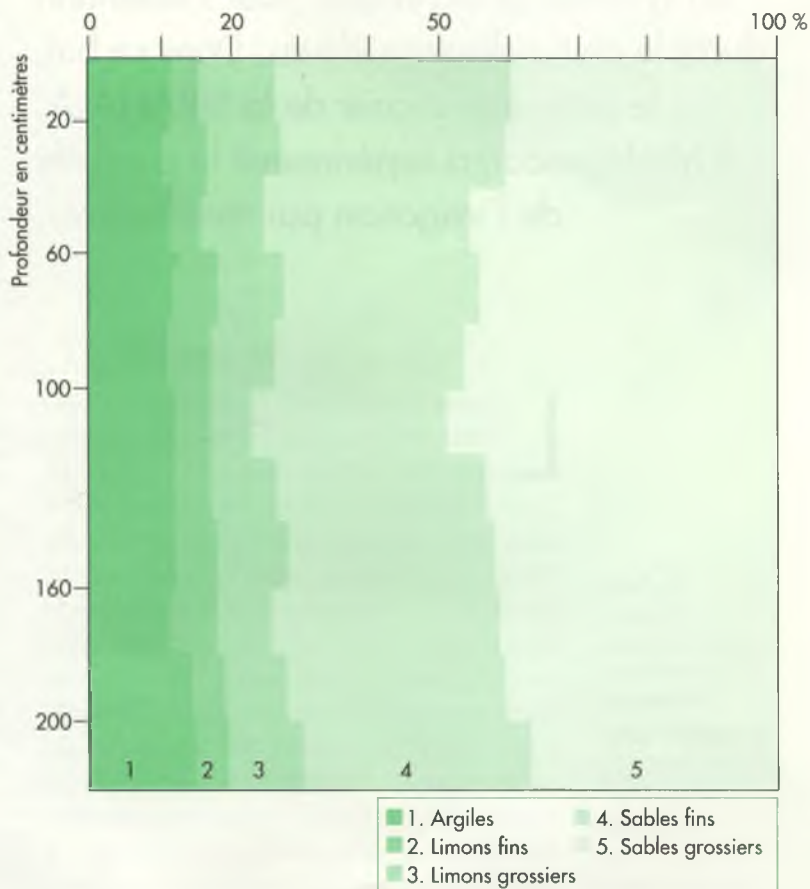


Figure 3. Profil granulométrique typique des sables roux (données obtenues à Analava, d'après RABOTSY et RAKOTOKAO, 1976).



Une batterie de tensiomètres.
Cliché P. Oriol

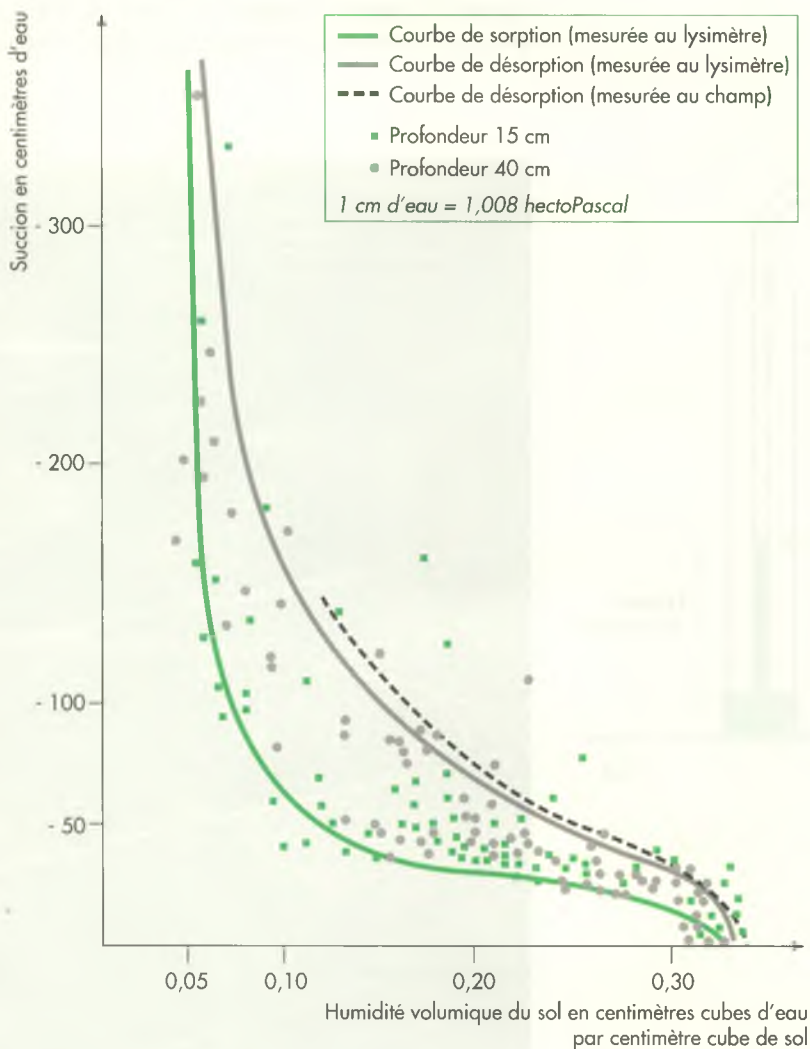


Figure 4. Caractéristiques hydrodynamiques des sables roux (données obtenues *in situ* et sur sol remanié, d'après MARINI *et al.*, 1976).

Tableau 1. Données météorologiques du périmètre sucrier de la SIRANALA (moyennes annuelles sur 15 ans).

Pluviométrie (millimètres)	895
Evaporation du bac « classe A » (millimètres)	2 535
Température maximale (°C)	32,4
Température minimale (°C)	18,2
Ecart journalier au mois de juillet (°C)	17,9
Insolation (heures)	2 976

sables roux. JOURDAN (1983) a montré l'existence de percolations importantes quelle que soit la teneur en eau du sol (humidité du sol), comprise entre les limites inférieure et supérieure de la réserve en eau facilement utilisable. Le flux de percolation, mesuré sur une tranche de sol de 100 centimètres, varie de 4 millimètres par jour en sol ressuyé à 1 millimètre par jour à l'épuisement de la réserve facilement utilisable (MARCESSE, 1967). Il apparaît ainsi que la fonction de stockage en eau de ces sols est réduite par rapport à la fonction de transfert d'eau, qui se traduit par la présence d'importants flux hydriques à tous les niveaux d'humidité du sol jusqu'à l'approche du point de flétrissement.

Le suivi des mouvements de l'eau dans le sol

Les études préliminaires ont permis d'envisager un pilotage de l'irrigation à l'aide du bilan hydrique simulé par le logiciel BIPODE (FOREST, 1984). Certains termes en sont relativement bien connus : les données climatiques et les coefficients culturaux, calés sur les mesures du bac d'évaporation classe A. En revanche, le drainage demeure une donnée hypothétique qu'il convient de minimiser par le choix d'une dose d'arrosage appropriée. Celle-ci doit toutefois être suffisante pour humidifier le sol, non seulement en surface mais aussi en profondeur, et pour que l'enracinement de la canne à sucre soit assez profond (BARAN *et al.*, 1974). A ce titre, certaines parcelles ont été équipées de tensiomètres permettant de suivre la profondeur d'humectation (figure 5).

Les limites de la simulation du bilan hydrique

Il est ainsi apparu que, si la simulation du bilan hydrique représentait bien la réalité

pour un sol en phase d'humectation, un décalage se produisait rapidement pour un sol bien alimenté en eau ou en cours d'assèchement (figure 6). En effet, lorsque la réserve en eau du sol est partiellement ou totalement reconstituée, le bilan hydrique sous-estime les variations de l'état hydrique du sol. Dans la pratique, la gestion de l'irrigation par simulation du bilan hydrique peut provoquer un flétrissement (cas de la figure 6). Inversement, elle peut conduire à une irrigation excessive, si l'on cherche à maintenir la tranche de sol concernée en condition humide par une compensation « aveugle » des pertes par percolation.

Ainsi, l'intensité de la circulation de l'eau dans les sables roux conduit à considérer l'état de la réserve du sol de façon plutôt dynamique que statique. Un dispositif d'étude des mouvements de l'eau dans le sol par tensiométrie a donc été envisagé par le Laboratoire des radio-isotopes, dans le but d'établir des cartes de potentiel hydrique du sol sous culture de canne à sucre.

L'utilisation des tensiomètres

La tensiométrie permet de déterminer les gradients de potentiel hydrique et ainsi d'évaluer le sens et l'intensité des flux d'eau dans les sols (loi de DARCY généralisée). Les cartes de potentiel hydrique ont été obtenues à l'aide de cinq batteries de tensiomètres, disposés perpendiculairement aux lignes de plantation. Les potentiels hydriques sont mesurés à des profondeurs variant de 25 à 200 centimètres, afin de suivre les flux aussi bien dans la zone racinaire que dans la région sous-jacente (GAUDIN, non publié). Les figures 7, 8 et 9 montrent des profils hydriques caractéristiques d'un sol irrigué et cultivé en canne à sucre, à différents stades de développement.

Descente du front d'humectation et croissance racinaire

Après la coupe réalisée en sol sec, l'irrigation assure le départ de la jeune repousse de canne. La figure 7 représente un sol en cours d'humectation d'une repousse âgée d'un

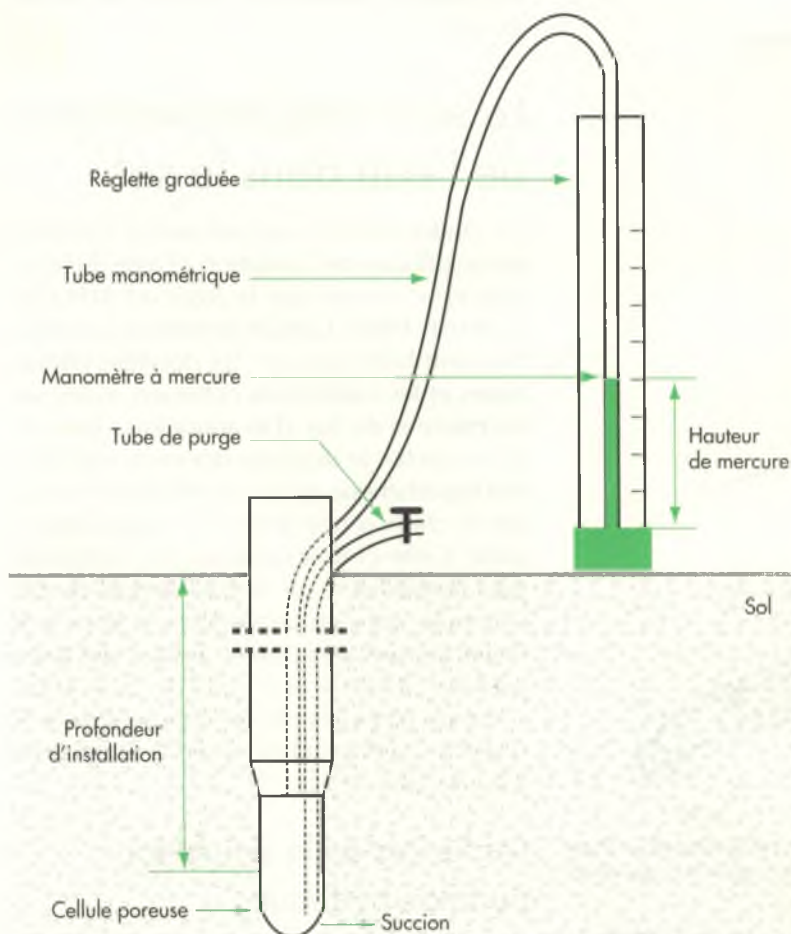


Figure 5. Schéma d'un tensiomètre.



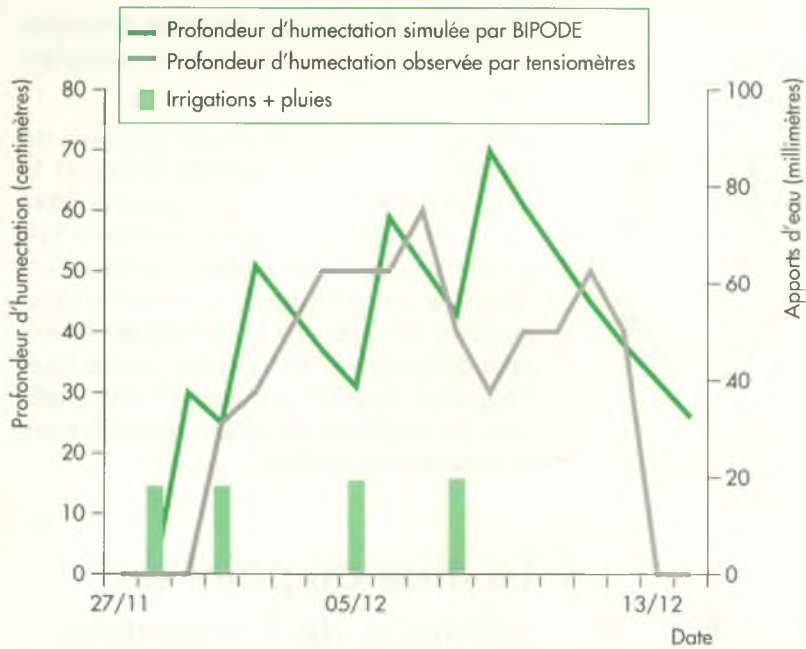


Figure 6. Suivi des réserves en eau du sol par simulation du bilan hydrique et par tensiomètres, du 27 novembre au 13 décembre 1988 (périmètre de la SIRANALA).

Vue d'avion de quelques parcelles du périmètre sucrier de la SIRANALA.

Cliché R. Fauconnier



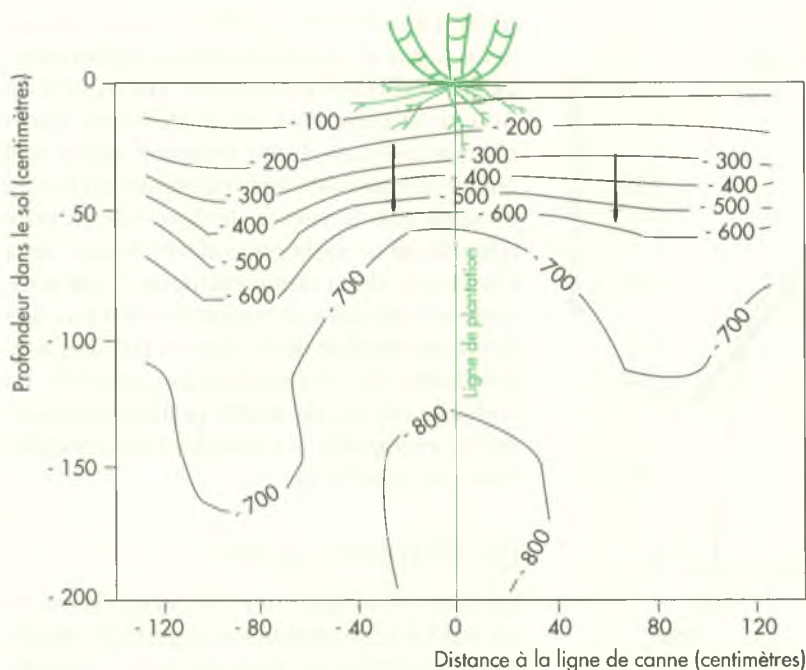
mois. Le sol est humidifié de façon homogène jusqu'à 50 centimètres de profondeur. Le front d'humectation est très actif à ce niveau et progresse en profondeur après chaque arrosage. Cette situation idéale doit autant que possible être maintenue en faisant en sorte que la vitesse de descente du front d'humectation reste équivalente à celle de la croissance du système racinaire. Tout arrosage excédentaire se traduit en effet par une descente sensible de ce front et par une augmentation des risques de percolation. La recharge en eau du profil, pratique couramment préconisée, est fortement déconseillée dans ces conditions.

Pas d'irrigation excessive

La figure 8 indique une descente excessive du front d'humectation sur la parcelle décrite précédemment, un mois plus tard. Ce profil hydrique a été obtenu après plusieurs irrigations successives destinées à alimenter en eau les horizons de surface. Le front d'humectation, situé à environ 150 centimètres de profondeur, a largement dépassé la zone racinaire et des percolations apparaissent. L'irrigation a été excessive et les pertes en eau sont importantes. Cette situation survient rapidement après une succession d'arrosages, lorsqu'aucun suivi de l'humidité du sol n'a été réalisé. Des tensiomètres installés aux profondeurs adéquates permettront d'éviter ou de limiter les pertes en eau.

La stabilisation du profil hydrique

Dans le cas d'une culture de canne plus âgée, la présence d'une importante végétation aérienne et d'un système racinaire fortement développé modifie la dynamique de l'eau en surface et en profondeur. La figure 9 montre un profil hydrique stabilisé obtenu sous une culture de canne de neuf mois, après la saison des pluies. Les courbes des potentiels hydriques sont influencées par la position de la tige et du système racinaire (plantation en lignes) et traduisent une hétérogénéité latérale dans le profil hydrique. Le feuillage collecte en grande partie l'eau d'aspersion, qui s'infiltré alors de préférence au niveau des tiges, c'est-à-dire sur la ligne de plantation. Ce phénomène est accentué par la culture en creux, effectuée en fond de sillon (FAUCCONNIER, 1991). A ce stade, les risques de percolation sont réduits à la fois par l'absorption racinaire et par l'existence de transferts hydriques latéraux vers



Note : les potentiels hydriques, mesurés en hectoPascals, ont par définition une valeur négative car il s'agit d'une succion.

Figure 7. Courbes des potentiels hydriques (mesurés en hectoPascals) sous repousse de canne à sucre âgée d'un mois. Les flèches indiquent les zones de transfert hydriques intenses (SIRANALA, le 26 juillet 1988).

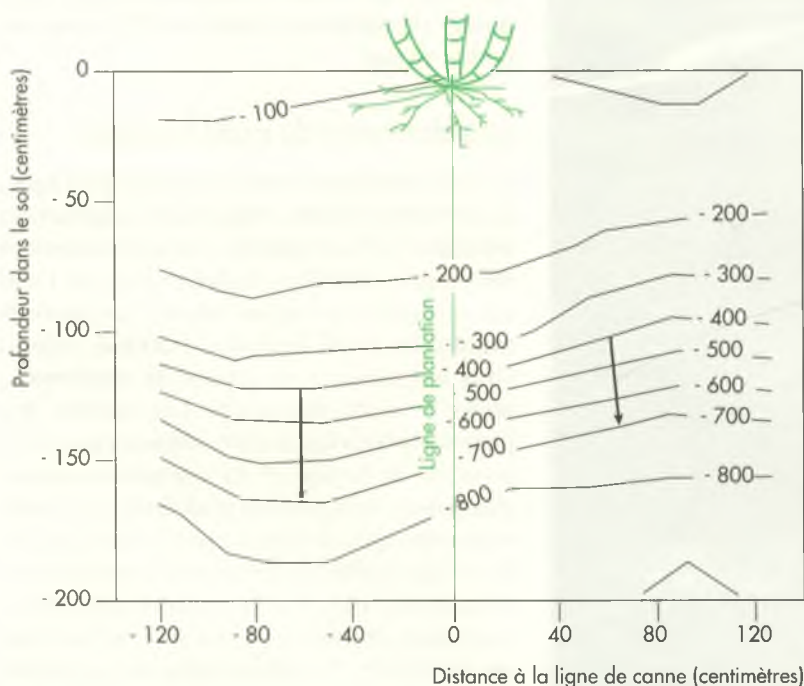


Figure 8. Courbes des potentiels hydriques (mesurés en hectoPascals) sous la même repousse de canne à sucre âgée de deux mois. Les flèches indiquent les percolations qui apparaissent en dessous de 1 mètre (SIRANALA, le 27 août 1988).

l'interligne. Par ailleurs, de fortes remontées capillaires sont observées en fin de saison des pluies.

C'est un profil caractéristique indiquant un équilibre entre les apports d'eau et la consommation de la plante. Cet équilibre demeure néanmoins fragile car toute irrigation incontrôlée fait évoluer le profil vers la situation de la figure 8. Un tel fonctionnement, du réservoir en eau qu'est le sol, peut difficilement être pris en compte dans l'équation du bilan hydrique et peut expliquer les importants décalages constatés entre la simulation et la réalité.

La mise au point du pilotage de l'irrigation par tensiomètres

Equipées en rampes pivotantes autonomes, les parcelles du périmètre de la SIRANALA bénéficient d'un arrosage d'utilisation souple (déclenchement à la demande) et régulier le long de la rampe. Bien qu'elles soient étendues (70 hectares), ces parcelles présentent une bonne homogénéité du point de vue de leur fonctionnement hydrodynamique et de



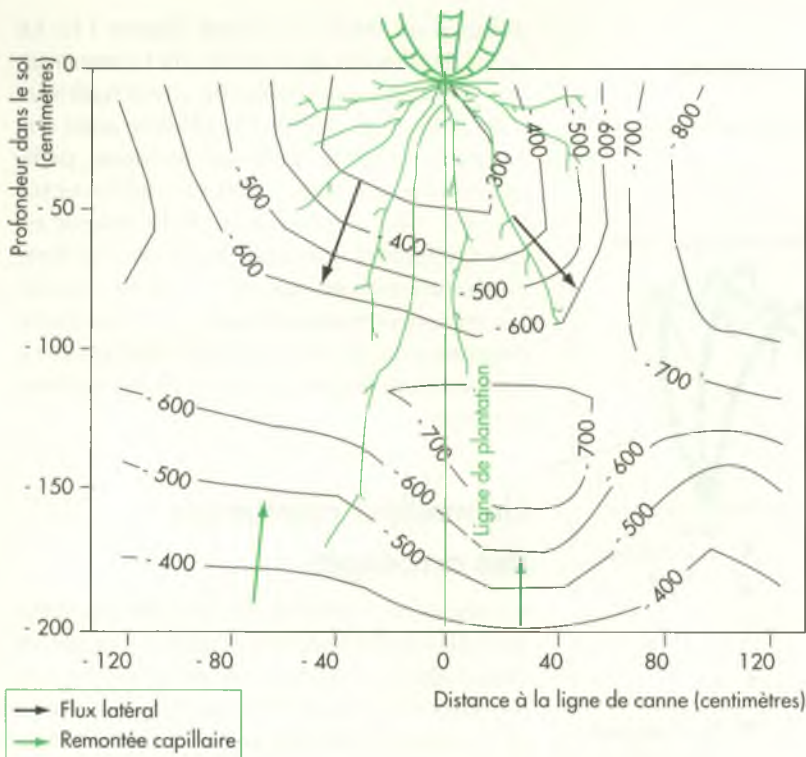


Figure 9. Courbes des potentiels hydriques (mesurés en hectoPascals) sous repousse de canne à sucre âgée de neuf mois, après la saison des pluies. Les gradients de potentiels hydriques indiquent des flux latéraux vers l'interligne, ainsi que des remontées capillaires à 2 mètres de profondeur (SIRANALA, le 4 avril 1989).

Irrigation par rampe pivotante sur jeune plantation de canne à sucre (périmètre de la SIRANALA).

Cliché R. Fauconnier



leur état hydrique. L'uniformité texturale du sol ainsi que la qualité de l'arrosage par rampe pivotante garantissent la fiabilité des mesures (GAUDIN et RAPANOELINA, 1991). De plus, les études tensiométriques préliminaires ont permis d'acquérir une bonne connaissance du fonctionnement des tensiomètres dans ces sols. Les facilités d'installation et d'entretien des tensiomètres, associées à une organisation efficace du personnel responsable de l'irrigation, ont conduit à expérimenter le pilotage de l'irrigation des parcelles par tensiomètres (SIRANALA, 1987).

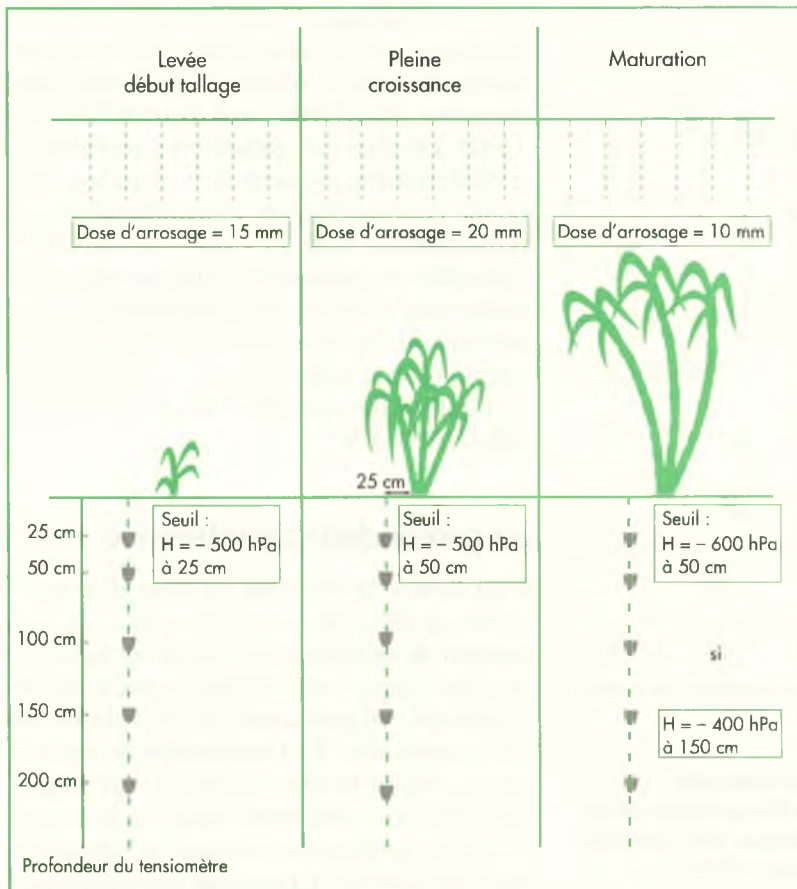
La profondeur de référence

Pour limiter la descente du front d'humectation au début du cycle de culture, la profondeur de référence est choisie en fonction du développement racinaire. Le calcul de l'arrosage s'appuie ainsi sur les valeurs du tensiomètre situé à 25 centimètres de profondeur pendant les deux premiers mois, puis sur celles du tensiomètre placé à 50 centimètres de profondeur lorsque la plante est bien développée. En période de maturation, les tensiomètres profonds sont sollicités pour tenir compte des éventuelles remontées capillaires ou pour rechercher un profil progressivement sec.

Le déclenchement de l'arrosage

La dose d'arrosage dépend du stade de développement de la culture, passant de 15 millimètres au début du cycle (levée et tallage) à 20 millimètres à la pleine croissance (cannaison), puis réduite à 10 millimètres lors de la maturation. Le déclenchement de l'arrosage est alors déterminé par une batterie de cinq tensiomètres placés près de la ligne de canne, aux profondeurs de 25, 50, 100, 150 et 200 centimètres. Ce dispositif permet de contrôler l'humidité du sol dans la zone racinaire et d'observer les transferts d'eau verticaux mis en évidence par le gradient de potentiel hydrique (figure 10).

Le seuil de déclenchement de l'arrosage a été choisi a priori au potentiel hydrique total de 500 hectoPascals, mesuré par le tensiomètre situé à la profondeur de référence. Cette valeur, correspondant au point d'inflexion des courbes d'évolution du potentiel hydrique en période d'assèchement, annoncerait l'amorce d'une baisse de la consommation en eau par unité de temps et donc le



H : potentiel hydrique, en hectoPascal.

Figure 10. Consignes de pilotage de l'irrigation par tensiomètres (périmètre de la SIRANALA).

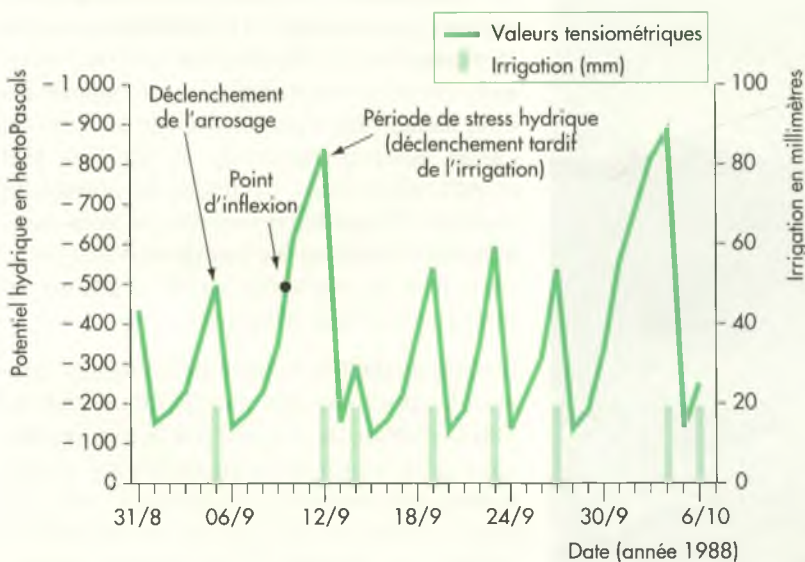


Figure 11. Séquences d'arrosage et potentiel hydrique à 25 centimètres de profondeur, du 31 août au 6 octobre 1988 (SIRANALA, 1988).

début d'un stress hydrique (figure 11). Le point d'inflexion apparaît en effet comme un bon indicateur de début de stress hydrique (GAUDIN *et al.*, 1990). On observe aussi une variation rapide du potentiel hydrique, particulièrement entre - 400 et - 600 hecto-Pascals, liée à la faiblesse de la réserve en eau facilement utilisable du sol et à la forte consommation en eau de la canne à sucre. Les mesures tensiométriques, réalisées quotidiennement *in situ*, permettent d'ajuster à tout moment les irrigations selon les données obtenues.

Un meilleur ajustement des arrosages

Ce dispositif a été testé depuis 1988 sur deux parcelles de 70 hectares, équipée chacune de deux batteries de tensiomètres. 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, pour un arrosage réduit de 20 % par rapport aux parcelles dont les besoins en eau ont été estimés par simulation du bilan hydrique (tableau 2).

L'économie en eau ainsi réalisée est due en partie à un meilleur contrôle des percolations en profondeur grâce aux tensiomètres, en particulier au début du cycle de la culture ou après la saison des pluies. De plus, les éventuelles remontées capillaires sont prises en compte et contribuent, à un niveau difficile à évaluer précisément, à amoindrir les apports en eau d'irrigation (KATERJI *et al.*, 1984). La réduction des percolations a aussi un effet bénéfique sur la fertilité du sol en diminuant le lessivage des éléments minéraux.

Ce résultat ne permet toutefois pas d'affirmer que le potentiel de rendement a été sauvegardé. Une étude en cours des conditions précises de l'apparition d'un stress hydrique et de ses effets sur la production de canne à sucre devrait compléter ces travaux (RAPANOELINA, 1992).

Conclusion

Cette expérimentation entreprise par le complexe sucrier de la SIRANALA est une illustration des applications possibles des recherches agronomiques menées dans le cadre d'un projet d'aménagement de la vallée de la Morondava à Madagascar.

Tableau 2. Comparaison des résultats de l'irrigation pilotée par tensiomètres et par la simulation du bilan hydrique (périmètre sucrier de la SIRANALA, résultats 1989).

Mode de pilotage	Nombre de parcelles	Surface (hectares)	Rendement en canne (tonnes par hectare et par mois)	Arrosage (millimètres)
Tensiomètres	2	140	9,0	847
Bilan hydrique	21	1 470	8,1	1 083

Les données scientifiques disponibles ont contribué à la mise au point d'une technique adaptée à la conduite de l'irrigation de la canne à sucre dans cette zone.

De nombreux facteurs concourent à la mise en application de la technique du pilotage de l'irrigation par tensiomètres sur l'ensemble du périmètre : l'homogénéité des caractéristiques physico-chimiques des sols (sables roux), la facilité d'installation et d'utilisation des tensiomètres dans ce type de sols, la souplesse de fonctionnement des rampes pivotantes autonomes, la présence d'un service de maintenance technique de l'irrigation performant.

Le développement du système d'irrigation par rampes pivotantes dans différentes régions du monde, notamment sur les sols ferrugineux africains, pourrait justifier une extension adaptée de cette démarche.

Début de tallage après levée de la canne à sucre (périmètre de la SIRANALA).

Cliché R. Fauconnier



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 Technol. 15 : 726-735.

FAUCONNIER R., 1991. La canne à sucre. Paris, France, éditions Maisonneuve et Larose, 165 p.

FOREST F., 1984. Présentation et utilisation du logiciel BIPODE. Montpellier, France, CIRAD-IRAT, 63 p.

GAUDIN R., RAPANOELINA M., ORIOL P., 1990. Rapport scientifique des études tensiométriques pour l'irrigation à la SIRANALA. Morondava, Madagascar, SIRANALA ; Antananarivo, Madagascar, Laboratoire des radio-isotopes, 42 p.

GAUDIN R., RAPANOELINA M., 1991. Oscillations de potentiel hydrique et irrigation : une mine de renseignements en sols légers. Exposé présenté aux quinièmes journées du GFHN à Aix-en-Provence (France). Montpellier, France, CIRAD-CA, 6 p.

JOURDAN O., 1983. Contribution à l'étude de la capacité de rétention des sols. Cas de deux sols malgaches. Thèse de doctorat, université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, France, 136 p.

KATERJI N., DAUDET F., VALANCOGNE C., 1984. Contribution des réserves profondes du sol au bilan hydrique des cultures, détermination et importance. Agronomie 4 (8) : 779-787.

LANGELLIER P., 1986. Complexe sucrier de la SIRANALA, session de formation à l'irrigation, éléments de base nécessaires à la compréhension de l'alimentation hydrique des plantes. Montpellier, France, CIRAD-IRAT, 22 p.

MARCESSE J., 1967. Détermination *in situ* de la capacité de rétention au moyen de l'humidimètre à neutrons. In comptes rendus du Colloque d'Istanbul de l'AIEASM 9414, p. 137-146. Vienne, Autriche, AIEA.

MARINI P., VILLEMEN P., JOURDAN O., 1976. Définition des propriétés hydrodynamiques des sols du périmètre sucrier d'Analaiwa. Antananarivo, Madagascar, Laboratoires des radio-isotopes, FOFIFA, 14 p.

RABOTSY N., RAKOTOVAO J., 1976. Etude pédologique pour l'implantation d'un complexe sucrier à Analaiwa-Morondava. Antananarivo, Madagascar, FOFIFA/CENRADERU, département de recherches agronomiques, 42 p.

RAPANOELINA M., 1992. Etude du comportement hydrique d'un couvert de canne à sucre cultivé en zone semi-aride par radiothermométrie, application à l'étude du stress hydrique. Projet de thèse en hydraulique et climatologie agricole. Rennes, France, ENSA, 15 p. + annexes.

SIRANALA, 1987. Rapport de campagne sucrière 1986. Morondava, Madagascar, SIRANALA, direction de l'exploitation agricole, 53 p.

SODEMO, 1982. Synthèse de l'expérimentation agronomique de 1973 à 1978. Analaiwa, Madagascar, station de recherches agronomiques d'Analaiwa, 96 p. + annexes.

Résumé... Abstract... Resumen

P. ORIOL, M. RAPANOELINA, R. GAUDIN —

Le pilotage de l'irrigation de la canne à sucre par tensiomètres.

Dans la zone semi-aride de la côte ouest de Madagascar, la conduite de l'irrigation sur le périmètre de culture de canne à sucre de la SIRANALA doit satisfaire un double objectif — garantir un potentiel de production élevé tout en minimisant les apports d'eau — par une gestion optimale des moyens d'arrosage. Le pilotage de l'irrigation par tensiomètres est comparé à la méthode classique du bilan hydrique. Il permet une économie d'environ 20 % des apports d'eau, du fait de la prise en compte des importants transferts hydriques qui ont lieu dans les sols du périmètre, du type des sables roux. Le pilotage par tensiomètres permet aussi d'éviter les excès d'arrosage en contrôlant la descente du front d'humectation, notamment au début du cycle de culture. Les réserves profondes en eau du sol sont mobilisées par la culture en fin de saison des pluies et les conditions de la maturation de la canne à sucre sont ainsi mieux maîtrisées. L'aspersion par rampes pivotantes se prête bien à ce type de pilotage en raison de sa grande souplesse de fonctionnement.

Mots-clés : canne à sucre, irrigation, tensiomètre, bilan hydrique, drainage, sol ferrugineux tropical, région semi-aride, Madagascar.

P. ORIOL, M. RAPANOELINA, R. GAUDIN —

Management of sugarcane irrigation using tensiometers.

In the semi-arid area on the west coast of Madagascar, irrigation of the SIRANALA sugarcane perimeter must both ensure a high production potential and keep water use to a minimum by optimising watering method management. Management of sugarcane irrigation using tensiometers is compared to the classic water balance method. It enables a saving of some 20% by taking into account the substantial water transfers in the red sand soils of the perimeter. Use of tensiometers also avoids over-watering by monitoring the descent of the moist zone, especially at the start of the cropping cycle. Deep water reserves are used by the crop at the end of the rainy season and sugarcane ripening conditions are thus controlled better. Sprinkling with pivot apparatus is a flexible watering method suited to this type of management.

Keywords: sugarcane, irrigation, tensiometer, water balance, drainage, little-leached ferruginous tropical soil, semi-arid region, Madagascar.

P. ORIOL, M. RAPANOELINA, R. GAUDIN — El control del riego de la caña de azúcar por tensiómetros.

En la zona semiárida de la costa occidental de Madagascar, la conducción de la irrigación en el perímetro de cultivo de caña de azúcar de la SIRANALA debe cumplir con un objetivo doble — garantizar un potencial de producción elevado minimizando las aportaciones de agua — mediante una gestión óptima de los medios de riego. Comparado con el método clásico del balance hidráulico, el control del riego mediante tensiómetros permite un ahorro aproximado del 20% de los aportes de agua, ya que se toman en cuenta las grandes transferencias hídricas que tienen lugar en los suelos del perímetro, del tipo de arenas rojas. El control por tensiómetros también permite evitar los excesos de riego verificando el descenso del frente de humectación, especialmente al principio del ciclo de cultivo. Las reservas profundas de agua en el suelo son movilizadas por el cultivo al final de la estación de lluvias y las condiciones de maduración de la caña de azúcar se controlan mejor de esta manera. La aspersión mediante rampas giratorias se presta muy bien a este tipo de control debido a su gran flexibilidad de funcionamiento.

Palabras clave: caña de azúcar, irrigación, tensiómetro, balance hídrico, drenaje, suelo ferruginoso tropical poco lixiviado, región semiárida, Madagascar.



Périmètre de SIRANALA. Drains de ceinture pour éviter l'entrée des bovins.

Cliché R. Fauconnier