



**HAL**  
open science

## Evaluation de la remontée capillaire sous triticales de contre-saison en sol de rizière

Rémi Gaudin

► **To cite this version:**

Rémi Gaudin. Evaluation de la remontée capillaire sous triticales de contre-saison en sol de rizière. *Agronomie Tropicale*, 1992, 46 (2), pp.83-87. hal-01071296

**HAL Id: hal-01071296**

**<https://auf.hal.science/hal-01071296v1>**

Submitted on 6 Oct 2014

**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.

# Evaluation de la remontée capillaire sous triticales de contre-saison en sol de rizière

R. GAUDIN (1)

**RÉSUMÉ** – Des mesures d'humidité volumique, de potentiel hydrique et de perméabilité ont été effectuées en sol de rizière pour évaluer les contributions de la remontée capillaire et de la réserve en eau du sol à l'alimentation hydrique d'une céréale de contre-saison, le triticales. Le flux ascendant en provenance de la nappe est assez difficile à calculer avec précision du fait de la variabilité spatiale du sol. Il peut atteindre quelques millimètres par jour, alors que la contribution du stock d'eau du sol se situe entre 1 et 2,5 millimètres par jour.

**Mots clés** : remontée capillaire, culture de contre-saison, triticales, alimentation hydrique, Madagascar.

Une remontée capillaire est un flux hydrique ascendant entre deux cotes du sol situées sur une verticale. Ces deux cotes sont le lieu des conditions aux limites imposées à la loi de Darcy généralisée, qui régit l'écoulement de l'eau dans un sol non saturé. La cote supérieure se situe à la surface d'un sol nu ou, en sol cultivé, occupe le point bas du profil racinaire. La cote inférieure se situe à la surface de la nappe. Les conditions aux limites sont définies par les valeurs de succion imposées à ces cotes : succion racinaire ou de surface à la cote haute, succion nulle à la cote inférieure. Le flux ascendant alimente tout ou partie de l'évaporation de surface ou bien du prélèvement racinaire. Il tire son origine de la combinaison du gradient de succion existant entre la nappe et la cote haute et de la faculté d'un sol, même non saturé, de laisser passer l'eau. En bas, ce flux est alimenté par le volume d'eau de la nappe.

Pour illustrer cette définition, il convient d'employer une notion fondamentale de l'hydrodynamique, celle de potentiel. Le potentiel total de l'eau dans le sol est la mesure de la différence d'énergie entre l'eau liée, située à une cote  $z$  quelconque, et l'eau libre à la surface du sol. Ce potentiel est dit total car il est la somme du potentiel matriciel et du potentiel gravitationnel. Exprimé en centimètres d'eau, il s'écrit :

$$H = h - z$$

(1) Université de Madagascar, laboratoire des radio-isotopes, BP 3383, Antananarivo 101, Madagascar.  
Adresse actuelle : BP 243, Niamey, Niger.

Le potentiel matriciel,  $h$ , mesure l'effet résultant des forces d'adsorption et de capillarité exercées par la matrice solide du sol sur l'eau. Bien qu'équivalent à la succion affectée d'un signe moins, le terme de potentiel matriciel est d'usage officiel en sciences du sol. La variation de ce potentiel matriciel avec l'humidité volumique définit la courbe caractéristique du sol.

La remontée capillaire est associée à un écart par rapport à la situation d'équilibre hydrostatique qui prévaudrait si le sol était couvert. En effet, avec un flux nul en surface, le potentiel total tendrait à être partout le même et donc s'approcherait de sa valeur à la surface supérieure de la nappe de cote  $z_0$ , soit  $-z_0$ . Le profil d'humidité volumique correspondant serait celui de la partie basse de la courbe caractéristique (JOURDAN *et al.*, 1979).

Lorsqu'une perturbation quelconque rompt cet équilibre, la valeur du flux à la profondeur  $z$  est donnée par la loi de Darcy généralisée :

$$q_z = -K(h) \frac{dH}{dz}$$

où  $K(h)$  est la conductivité hydraulique du sol dans son état de potentiel matriciel  $h$ .

Cette perturbation peut conduire à une situation de remontée capillaire, sous réserve de certaines contraintes imposées à la relation  $H(z)$ . D'abord, le flux devra être ascendant : l'axe des  $z$  étant orienté positivement vers le bas, ce flux  $q_z$  est donc négatif. Cela implique une augmentation de  $H$  avec la profondeur  $z$ . Par ailleurs, l'allure de la fonction  $K(h)$ , conjuguée à la conservation du flux (en approche idéale), impose à  $H$  une concavité tournée vers le bas. Ces résultats généraux sont reportés sur la figure 1, construite en présentant à gauche le diagramme de potentiel total ( $H$ ) et à droite le profil correspondant d'humidité volumique ( $\theta$ ). Dans les deux cas, équilibre hydrostatique et remontée capillaire, la profondeur de la nappe  $z_0$  est donnée par l'intersection du profil de potentiel total avec la bissectrice indiquant la saturation sans charge ( $h = 0$  ;  $H = -z$ ). La variation du stock d'eau du sol, qui apparaît à droite, n'est pas liée directement au flux de remontée capillaire. Elle traduit simplement la modification des états hydriques du sol entre les deux situations. Pour preuve, un flux conservatif ascendant peut se transmettre sans que le profil d'humidité évolue au cours du temps, à condition d'être déjà au départ dans une situation d'équilibre hydrodynamique. Cette situation idéale a d'ailleurs fait l'objet des premières études théoriques sur le phénomène de remontée capillaire (WIND,

1955 ; GARDNER, 1957 ; GARDNER et FIREMAN, 1957). Elle est utilisée comme point d'ancrage pour la résolution de problèmes plus complexes, sous réserve que les relations  $K(h)$  et  $h(\theta)$  définies ci-dessus soient bien connues (DE LAAT, 1976, 1980).

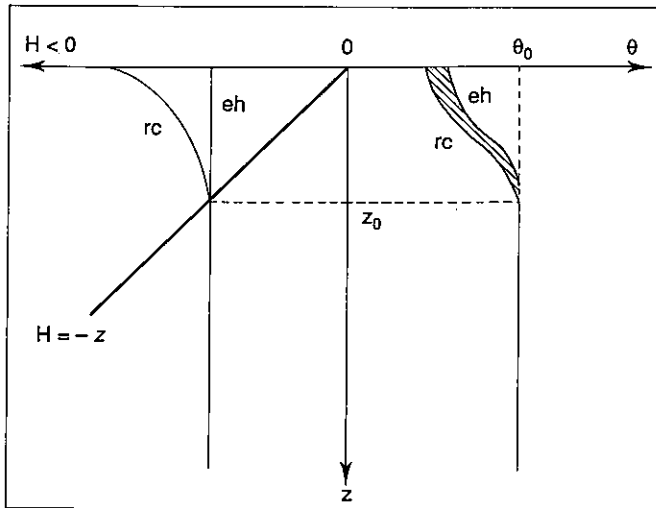


Figure 1. Profils de potentiel total  $H$  et d'humidité volumique  $\theta$  correspondant à deux situations en présence d'une nappe. La profondeur de la nappe est donnée par l'intersection des profils de potentiel total avec la bissectrice  $H = -z$ . L'équilibre hydrostatique (eh) est observé lorsque le sol est couvert. Une remontée capillaire (rc) se produit lorsque le profil  $H(z)$  s'incurve vers la gauche.

Dans le cas contraire, qui est le plus courant, la seule approche possible du phénomène est expérimentale, avec mesure du potentiel  $H$  et de l'humidité  $\theta$  (figure 1). Les outils appropriés à cette tâche sont respectivement les tensiomètres et la sonde à neutrons. Déjà utilisées dans le nord-ouest de Madagascar pour préciser les conditions d'alimentation hydrique du coton de décrue, et notamment la contribution de la remontée capillaire (MOUTONNET, 1971), ces techniques sont ici employées avec le même objectif dans le cas d'une culture de triticales pratiquée en contre-saison en sol de rizière.

## Matériel et méthode

### Site d'étude

L'essai est situé dans la plaine jouxtant le bas-fond d'Ambohitrakoho, à quelque trente kilomètres au nord de Tananarive, sur les hauts plateaux de Madagascar. Le sol est formé d'alluvions récentes qui recouvrent un anmoor (RAUNET, 1984). Pour la culture du riz, le sol est classé comme un sol argileux tacheté en raison de sa granulométrie (50 % d'argiles en surface) et de sa réoxydation en saison sèche.

La culture du triticales est effectuée en contre-saison, c'est-à-dire après la récolte du riz qui a poussé en saison des pluies. Le semis a eu lieu le 20 mai 1987 dans un sol retourné de façon traditionnelle à la bêche (« angady ») puis émoté. Le niveau de la nappe se trouvait alors à 15-20 cm de la surface. A la récolte, en début d'octobre, il était descendu vers 80 à 100 cm.

Seule la moitié du site a été fertilisée (135-90-90) et emblavée. Les mêmes travaux du sol ont été effectués sur l'ensemble du site. Plusieurs désherbages manuels ont permis d'éliminer la végétation adventice. Les deux moitiés du site peuvent donc être considérées comme représentatives d'un traitement « sol emblavé » et d'un traitement « sol nu ».

### Méthodes de mesure

Chacune des deux moitiés du site est divisée en trois secteurs rectangulaires d'une surface de 112,5 m<sup>2</sup>, centrés sur un tubage en aluminium (figure 2). Ces tubes d'accès pour la sonde à neutrons ont été mis en place au cours de la saison sèche précédente. Ils sont repérés par les lettres A, B, C dans les secteurs emblavés et D, E, F dans les secteurs non emblavés.

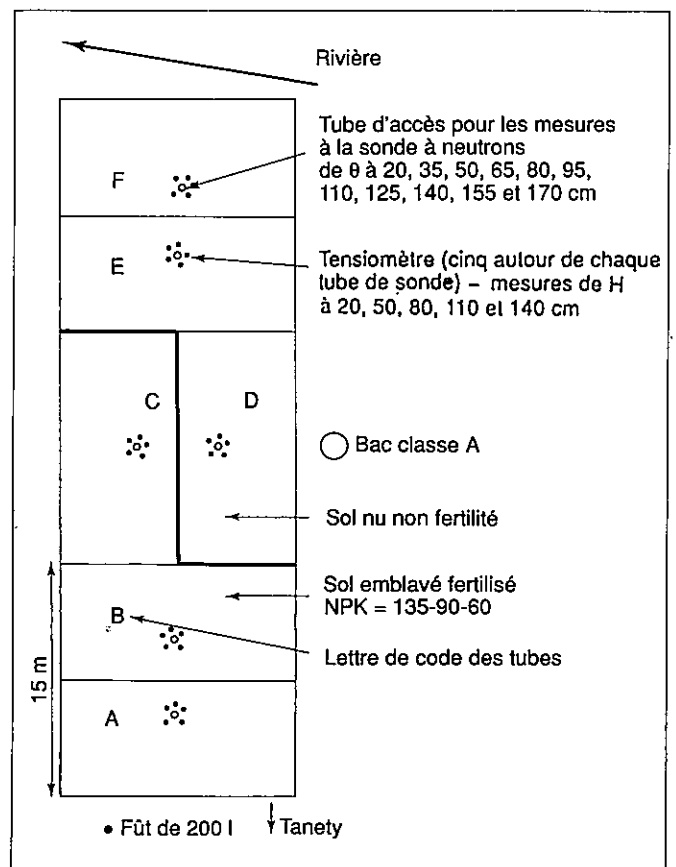


Figure 2. Dispositif expérimental utilisé lors de la saison sèche de 1987 pour l'étude de la remontée capillaire sous sol nu et sous culture de triticales.

La sonde à neutrons est du type Solo 20 (Nardeux). Afin de limiter le tassement du sol à proximité du tube, les mesures se font à partir d'une table de travail plus haute que le triticale. Elles sont pratiquées de façon bimensuelle, selon un pas vertical de 15 cm (entre 20 cm et la nappe). L'humidité volumique est déduite du comptage neutronique grâce à un étalonnage effectué au Centre d'études nucléaires de Cadarache.

Aussitôt après la levée du triticale, cinq cannes tensiométriques (système Nardeux DTM 5000) sont implantées dans un rayon de 30 cm autour de chaque tube. Les bougies en céramique poreuse — partie sensible du tensiomètre — se situent aux cotes  $z = 20, 50, 80, 110$  et  $140$  cm. Des tubes capillaires assurent la transmission de la pression jusqu'à une cuve à mercure. La lecture du potentiel total  $H$  s'effectue tous les quatorze jours sur une planche multimanométrique graduée en centimètres d'eau. Les systèmes tensiométriques sont purgés après mesure.

## Résultats et discussion

L'évolution des profils de potentiel total et d'humidité volumique est présentée dans la figure 3 pour le sol emblavé et dans la figure 4 pour le sol nu.

Sur les deux traitements, les courbes  $H(z)$  présentent l'allure générale du phénomène de remontée capillaire, telle qu'elle est indiquée dans la figure 1. Les profils évoluent au cours du temps par suite de la descente continue de la nappe, attestée par le déplacement du point d'intersection de  $H(z)$  avec  $H = -z$ . Cette descente est lente, puisque les profondeurs de 0,80 à 1 m sont atteintes seulement en fin de cycle du triticale.

Les différences entre sol nu et sol emblavé sont de deux ordres.

- Potentiel total  $H$  :

- l'évolution des profils est plus rapide en situation emblavée. La transpiration du triticale est donc responsable de l'écart avec le sol nu ;

- le dernier profil tensiométrique, g, tend asymptotiquement vers l'horizontale à la cote  $z = 0,50$  m. Des remontées capillaires semblent alors intervenir entre la nappe située à 1,00 m et la cote 0,50 m. Mais, faute d'observation du profil racinaire, leur éventuelle interception entre ces deux cotes n'a pu être mise en évidence ni démentie. La contribution de ce flux ascendant à l'alimentation hydrique du triticale sera toutefois approchée plus loin.

- Humidité volumique  $\theta$

Le sol s'assèche plus vite sous triticale que sans couvert végétal, ce qu'illustrent nettement les figures 3 et 4. L'évaluation des variations de stock d'eau du sol (tableau I) précise les écarts.

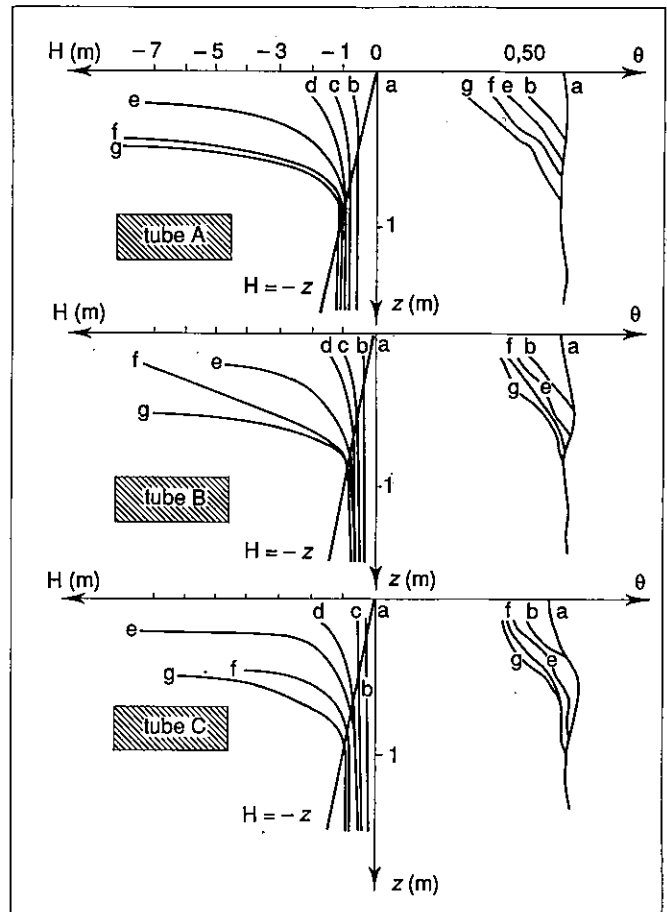


Figure 3. Evolution des profils de potentiel total  $H$  et d'humidité volumique  $\theta$  en sol emblavé. (Date des profils : a, 30-04 ; b, 01-07 ; c, 12-08 ; d, 26-08 ; e, 09-09 ; f, 23-09 ; g, 07-10.)

Sous triticale, le stock diminue de 14 à 35 mm en quatorze jours, contre moins de 10 mm en sol nu. Le niveau piézométrique baisse lentement. Il est donc vraisemblable que cette eau a été intégralement évapotranspirée par le triticale. Cette contribution à l'alimentation hydrique de la culture s'évalue donc à environ  $2,5 \text{ mm j}^{-1}$  pour le tube A, et 1 à  $1,5 \text{ mm j}^{-1}$  pour les tubes B et C, ce qui apparaît faible.

La remontée capillaire s'ajoute à cette contribution. Elle peut se calculer en appliquant la loi de Darcy généralisée au niveau d'une cote quelconque choisie en dessous des racines (CHEN et VAUCLIN, 1986). L'enracinement n'étant pas ici précisé et la relation  $K(h)$  étant inconnue, une méthode originale préconisée par VAUCLIN (comm. pers.) consiste à se situer à la partie supérieure de la nappe. Le flux de remontée capillaire,  $rc$ , vaut alors :

$$rc = -q_{z_0} = K_S \left( \frac{dH}{dz} \right)_{z=z_0}$$

où :

- $K_S$  = perméabilité à saturation, dite aussi perméabilité de Darcy ;

$-\left(\frac{dH}{dz}\right)_{z=z_0}$  = gradient de potentiel au point d'intersection du profil de potentiel total avec la droite de saturation.

La perméabilité à saturation a fait l'objet d'une série limitée de mesures sur l'horizon 70-80 cm, de texture très argileuse (60 % d'argiles environ). Les valeurs 0,4-3, 0-4,2 et 24,5 mm j<sup>-1</sup> ont été obtenues sur quatre échantillons non remaniés provenant de fosses creusées en secteur emblavé. A cette occasion, il a été observé une poche d'eau piégée vers 60 cm alors que la nappe était apparemment située à 1 m. L'hétérogénéité texturale pourrait expliquer ce phénomène et être à l'origine de la grande variabilité de K<sub>s</sub>. Cette grandeur n'ayant pas été mesurée sur des échantillons prélevés au voisinage des tensiomètres semi-profonds des tubes A, B, C, il sera considéré qu'elle s'approche en cet endroit de la valeur 3,6 mm j<sup>-1</sup>, moyenne des deux mesures intermédiaires.

Le gradient de potentiel à la surface de la nappe se lit dans la figure 3 selon le procédé graphique habituel (figure 5). Les résultats sont précisés dans le tableau II.

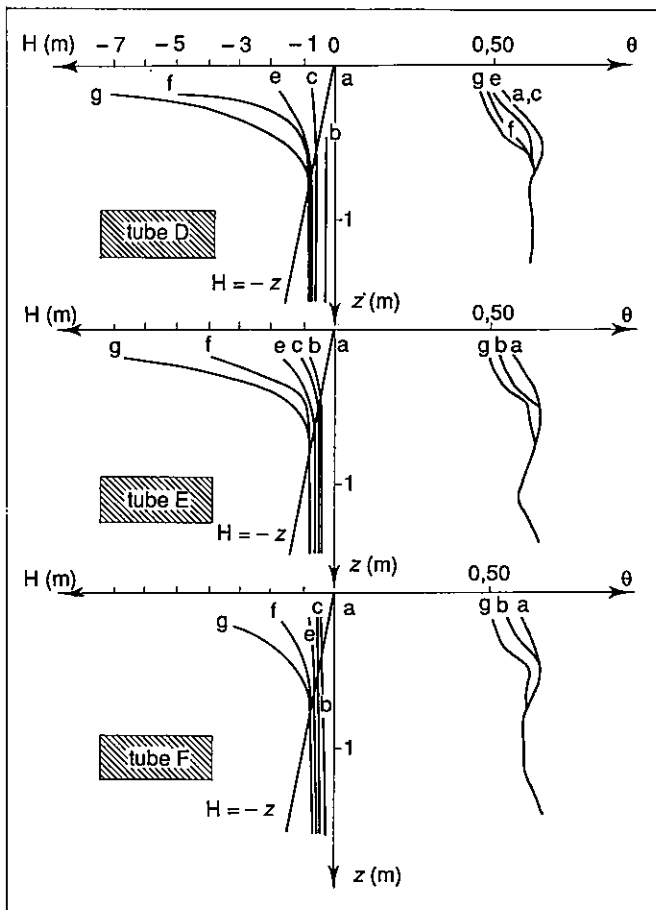


Figure 4. Evolution des profils de potentiel total H et d'humidité volumique θ en sol nu. (Date des profils : a, 30-04 ; b, 01-07 ; c, 12-08 ; e, 09-09 ; f, 23-09 ; g, 07-10.)

Tableau I. Variation du stock d'eau du sol en millimètres, du 09-09 (e) au 23-09 (f) et du 23-09 (f) au 7-10 (g) pour les tubes A, B, C et D.

Période	Sol emblavé			Sol nu
	Tube A	Tube B	Tube C	Tube D
e-f	34,5	19,0	20,4	8,9
f-g	35,2	18,7	13,8	9,9

Dans les cas de E et F, les faibles différences n'ont pu être évaluées précisément.

Tableau II. Gradient de potentiel à la surface de la nappe au niveau des tubes A, B, C, le 26-08 (d), le 09-09 (e), le 23-09 (f) et le 7-10 (g).

Date	Tube A	Tube B	Tube C
d	0,4	0,6	0,4
e	1,2	1,0	0,9
f	1,4	0	0,5
g	0	0	1,1

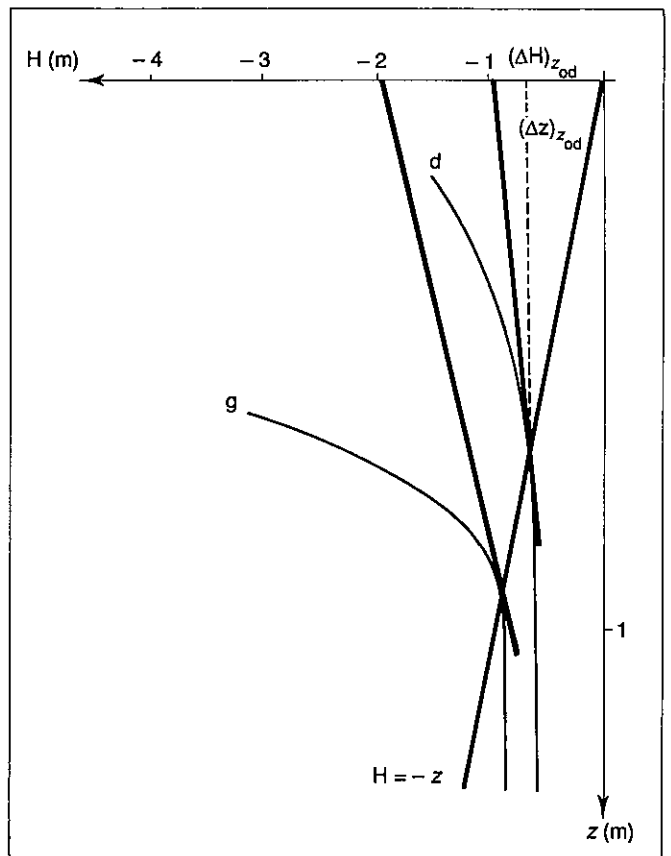


Figure 5. Détermination du gradient de potentiel à la surface de la nappe par le tracé de la tangente. Exemple des profils d et g obtenus sur le tube C.

Le gradient de potentiel présente une évolution voisine sur les trois tubes, quoique décalée dans le temps. Partant d'une valeur proche de 0,5 à la fin août, il dépasse progressivement l'unité puis chute brutalement. La remontée capillaire, lorsqu'elle est active, s'évaluerait donc grossièrement aux alentours de 2 à 5 mm j<sup>-1</sup>. Cette contribution dynamique pourrait donc parfois dépasser largement celle liée à la variation de stock d'eau du sol.

## Conclusion

Dans la situation étudiée, où la nappe reste en deçà de 1 mètre, la contribution dynamique de la remontée capillaire à l'alimentation hydrique du triticale, de quelques millimètres par jour, peut dépasser celle du stock d'eau du sol (1 à 2,5 millimètres par jour). Toutefois, la détermination du flux ascendant en provenance de la nappe est entachée d'une grande incertitude par suite de la grande variabilité de l'une des grandeurs impliquées dans la transmission de l'eau, à savoir la conductivité hydraulique. L'autre grandeur concernée, le gradient de potentiel, peut être déterminée plus précisément pourvu que les tensiomètres soient assez rapprochés.

Pour des études futures au champ, il conviendrait, dès le départ, d'intégrer dans l'analyse cette variabilité spatiale, et d'assurer au long du cycle cultural un suivi de l'enracinement.

*Reçu le 6 mars 1990.*

*Accepté le 14 juin 1991.*

**Remerciements.** Ce travail, entrepris dans le cadre d'un contrat d'étude du bilan hydrique et minéral d'un bas-fond sur les hautes terres de Madagascar, a été financé par le CIRAD, le CNRS et le FAC. L'auteur remercie M. M. VAUCLIN, de l'Institut de mécanique de Grenoble, dont le point de vue sur la remontée capillaire a permis d'utiliser au mieux les données disponibles.

## Summary

R. GAUDIN – **Evaluation of capillary rise in rice fields planted with triticale, an out-of-season crop.**

Attempts were made to evaluate the respective contributions of capillary rise and soil moisture capacity to the water supply of triticale, an out-of-season cereal, by measuring voluminal moisture, water potential, and permeability. It is rather difficult to calculate precisely the upward flow from the ground water because of the spacial soil variability. The flow can reach some mm d<sup>-1</sup> while the contribution of soil water storage ranges from 1 to 2.5 mm d<sup>-1</sup>.

**Key words:** capillary rise, out-of-season crop, triticale, water supply, Madagascar.

## Références bibliographiques

CHEN Z.X., VAUCLIN M., 1986. Water balance of a rained wheat field with shallow water-table in the Fengqiu region: two successive seasons of measurements. Grenoble, IMG, 32 p.

DE LAAT P.J.M., 1976. A pseudosteady-state solution of water movement in the unsaturated zone of the soil. *J. Hydrol.*, 30 (1-2) : 19-27.

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

GARDNER W.R., 1957. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.*, 85 (4) : 228-232.

GARDNER W.R., FIREMAN M., 1957. Laboratory studies of evaporation from soil columns in the presence of a water table. *Soil Sci.*, 85 (4) : 244-249.

JOURDAN O., MARINI P., VILLEMEN P., 1979. Etude des conditions particulières à la migration de l'eau en lysimètre : application au type monolithe. *Bulletin du GFHN*, 6 : 35-51.

MOUTONNET P., 1971. Contribution à l'étude des remontées capillaires sous culture cotonnière de décrue du nord-ouest de Madagascar. *Terre Malgache*, 12 : 161-178.

RAUNET M., 1984. Les potentialités agricoles des bas-fonds en régions intertropicales : l'exemple de la culture du blé de contre-saison à Madagascar. *L'Agron. Trop.*, 39 (2) : 121-135.

WIND G.P., 1955. A field experiment concerning capillary rise of moisture in a heavy clay soil. *Neth. J. Agric. Sci.*, 3 (1) : 60-69.

## Resumen

R. GAUDIN – **Evaluación de la subida capilar en un triticale de contraestación en suelos de arrozal.**

Se han efectuado medidas de humedad volúmica, de potencial hídrico y de permeabilidad en suelos de arrozal para intentar evaluar las contribuciones respectivas de la subida capilar y de la reserva de agua del suelo en la alimentación hídrica de un cereal de contraestación, el triticale. Resulta bastante difícil calcular con precisión el flujo ascendiente procedente de la capa, debido a la variabilidad espacial del suelo. Puede alcanzar algunos mm d<sup>-1</sup> mientras que la contribución de la reserva de agua del suelo se sitúa entre 1 y 2,5 mm d<sup>-1</sup>.

**Palabras-clave :** subida capilar, cultivo de contraestación, triticale, alimentación hídrica, Madagascar.

