

Stratégies de gestion des irrigations sur les vertisols de Guadeloupe

Caractéristiques des vertisols

Les vertisols couvrent 1,8 % de la surface terrestre, et 90 % des vertisols sont présents sous les tropiques. Ces sols sont une chance pour ces régions en raison de leur haute fertilité minérale. Cependant, ces sols argileux gonflants ne se forment que dans des zones tropicales et subtropicales à saison sèche marquée, de sorte qu'il n'est possible de tirer parti de leur fertilité potentielle qu'en y associant l'irrigation. Ils sont, sur ce plan, caractérisés par une très grande sensibilité à l'excès d'eau et une propension à l'asphyxie.

En Guadeloupe, la construction de réseaux d'irrigation en Grande-Terre, commencée dans les années 80, fut calée sur les besoins en eau des cultures et notamment de la canne à sucre (COMBRES, 1989) et sur des estimations classiques de réserve en eau facilement et difficilement utilisables. Les teneurs en eau très élevées, généralement trouvées sur des échantillons de sol prélevés dans la couche travaillée, et surtout dans la couche sous-jacente, ont conforté l'idée que les vertisols possèdent une capacité de rétention en eau telle, qu'irriguer se résumerait à n'apporter qu'un fort et ponctuel complément au sol en période de sécheresse marquée.

Une gestion des ressources en eau fondée sur ces bases de calcul et visant à remplir un réservoir sol supposé très grand a conduit à des erreurs

voire des échecs souvent dus à un excès d'irrigation. Il fallait donc mettre au point des techniques et des méthodes de gestion de l'irrigation adaptées à ces sols particuliers. Ce travail a été conduit en partenariat par l'Inra (Institut national de la recherche agronomique, France) et le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) avec le soutien de la Région Guadeloupe, de l'Etat français et de l'Union européenne.

Particularités de la disponibilité de l'eau dans les sols argileux gonflants

En réalité, le comportement des sols argileux gonflants avec l'eau diffère considérablement de celui plus classique et mieux connu des sols « indéformables » comme les sols ferrallitiques.

Dans les sols indéformables, la porosité représente un volume constant, subdivisé en microporosité capillaire (< 10 µm) où l'eau est fortement retenue, et macroporosité non capillaire où l'eau et l'air circulent aisément.

Irriguer revient à gérer un réservoir qui contient une réserve facilement utilisable (RFU) et une réserve difficilement utilisable. Le seuil de déclenchement d'un apport et la dose à

P. GUILLAUME

Cirad-ca, station de Roujol,
97170 Petit-Bourg, France
patrice.guillaume@cirad.fr

Y.-M. CABIDOCHÉ

Inra, unité Agropédologie
de la zone Caraïbe. Domaine Duclos,
97170 Petit-Bourg, France
cabidoch@antilles.inra.fr

fournir peuvent aisément être calculés par la méthode du bilan hydrique. L'irrigant peut aussi se caler sur un suivi direct (profil de teneur en eau) ou indirect (profil de potentiel) de l'état hydrique de ses sols pour déterminer les doses et les modalités d'apport en eau. Des outils de mesure en continu et non destructifs sont disponibles depuis de nombreuses années.

Dans les vertisols, une donnée particulière et fondamentale entre en jeu, la déformation des argiles en fonction de la teneur en eau. Les particules d'argiles constituent en effet une matrice poreuse comparable à une éponge dont le volume varie avec la teneur en eau. La porosité matricielle est toujours saturée en eau dans les conditions du champ (TESSIER, 1984). Toute perte d'eau provoque une perte égale de volume apparent. Ce phénomène de retrait en dessiccation induit l'ouverture de microfissures et l'affaissement du sol. Inversement, en période humide, l'eau s'engouffre dans les fentes de retrait dont une partie gagne la matrice qui gonfle du même volume. Les fissures se referment et le sol se soulève.

L'eau matricielle circule très lentement, 10^{-6} à 10^{-4} cm/heure (RUY et CABIDOCHÉ, 1998), dans des pores de l'ordre de 1 μm de diamètre peu connectés (TESSIER, 1984). Seules les plantes peuvent mobiliser cette eau sous les premiers centimètres de sol (RITCHIE et BURNETT, 1971). Cela a été confirmé par CABIDOCHÉ et VOLTZ (1988) sur un vertisol de Guadeloupe où aucune variation de teneur en eau matricielle n'est enregistrée au-delà de 20 cm de profondeur dans un sol désherbé en permanence.

Porosité structurale et réserve en eau facilement utilisable

Il existe un autre compartiment de porosité — distinct de la porosité matricielle — dont les variations de teneur en eau modifient peu la géo-

métrie (STIRK, 1954), appelé porosité structurale. L'eau y circule plus aisément (OZIER-LAFONTAINE et CABIDOCHÉ, 1995), dans un réseau de pores de plus de 6 μm de diamètre (CABIDOCHÉ et VOLTZ, 1995).

On a observé qu'un remplissage et une vidange de la porosité structurale (ni gonflement ni retrait) peuvent se produire au cours d'un cycle annuel de culture de canne à différentes épaisseurs des couches contrôlées, donc à différentes teneurs en eau matricielle (GUILLAUME, 1995). Simultanément, la vitesse de croissance (encadré 1) et le flux de sève sur canne à sucre sont maximaux tant que la plante ne sollicite pas la réserve en eau matricielle, c'est-à-dire tant qu'aucun retrait n'est enregistré (OZIER-LAFONTAINE et CABIDOCHÉ, 1995). Des travaux récents ont confirmé que le compartiment de porosité structurale peut se remplir ou se vider prioritairement et presque indépendamment de la teneur en eau matricielle (RUY, 1997).

Ainsi, le système de porosité structurale constitue une réserve en eau facilement utilisable pour les plantes contrairement à la porosité matricielle. C'est aussi le seul espace où l'air est présent dans le sol, à l'exception, transitoirement, des microfissures. Comme dans les sols indéformables, la réserve en eau est compartimentée en eau « matricielle » difficilement utilisable et en eau « structurale » facilement utilisable (réserve facilement utilisable, RFU). Cette RFU représente généralement entre 3 et 8 % du volume du sol.

Les méthodes de terrain disponibles

Il n'existe pas de méthode simple de terrain reliant teneur en eau du sol et disponibilité en eau pour les plantes dans les vertisols.

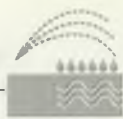
Les outils usuels, sonde à neutrons, méthodes fondées sur la résistivité,

TDR, tensiomètres sont inopérants en raison du retrait qui se produit très rapidement autour du tube de mesure. De plus, on ne sait pas, à partir de mesures de teneur en eau totale, dissocier l'eau structurale de l'eau matricielle. Autrement dit, il n'y a pas de relation univoque entre la teneur en eau totale et la disponibilité du réservoir en eau du sol.

Dans ces conditions, un calcul de bilan hydrique ne présente guère d'intérêt. Seul le positionnement du couple volume spécifique apparent et teneur en eau d'un échantillon dans une courbe de retrait préalablement établie pour le sol considéré permet de connaître l'état des réservoirs matriciel et structural à un instant donné.

On ne dispose d'aucune méthode non destructive de mesure en continu des teneurs en eau totale ou structurale dans les vertisols. Cependant, les variations de volume de prismes de sol (éléments massifs délimités par les microfissures) s'expliquant par les variations de leur teneur en eau matricielle, l'idée de construire un modèle reliant ces deux variables s'est imposée. Après avoir vérifié que les déformations sont identiques dans toutes les directions, le modèle a été validé en Guadeloupe (CABIDOCHÉ et VOLTZ, 1988). Il relie en réalité, non pas le volume total, mais l'épaisseur de couches de sol, en pratique plus facile à mesurer, et la teneur en eau matricielle. Des transducteurs de déplacement (brevet Inra, 1987, encadré 2), appelés THERESA (Transferts hydriques évalués par le retrait des sols argileux) permettent une mesure en continu non destructive d'épaisseur de couches de sol dont on déduit par calcul la teneur en eau matricielle (CABIDOCHÉ et OZIER-LAFONTAINE, 1995).

Cette mesure indirecte de la teneur en eau matricielle ne suffit pas pour évaluer le stock d'eau du sol dont la partie la plus intéressante pour l'agriculteur est le stock d'eau structurale. En revanche, ce procédé renseigne sur le début de la sollicitation de



l'eau contenue dans la matrice argileuse, dont il est confirmé qu'elle est peu disponible pour les plantes.

Stratégies de gestion de l'eau sur vertisol

Calage des apports à l'aide de THERESA

Au moyen des transducteurs THERESA, il est facile de déterminer, *in situ* et à tout moment, dans quel compartiment de porosité les racines des plantes puisent l'eau. De ce qui précède, il résulte que si l'eau est extraite de la porosité matricielle, ce qui induit un ralentissement de la croissance, un retrait sera transmis par THERESA. Une augmentation d'épaisseur indique inversement un stockage d'eau difficilement utilisable dans la matrice.

Sachant que la croissance est maximale tant que seule l'eau structurale est prélevée, gérer efficacement l'eau d'irrigation consiste essentiellement à assurer pour les plantes une disponibilité permanente d'eau structurale en prenant garde de ne jamais saturer le sol. Le principe de base du pilotage des matériels d'irrigation au moyen de THERESA revient donc à caler les apports de sorte qu'aucun mouvement des capteurs ne soit observé (figure 1).

Les apports en eau doivent évidemment être adaptés au volume de la porosité structurale, ainsi qu'à sa capacité de transfert. Une courbe de retrait (figure 2 ; OZIER-LAFONTAINE, 1992) donne une estimation du volume total de la porosité structurale. La morphologie des pores et leurs associations architecturales déterminent la qualité du système de porosité structurale en termes de facilité de transfert d'eau du sol vers les plantes. Des travaux récents (GUILLAUME, 1998) rendent possible un diagnostic qualitatif de la porosité structurale des sols grâce à l'interprétation de moulages tridimensionnels des

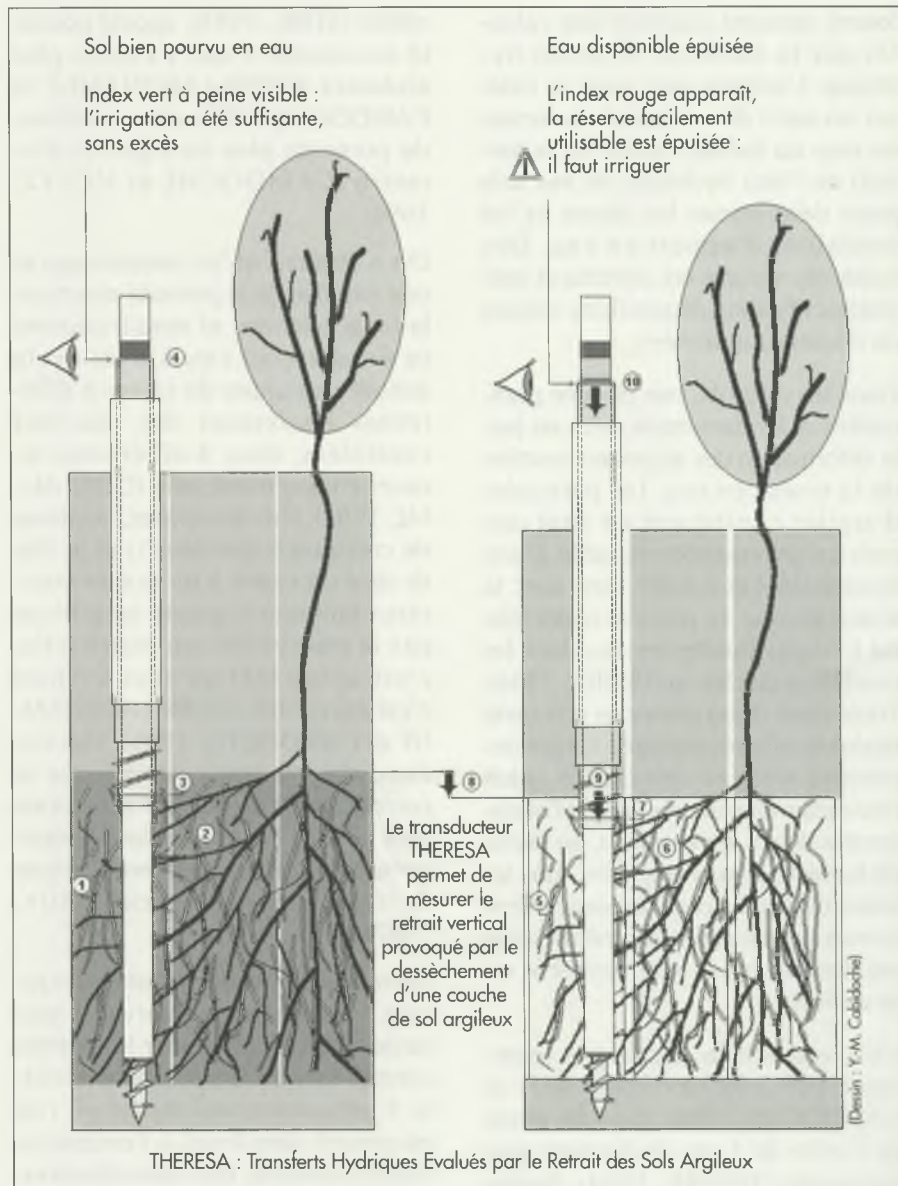


Figure 1. Principe de pilotage des irrigations des sols argileux gonflants avec le système THERESA.

- 1 - La porosité structurale contient de l'eau
- 2 - L'eau matricielle n'est pas consommée
- 3 - Les macrofissures sont un peu ouvertes et aèrent le sol
- 4 - L'index vert est visible, il n'est pas nécessaire d'irriguer
- 5 - Les pores structuraux sont vides d'eau
- 6 - L'eau matricielle commence à être extraite par les racines
- 7 - Les macrofissures s'ouvrent plus largement
- 8 - Un retrait vertical se produit
- 9 - Le tube externe du capteur descend avec le retrait
- 10 - L'index rouge apparaît, il faut irriguer

vides structuraux par une résine polyester (CABIDOCHÉ et GUILLAUME, 1998).

Cet ensemble de données et d'observations permet de limiter la période de tâtonnement où, par approches successives en faisant

varier les doses et les fréquences d'apport suivies par THERESA, on finit par caler les paramètres de réglage des matériels d'irrigation utilisés.

C'est ainsi qu'une porosité associant en continu non seulement

des vides de grand volume, mais aussi de fonctionnalités complémentaires, offre le maximum de potentiel productif et la plus grande souplesse de gestion des matériels d'irrigation. La présence de méats ou pores tubulaires de gros diamètre assure une bonne circulation d'air et diminue le risque de saturation. Des fissures à parois gaufrées isolées ou mieux des pores en amas spongieux stockent une eau structurale abondante et très accessible à laquelle de nombreux tubes filamenteux ajoutent un supplément de réserve qui retarde la sollicitation d'eau matricielle.

Les matériels d'irrigation

Dans ces conditions une large gamme de matériels d'irrigation — systèmes d'aspersion à faible pluviométrie horaire en couverture intégrale ou par pivot jusqu'à des systèmes d'irrigation localisée (goutte à goutte et dérivés) — peut aisément être pilotée avec THERESA. On déclenche une irrigation dès qu'un retrait apparaît et l'on peut apporter sans risque de saturation, donc d'asphyxie, une dose correspondant à la couverture de plusieurs jours des besoins en eau des plantes.

Une bonne qualité de la porosité structurale est un atout majeur dans les milieux insulaires comme la Guadeloupe où les pluies sont imprévisibles tant en quantité que dans le temps et l'espace. Il est utile que le sol puisse absorber un apport imprévu sans devenir immédiatement asphyxiant. C'est pourquoi, il est recommandé de ne jamais recourir à des appareils d'arrosage qui délivrent de très fortes doses dans des temps courts.

Adapter l'apport d'eau à l'état structural du sol

En revanche, il n'est pas rare que le système de porosité structurale des vertisols soit altéré en raison du passage de tracteurs et d'outils de préparation du sol en conditions trop

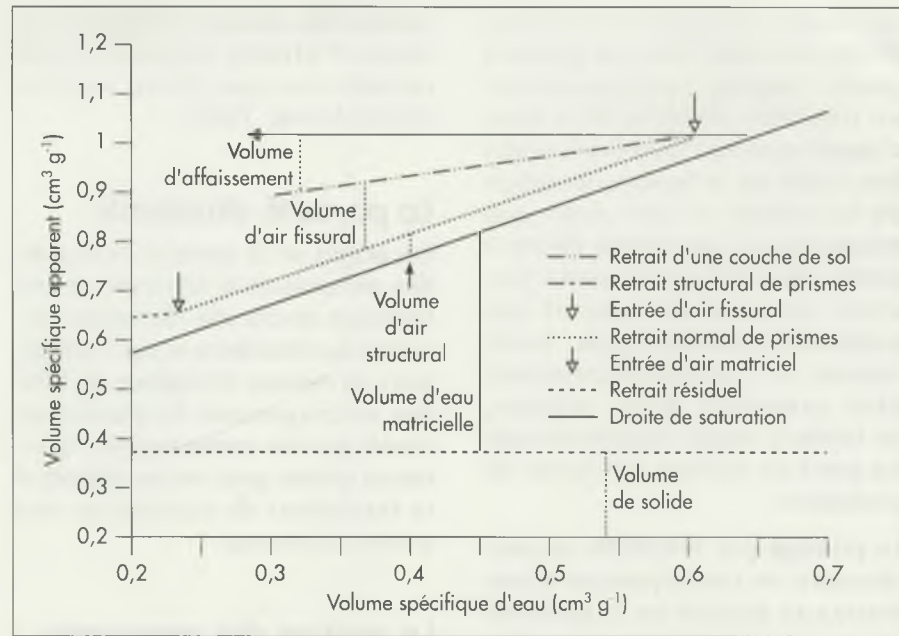


Figure 2. Courbe type de retrait d'un vertisol (GUILLAUME, 1998).

Les vertisols sont des milieux déformables, caractérisés par des systèmes de porosité de taille et de fonctionnement hydrique différents (OZIER-LAFONTAINE, 1992). L'étude de leur fonctionnement hydrodynamique rencontre deux difficultés :

- d'un point de vue théorique, la loi de Darcy n'est valable que pour les milieux rigides ; son domaine d'application macroscopique n'est pas valide dans le cas des sols argileux gonflants. Il faudrait donc définir un système de référence sur lequel on pourrait appliquer la loi de Darcy localement ;
- la forte hétérogénéité spatiale des teneurs en eau à l'échelle décimétrique implique de prendre en compte les flux tridimensionnels. Elle rend également difficile une mesure synthétique de la conductivité hydraulique, liée à l'échelle de porosité à laquelle on se place.

Dans les sols riches en argiles gonflantes, les variations de volume engendrées par les variations d'humidité ont pour conséquence une réorganisation géométrique du matériau, qui donne lieu à des fissurations (composante horizontale) et à des affaissements (composante verticale du retrait). La fissuration correspond à la création d'un espace poral, qui se traduit par une modification qualitative mais non quantitative de la porosité du sol. L'affaissement résulte de la réorganisation du solide à la suite du retrait vertical, associé à une diminution de la porosité du sol par réduction de son épaisseur.

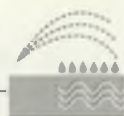
Pour décrire les variations de volume liées aux variations de teneur en eau, on a recours aux courbes de retrait. Cette représentation met en évidence trois phases :

- le retrait structural. Il débute aux fortes teneurs en eau et résulte de la vidange de l'eau contenue dans les macropores, qui se traduit par une perte en eau supérieure à la diminution de volume de l'agrégat ;
- le retrait normal. Durant cette phase, la diminution de volume des agrégats est équivalente à la perte en eau ;
- le retrait résiduel. Il se produit en fin de dessèchement, et correspond à un phénomène d'entrée d'air causé par la formation de fissures dans les agrégats.

humides. Les pores tubulaires fins ainsi que les fissures gaufrées sont écrasés laissant une porosité monoforme, constituée de méats polyédriques et de réseaux cellulaires de vides plans. Si l'aération du milieu reste bonne, la rétention d'eau struc-

turale est réduite forçant les plantes à puiser très rapidement l'eau contenue dans la matrice.

Il est, dans pareil cas, malaisé de mettre en place une stratégie de pilotage qui ne sollicite que la seule réserve d'eau structurale tant celle-ci



est faible. Le choix de systèmes d'irrigation lente, de type goutte à goutte s'impose, car ils autorisent un très bon contrôle de la dose d'apport qui devra impérativement être calée sur le besoin quotidien de la culture. Il n'en reste pas moins que si l'on irrigue même à petite dose dès qu'un retrait survient, on court le risque d'une asphyxie à la moindre pluie. Inversement, si l'on attend un retrait plus prononcé pour irriguer, on limite le risque d'asphyxie mais on perd un certain potentiel de croissance.

Le pilotage par THERESA ne peut résoudre les conséquences d'une mauvaise qualité de la porosité structurale de sols mal travaillés, mais au moins est-il possible de limiter les excès d'eau responsables de chute de rendement tout aussi spectaculaires que celle provoquée par un déficit hydrique. Sur une culture de tomate, par exemple, l'asphyxie provoque un flétrissement de la plante identique à celui dû à une sécheresse, qui pousse l'agriculteur à irriguer plus et à s'enfermer ainsi dans un cercle vicieux.

Conclusion

Amélioration du pilotage de l'irrigation

Le pilotage des irrigations sur vertisols au moyen d'observations simples et quotidiennes des variations d'épaisseur de couches offre aux agriculteurs la possibilité de suivre eux-mêmes et en permanence l'évolution du statut hydrique de leur sol. Cette compréhension leur permet d'agir à bon escient sur chacune de leurs parcelles.

Il leur est possible d'ajuster tous les paramètres de réglage des systèmes d'irrigation, au fur et à mesure de la croissance des cultures : durée d'irrigation nécessaire à l'apport d'une dose donnée, nombre de secteurs d'arrosage irrigués par session c'est-à-dire modalité d'apport de la dose, rotation sur tous les

secteurs du réseau d'irrigation, et temps d'attente éventuel avant relance du tour d'eau suivant (GUILLAUME, 1995).

La porosité structurale

Les acquis sur la porosité structurale des vertisols et le fonctionnement hydrique de ces sols devraient permettre aux décideurs et aux concepteurs de réseaux d'irrigation de bâtir des aménagements hydrauliques fondés sur des connaissances maintenant solides pour ne pas reproduire les erreurs de conception des années antérieures.

La gestion des ressources en eau

La sensibilisation des irrigants à une gestion efficace et rentable de leur système d'arrosage est un enjeu important de la diffusion de cette technique de pilotage. Cela dépasse le simple cadre individuel et s'inscrit dans une véritable politique de gestion des ressources en eau agricole de la Guadeloupe. Une action de formation focalisée sur le mode d'emploi correct des matériels d'irrigation disponibles sur le marché doit accompagner toute diffusion de la méthode de gestion de l'eau sur vertisols. En effet, il est nécessaire de maîtriser parfaitement l'outil « système d'irrigation » et d'en dominer les paramètres de réglage afin d'éviter le gaspillage d'une ressource commune et limitée, l'eau.

Encadré 1

Vitesse de croissance et variation d'épaisseur de couches de sol

L'étude des relations entre vitesse d'élongation et variation d'épaisseur de couches de sol rend bien compte de la forte liaison qui existe entre ces deux variables. L'interprétation de leurs courbes d'évolution est relativement aisée et permet de saisir presque au jour le jour le statut hydrique du système sol-canne à sucre.

On observera que des valeurs de vitesse d'élongation élevées, associées à la consommation de l'eau renfermée dans la seule porosité structurale, peuvent exister à des épaisseurs différentes du sol. Ces écarts d'épaisseur ne traduisent rien d'autre que les variations d'humidité matricielle. Cela confirme le fait que la porosité structurale représente une réserve en eau facilement utilisable relativement indépendante de l'humidité totale du sol.

Diagnostic du statut hydrique de la canne à sucre

Le diagnostic du statut hydrique de la canne à sucre peut en effet être posé avec une grande sensibilité en observant l'évolution de sa vitesse d'élongation. Sur un essai de culture de canne irriguée sur un vertisol de Grande-Terre en Guadeloupe (figure 3) on a mis en relation :

- (1) la vitesse d'élongation de la canne en mesurant chaque semaine la hauteur au dernier ochréa visible de 3 tiges primaires par m² (variété R570) exprimée en cm/jour ;
- (2) les variations d'épaisseur de deux couches de sol (20-40 et 40-60 cm) mesurées au moyen de 6 transducteurs THERESA par couche, exprimées en pourcentage de l'épaisseur maximale enregistrée au cours de la période d'étude soit du 15 juin au 15 décembre 1994 (moyenne hebdomadaire du rapport des épaisseurs du jour j / épaisseur maximale de juin à décembre).

Les résultats

- Du 16 juin au 6 juillet : un léger gonflement s'accompagne d'un accroissement net de la vitesse de croissance (1,4 à 1,9 cm/jour). La porosité structurale est remplie et un faible excédent d'eau a entraîné le gonflement mesuré. La canne s'alimente aisément en puisant l'eau contenue dans la porosité structurale.

- Du 7 juillet au 20 juillet : un retrait des couches de sol témoins signale un épuisement de la porosité structurale qui contraint la canne à prélever l'eau de la porosité matricielle. Cela se traduit par un ralentissement net de la vitesse de croissance de 1,9 à 1,0 cm/jour. Cet épisode est lié aux pannes survenues sur le réseau d'irrigation qu'aucune pluie n'a compensées.

- Du 21 juillet au 3 août : la reprise des irrigations après réparation du réseau induit un très faible gonflement et surtout le retour à une alimentation en eau contenue dans la porosité structurale. La vitesse d'élongation remonte à près de 1,9 cm/jour.

- Du 4 au 10 août : on observe au cours de cette période un ralentissement brutal de croissance (chute à 1,25 cm/jour) accompagné d'un gonflement tout aussi rapide de la couche 40-60 cm. Cela correspond à un excès d'eau temporaire (pluie de 18 mm le 7 août en plus des irrigations), ayant pu entraîner une asphyxie momentanée au niveau du système racinaire profond.

- Du 11 au 31 août : la croissance se stabilise entre 1,5 et 1,6 cm/jour jusqu'à la fin du mois d'août. De même l'épaisseur de la couche 20-40 cm varie très peu indiquant une alimentation hydrique essentiellement puisée dans la porosité structurale. On peut noter que la couche 40-60 cm passe d'abord par une phase de gonflement avant stabilisation (effet retard de la pluie de la période précédente).

- Du 1^{er} au 21 septembre : des pluies abondantes, 72 mm, surviennent le 4 septembre et le total de la première décade du mois atteint 127 mm. Ces précipitations induisent un gonflement très net du sol. Au cours de cette période le profil cultural demeure saturé d'eau créant ainsi une situation asphyxiante pendant deux semaines (du 7 au 21 septembre). La croissance de la canne chute spectaculairement à son plus bas niveau avec 0,54 cm/jour.

- Du 22 septembre au 23 novembre : le sol conserve son épaisseur acquise, mais la porosité n'est plus saturée en eau, la

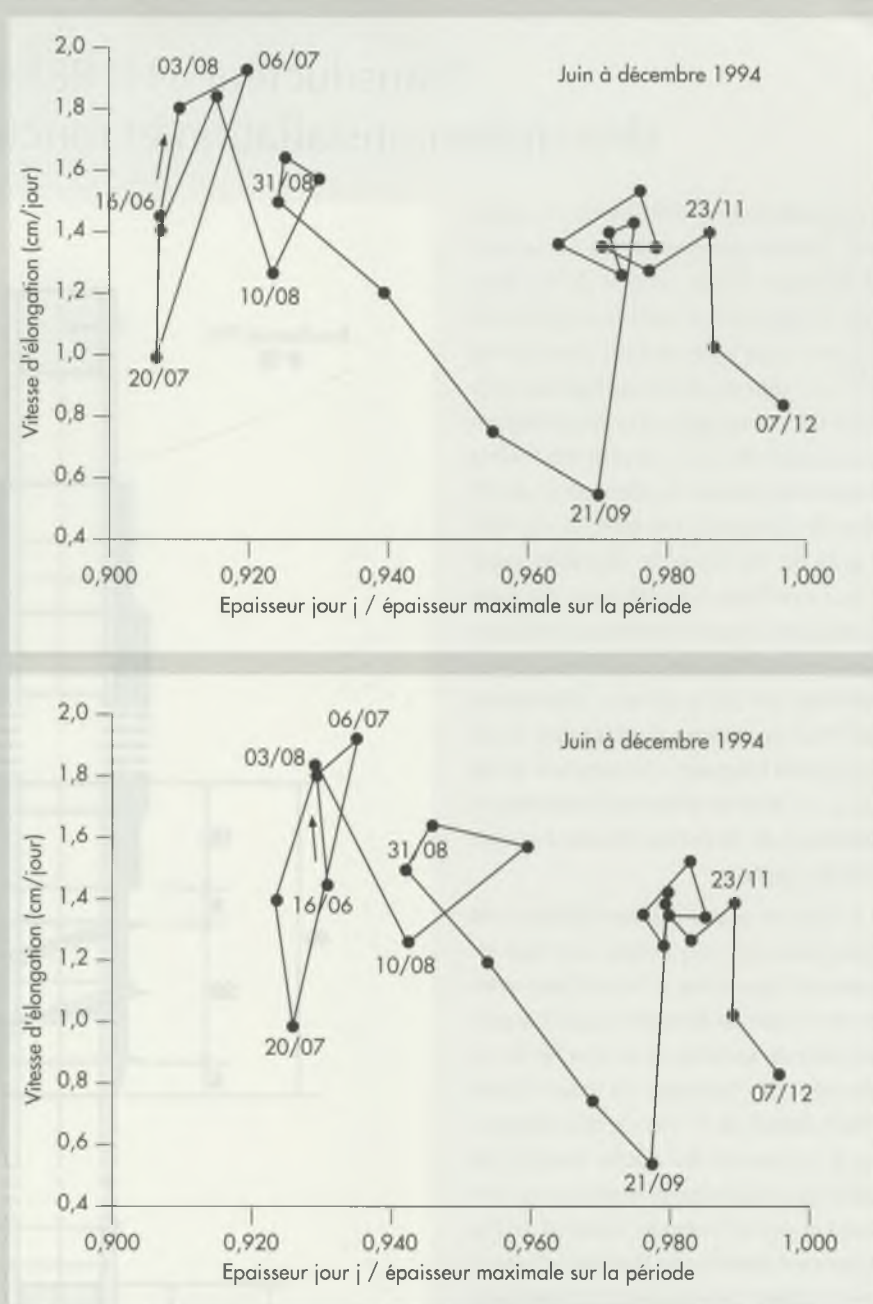
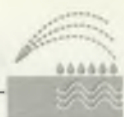


Figure 3. Vitesse de croissance de la canne à sucre en fonction des variations de l'épaisseur de sol (en liaison avec l'état hydrique du sol). Sur la profondeur 20-40 cm, figure 3 a ; sur la profondeur 40-60 cm, figure 3 b.

croissance reprend, la vitesse d'élongation s'établit à 1,4 cm/jour. Les pluies et quelques irrigations en début novembre assurent à la canne une alimentation en eau structurale comme l'indique la stabilité des épaisseurs des couches témoins. Ni excès ni déficit ne viennent altérer la croissance de la canne qui se maintient à 1,4 cm/jour.

- Du 24 novembre au 7 décembre : malgré un statut hydrique assez stable du sol la vitesse d'élongation diminue progressivement autour de 0,8 cm/jour. Ce fait, observé chaque année, est sans doute lié au début de la période de maturation de la canne déterminant une diminution de la croissance vers 9 mois de cycle.



Encadré 2

Transducteur THERESA, description, installation et fonctionnement

Le transducteur THERESA est un appareil simple qui mesure les variations d'épaisseur d'une couche de sol donnée. Il est constitué comme le montre la figure 4 d'un tube en PVC rigide (a) de 20 x 17 mm de diamètre intérieur à la base duquel est serti un embout fileté en aluminium de 25 x 20 mm (diamètres externe et interne du filetage) et de 25 mm de longueur. Un tube (b) en PVC rigide de 16,3 mm de diamètre extérieur coulisse à l'intérieur du tube précédent. Son extrémité est équipée également d'un embout fileté en aluminium de 15 x 10 mm (diamètres externe et interne du filetage) et de 25 mm de longueur. Un manchon (c) de 25 x 21 mm de diamètre (extérieur x intérieur) est le dernier élément constitutif du capteur.

La mise en place du transducteur est effectuée en cinq temps. On fore en premier lieu un trou à l'aide d'une tarière de 25 mm de diamètre jusqu'à la profondeur du sommet de la couche de sol désirée. On prolonge ce trou à l'aide d'une tarière de 17 mm de diamètre jusqu'à la base de la couche étudiée. Le tube (b) est alors posé dans le trou central sur un sol humide, exempt de fissures de manière que l'embout d'aluminium adhère bien au sol à la base de la couche. On positionne ensuite le tube (a) dont l'embout fileté assure la solidité avec le sol au sommet de la couche. Enfin le manchon (c) est glissé autour de l'ensemble pour occuper le volume résiduel du premier forage et éviter des écoulements le long du tube.

En surface du sol, il est facile de mesurer la hauteur de la tige centrale qui émerge du tube externe avec un pied à coulisse par exemple. Cette hauteur suit exactement les variations d'épaisseur de la couche de sol comprise entre les deux embouts d'aluminium. Un retrait se traduit par un rapprochement des embouts et par une augmentation de la

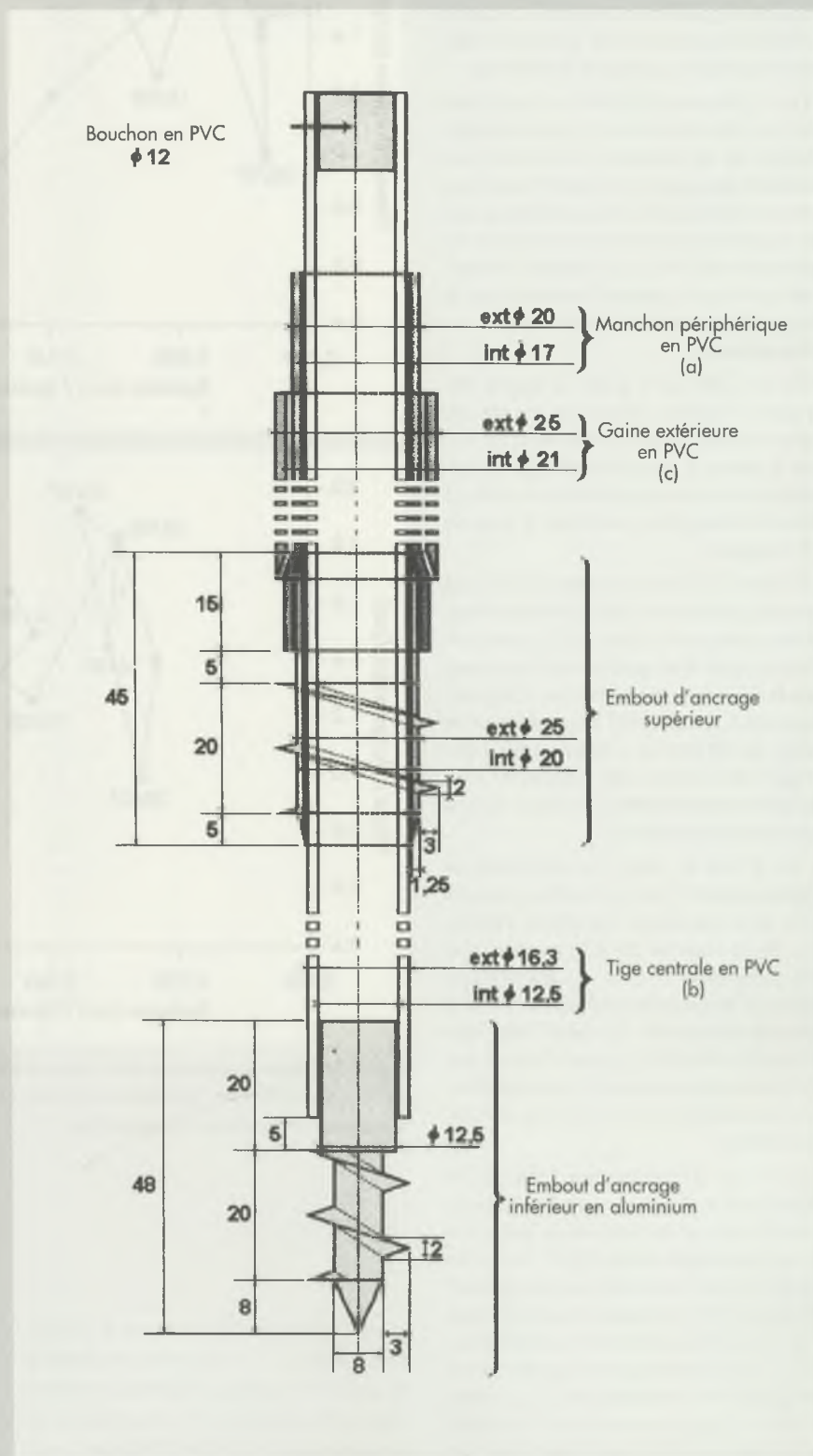


Figure 4. Schéma du transducteur THERESA (brevet Inra, 1987). Coupe sagittale, cotes en millimètres.

Tableau 1. Les observations effectuées avec THERESA, les recommandations.

Observation THERESA	Commentaire et action proposée
1) BS est passé sous la graduation basse	Fort retrait Relancer immédiatement l'irrigation en augmentant le temps d'arrosage
2) BS est stable entre les graduations basse et médiane	Etat d'équilibre Relancer une irrigation identique à la précédente
3) BS est monté entre les graduations médiane et haute	Légère tendance au gonflement Aérer le sol en sautant un arrosage et relancer les apports quand BS sera repassé sous la graduation médiane
4) BS a recouvert les graduations - après une pluie - après une irrigation excessive	Saturation passagère et gonflement important 1 - visser légèrement le tube externe dans le sol tout en dévissant la tige interne de façon que BS soit au niveau de la graduation médiane = retour à une épaisseur de référence égale à 20 cm 2 - arrêter toute irrigation jusqu'à ce que BS repasse au dessous de la graduation médiane 3 - la reprise des irrigations se fera alors selon l'une des deux modalités suivantes : - si la pluie est la cause du gonflement important du sol, conserver le temps d'irrigation du dernier cycle d'arrosage effectué ; - si le gonflement est dû à une irrigation trop abondante diminuer le temps d'arrosage.

BS : position du bord supérieur du tube externe.

hauteur de tige émergente. C'est l'inverse qui se produit lors d'un gonflement. La précision des mesures obtenues par ce type de transducteur est de 10^{-4} m lorsqu'elles sont prises au moyen d'un pied à coulisse. Elle peut atteindre 5×10^{-5} m si l'on équipe les transducteurs de capteurs potentiométriques de déplacement dont les mesures peuvent être enregistrées à pas de temps très faible sur une centrale d'acquisition de données.

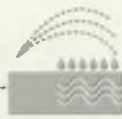
En pratique sur culture de canne à sucre en Grande-Terre de Guadeloupe, il convient d'implanter 3 couples de capteurs par parcelle sur un sol profond, humide, non fissuré après une forte pluie ou des arrosages abondants. Deux couches de sol de 20 cm d'épaisseur sont contrôlées. La couche superficielle 20-40 cm permet de suivre le statut hydrique du système sol plante au début de son cycle de développement. Puis la demande en eau augmente et les plantes sollicitent les horizons plus pro-

fonds. On observera donc un retrait dans les couches 40 à 60 cm et le pilotage pourra dès lors intégrer les données de l'ensemble des capteurs installés. Il est cependant bénéfique de se fier prioritairement aux indications des capteurs des couches 40 à 60 cm dès que possible même si cela conduit à un relatif manque d'eau en surface. En effet une telle gestion ne nuit pas à l'alimentation hydrique de la culture et laisse un volume de vides permettant d'absorber une pluie toujours imprévisible sans saturer trop longtemps le sol et priver les racines d'air. A titre d'exemple, un sol qui possède une porosité structurale bien entretenue pourra ainsi absorber un maximum de 30 mm de pluie sans dommage dans les 40 centimètres superficiels.

Les capteurs doivent être relevés chaque jour si possible, la méthode de pilotage consistant en une simple comparaison de l'épaisseur des couches de sol du jour « j » avec l'épaisseur de référence

mesurée lors de la pose des capteurs soit 20 cm. On admet une amplitude de variations de l'épaisseur de référence de la couche considérée telle que la plante ne subisse aucun stress conséquent ni par excès ni par manque d'eau à l'intérieur de cette fourchette. Cette amplitude est de plus ou moins 1 % pour la canne à sucre. On dispose donc dans ce cas de deux seuils égaux respectivement à 99 % et 101 % de l'épaisseur de référence. Celle-ci est matérialisée par la graduation médiane gravée sur la tige centrale des capteurs, la limite inférieure par la graduation basse et la limite supérieure par la graduation haute. On compare alors la position du bord supérieur (BS) du tube externe par rapport à ces repères le lendemain d'une irrigation. Quatre cas peuvent se produire et ils vont déterminer le pilotage des arrosages (tableau 1).

Le principe fondamental d'une bonne gestion de l'eau en vertisol consiste à éviter que la plante soit contrainte de puiser l'eau dont elle a besoin dans la porosité matricielle. Cela revient en pratique à éviter tout retrait important du sol. On peut retenir que les vertisols de Guadeloupe imposent d'irriguer peu mais souvent en délivrant des doses instantanées qui ne dépassent pas la capacité de stockage de la porosité structurale des 30 premiers centimètres de sol soit environ 20 mm. Ils réclament aussi d'être maintenus à des teneurs en eau élevées dans la zone racinaire située à partir de 30-40 cm de profondeur, telles que l'ouverture de fentes de retrait importantes ne puisse pas se produire. Il est cependant prudent, si possible et dès que la croissance des plantes le permet, de maintenir la couche superficielle dans un état de relative sécheresse afin de lui permettre de jouer un rôle tampon en cas de fortes précipitations. Les systèmes d'irrigation localisée et d'aspersion à faible pluviométrie horaire offrent une réponse bien adaptée à ces contraintes.



Références bibliographiques

CABIDOCHÉ Y.-M., VOLTZ M., 1988. Variations isotropes de volume en sols argileux hétérogènes. II - Contrôle expérimental dans le cas d'un vertisol calcique de Guadeloupe. In Les phénomènes de transfert dans les milieux poreux déformables, actes du séminaire, L'Isle-sur-Sorgue, France, 7-8 octobre 1987, Inra, Paris, France, 143-159.

CABIDOCHÉ Y.-M., OZIER-LAFONTAINE H., 1995. THERESA: I. Matric water content measurements through thickness variations in vertisols. *Agricultural Water Management* 28 : 133-147.

CABIDOCHÉ Y.-M., VOLTZ M., 1995. Non-uniform volume and water changes in swelling clay soil: II. A field study on a vertisol. *European Journal of Soil Science* 46 : 345-355.

CABIDOCHÉ Y.-M., GUILLAUME P., 1998. A casting method for the three-dimensional analysis of the intraprism structural pores in vertisols. *European Journal of Soil Science* 49 : 187-196.

COMBRES J.-C., 1989. Besoins en eau et pilotage de l'irrigation de la canne à sucre en Grande-Terre. Cirad. Rapport d'exécution convention régionale 1987-1988.

GUILLAUME P., 1995. Gestion de l'irrigation en culture de canne à sucre sur vertisol. Cirad-ca, Région Guadeloupe, 72 p. + annexes.

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

OZIER-LAFONTAINE H., 1992. Disponibilité de l'eau dans un système sol argileux gonflant-canne à sucre-atmosphère. Application à la recherche d'indicateurs de l'état hydrique. Thèse de doctorat, Ina-pg, Paris, France, 142 p.

OZIER-LAFONTAINE H., CABIDOCHÉ Y. M., 1995. THERESA: II. Thickness variations of

vertisols for indicating water status in soil and plants. *Agricultural Water Management* 28 : 149-161.

RITCHIE J. T., BURNETT E., 1971. Dryland evaporative flux in subhumid climate. II - Plant influences. *Agronomy Journal* 63 (1) : 56-61.

RUY S., 1997. Les trois voies simultanées de l'infiltration dans un vertisol de Guadeloupe: étude expérimentale et numérique. Thèse de doctorat, université de Montpellier II, Montpellier, France.

RUY S., CABIDOCHÉ Y.M., 1998. Matric unsaturated conductivity of a Vertisol: a field and laboratory comparison. *European Journal of Soil Science* 49 : 175-185.

STIRK G. B., 1954. Some aspects of soil shrinkage and the effect of cracking upon water entry into the soil. *Australian Journal of Agricultural Research* 5 : 279-290.

TESSIER D., 1984. Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. Thèse de doctorat, Paris VII. Inra Versailles publications, France, 361 p.

Résumé...Abstract...Resumen

P. GUILLAUME, Y.-M. CABIDOCHÉ — Stratégies de gestion des irrigations sur les vertisols de Guadeloupe.

L'irrigation des vertisols de Guadeloupe a connu des échecs imputables à une compréhension insuffisante des mécanismes des transferts hydriques. Les travaux de recherches entrepris par l'Inra et le Cirad ont permis de relier la disponibilité de l'eau pour les plantes aux variations d'épaisseur de couches de sols. Ils ont aussi montré que la qualité du système de porosité structurale des vertisols est un paramètre essentiel qui conditionne durablement l'alimentation en eau des cultures. Il en résulte un outil simple, le transducteur THERESA, qui permet de mesurer le dessèchement d'une couche de sol argileux. Cet outil est bon marché et d'emploi aisé. Il offre à tout agriculteur le moyen de raisonner et d'adapter, parcelle par parcelle, et au jour le jour, les paramètres de réglage de son système d'irrigation. Cela est d'un grand intérêt dans les conditions climatiques imprévisibles de la Guadeloupe et des milieux insulaires comparables.

Mots clé : vertisols, porosité structurale, déformations, transducteur THERESA, gestion des systèmes d'irrigation.

P. GUILLAUME, Y.-M. CABIDOCHÉ — Irrigation management strategies on vertisols in Guadeloupe.

Irrigation of vertisols in Guadeloupe has seen several failures that can be put down to an insufficient understanding of the water transfer mechanisms involved. Research work undertaken by INRA and CIRAD linked water availability for plants to variations in soil layer thickness. It also showed that the quality of the structural porosity system of the vertisols was an essential parameter that largely governed the water supply to crops. The research teams developed a simple tool, the THERESA transducer, which measures the degree of drying out of a clay soil layer. The tool is cheap and easy to use, and enables farmers to adjust the parameters of their irrigation system plot by plot and day by day, which is extremely useful given the unpredictable climate in Guadeloupe and similar island environments.

Keywords: vertisols, structural porosity, THERESA transducer, irrigation system management parameters

P. GUILLAUME, Y.-M. CABIDOCHÉ — Estrategias de gestión de los riegos en vertisoles de Guadalupe.

El riego de los vertisoles de Guadalupe ha conocido fracasos debido a un conocimiento insuficiente de las transferencias hídricas que se producen. Las investigaciones acometidas por el INRA y el CIRAD han permitido vincular la disponibilidad de agua para las plantas a las variaciones de grosor de capas de suelos. También mostraron que la calidad de porosidad estructural de los vertisoles es un parámetro esencial que condiciona de forma duradera la alimentación hídrica de los cultivos. La consecuencia es un instrumento simple, el transductor THERESA, que permite medir la desecación de una capa de suelo arcilloso. Este instrumento barato y de fácil utilización proporciona a cualquier agricultor el medio de controlar y adaptar, parcela a parcela y día a día, los parámetros de reglaje de su sistema de riego. Esto es de gran interés para las condiciones climáticas imprevisibles de Guadalupe y de medios insulares semejantes.

Palabras clave: vertisoles, porosidad estructural, transductor THERESA, parámetros de gestión de los sistemas de riego.