

Enregistrement scientifique n° : 519

Symposium n° : 20

Présentation : poster

Changements saisonniers de la conductivité hydraulique de la surface d'un sol sous différents couverts (mil, arachide, jachère) au Centre Sénégal
Seasonal changes of the hydraulic conductivity of soil surface under different covers (millet, groundnut, fallow) of center Senegal

SÉGUI Luc (1), ESTÈVES Michel (2), PLANCHON Olivier (2)

(1) Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France

(2) Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

L'étude est localisée dans un paysage agricole dominé par la rotation annuelle mil-arachide. Les travaux avant semis dénudent le sol, sableux en surface, ce qui induit, en début de saison des pluies, des écoulements intenses. Le développement des couverts végétaux s'associe ensuite à une baisse des coefficients de ruissellement. Périodiquement, les sarclages modifient la surface des sols. L'étude du comportement hydrodynamique de la couche superficielle des sols apparaît donc primordiale pour modéliser le ruissellement. Parmi les appareils de détermination *in situ*, l'infiltromètre à succion contrôlée permet un travail, en conditions non saturées, sur de faibles épaisseurs de sol.

Cet outil a été utilisé pour caractériser chaque couvert (mil, arachide et jachère) lorsqu'on supposait une modification conséquente de l'état de surface (pluie importante, travail cultural, développement important de la végétation sur la jachère). Réalisés avec un disque de 0,25m de diamètre, les essais ont été menés sous des succions imposées de -10, -25, -60 et -120 mm. L'analyse des flux d'infiltration en régime permanent a permis d'identifier d'importants changements dans la conductivité au voisinage de la saturation au cours de la saison:

- Avant semis, les caractéristiques hydrodynamiques dépendent du précédent cultural (la récolte antérieure de l'arachide déstructure le sol tandis que celle du mil, non). La conductivité à saturation est de 50 mm.h⁻¹ avec un précédent mil et de 20 mm.h⁻¹ avec un précédent arachide. Sur la jachère, le pâturage tasse le sol pendant la saison sèche (conductivité à saturation de 15 mm.h⁻¹).
- Après semis, sur arachide, par glaçage et compaction du sol sous l'impact des pluies, la conductivité diminue jusqu'à 15 mm.h⁻¹, en fin de saison. Sur mil, la conductivité à saturation atteint 35 mm.h⁻¹ après le dernier sarclage et conserve cette valeur ensuite. De juillet à août avec le développement du tapis herbeux, la conductivité à saturation du sol de jachère passe de 20 à 60 mm.h⁻¹.
- Les sarclages sur sol humide augmentent la macroporosité interagrégat. Cependant, les agrégats fondant très rapidement, les conductivités retrouvent leurs valeurs antérieures.

Keywords : tension infiltrimeter, Senegal, millet, groundnut, fallow

Mots clés : infiltromètre à succion contrôlée, Sénégal, mil, arachide, jachère

Enregistrement scientifique n° : 519
Symposium n° : 20
Présentation : poster

**Changements saisonniers de la conductivité
hydraulique de la surface d'un sol sous différents
couverts (mil, arachide, jachère) au Centre Sénégal**
**Seasonal changes of the hydraulic conductivity of soil
surface under different covers (millet,
groundnut, fallow) of center Senegal**

SÉGUIS Luc (1), ESTÈVES Michel (2), PLANCHON Olivier (2)

(1) Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France

(2) Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

1. Situation et problématique

Le site d'étude, au sud du Sine Saloum à proximité de la frontière gambienne, se caractérisait originellement par une savane arborée. Depuis une vingtaine d'années, sous les actions conjuguées d'une forte pression démographique (68 hab./km²) et de la vulgarisation de la traction attelée, les surfaces cultivées sont devenues majoritaires aux dépens des surfaces naturelles (forêts et jachères) (79% en 1992 contre 22% en 1970) (Monimeau, 1992). Mil et arachide sont cultivés sur des sols sableux durant la saison des pluies (juillet à septembre, 850 mm de précipitation interannuelle) avec une rotation annuelle. Les travaux avant semis entraînent une dénudation du paysage qui induit, en début de saison des pluies, des écoulements et une érosion associée intenses (Perez, 1994). Avec le développement des couverts végétaux au cours de l'hivernage, on observe une diminution des coefficients d'écoulement à l'échelle de la parcelle (50 m²) ou du versant (Séguis, 1996). Périodiquement, les sarclages et désherbages modifient la surface du sol. L'étude du comportement hydrodynamique de la couche superficielle des sols apparaît donc primordiale pour modéliser ensuite le ruissellement. Les méthodes classiques *in situ* (double-anneaux Muntz, perméamètre de Guelph (Taha, 1995)) permettent d'accéder à la conductivité hydraulique à saturation, par la mesure de flux infiltrés sous charge constante. Dans ces méthodes, l'épaisseur de sol mis en jeu lors de l'infiltration est supérieure aux premiers centimètre du sol à caractériser. Au contraire, l'infiltromètre à succion contrôlée (Perroux et White, 1988) présente l'avantage de pouvoir travailler *in situ*, en conditions non saturées, sur de faibles épaisseurs de sol (Vandervaere, 1995). Il permet la détermination des valeurs de la conductivité hydraulique ou de la sorptivité sous une gamme de pression comprise entre 0 et -200 mm d'eau.

2. Protocole de mesures et méthode

2.1. Les mesures

Une caractérisation hydrodynamique de chaque couvert (mil, arachide ou jachère)(2 essais pour des succions de 10, 25, 60 et 120 mm) était effectuée lorsqu'on supposait une modification de l'état de surface (pluie importante renforçant la croûte, travail cultural, développement important de la biomasse végétale sur la jachère). Une série de mesures était faite en surface puis une autre, à proximité, après décapage des premiers centimètres de sol afin d'évaluer un éventuel gradient des caractéristiques du sol. Les précipitations journalières et les dates des travaux culturaux et des essais d'infiltrations sont présentées sur la figure 1. Des essais effectués en octobre 1995 sur les 3 couverts ont été ajoutés à cet échantillon pour avoir un état de fin de saison.

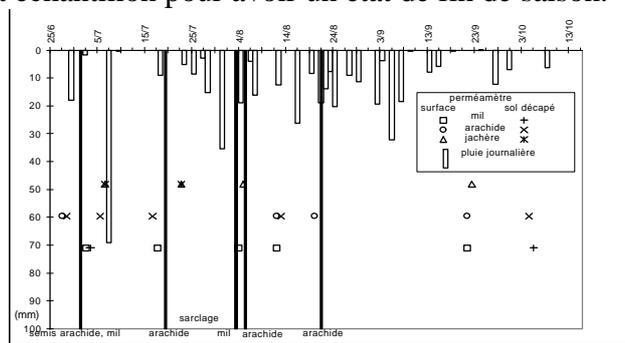


Figure 1 - Précipitations journalière en 1996, dates des travaux culturaux et des essais d'infiltration

2.2. Théorie

Nous avons dépouillé les données par l'analyse du régime permanent (Ankeny et al., 1991). L'analyse du régime permanent est fondée sur la solution de Wooding (1968) étendue à des potentiels h_0 faiblement négatifs :

$$q_{\infty} = K_0 + \frac{4\Phi_0}{\pi r} \quad (1)$$

avec q_{∞} flux d'infiltration stabilisée [$L.T^{-1}$],
 K_0 conductivité hydraulique sous h_0 ,
 r rayon du disque d'alimentation et
 Φ_0 potentiel d'écoulement à h_0 , [$L^2.T^{-1}$] défini par :

$$\Phi_0 = \int_{h_i}^{h_0} K(h) dh \quad (2)$$

avec h_i pression initiale dans le sol supposée constante sur le profil et négligeable devant h_0 .

De par le protocole retenu (essais d'infiltration sous différents potentiels), seule la méthode d'analyse multi-potentiels (Ankeny et al., 1991 ; Reynolds et Elrick, 1991) était applicable. K et Φ sont déterminés en un point à partir des flux infiltrés sous deux potentiels.

En supposant une formulation exponentielle de la conductivité hydraulique (Gardner, 1958), l'expression (2) devient :

$$\Phi_0 = \int_{h_1}^{h_0} K_s \exp(\alpha h) dh \quad (3)$$

avec K_s conductivité hydraulique à saturation [$L.T^{-1}$] et α paramètre de forme [L^{-1}]. L'expression (3) une fois intégrée et en supposant $K(h_1)$ négligeable devant $K(h_0)$ prend la forme :

$$\Phi_0 = \frac{K_0}{\alpha} \quad (4)$$

Par remplacement du potentiel d'écoulement par l'expression (4), la solution de Wooding (1) pour deux potentiels imposés prend la forme :

$$\begin{aligned} q_{1,\infty} &= K_1 \left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right) \\ q_{2,\infty} &= K_2 \left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

L'équation supplémentaire nécessaire à la résolution de ce système à 3 inconnus est obtenue en supposant linéaire l'évolution de Φ entre h_1 et h_2 :

$$\Phi_2 - \Phi_1 = (h_2 - h_1) \frac{(K_1 + K_2)}{2} \quad (6)$$

soit d'après (4),

$$\alpha = \frac{2(K_2 - K_1)}{(h_2 - h_1)(K_1 + K_2)} \quad (7)$$

De (5) et (7), on déduit K_1 et K_2 . Par couple successif de flux infiltrés en régime permanent, on déduit les conductivités hydrauliques correspondantes. Dans notre protocole, les mesures étaient faites pour 4 potentiels imposés (-10 mm, -25 mm, -60 mm et -120 mm). La conductivité hydraulique à retenir là où deux estimations sont possibles (pour un potentiel de -25 mm et -60 mm) est prise comme la moyenne arithmétique des deux estimations. Ainsi,

$$K(-25) = \left(\frac{K(-25)_{-10,-25} + K(-25)_{-25,-60}}{2} \right) \quad (10)$$

La notation $K(-25)_{-10,-25}$ signifie la conductivité hydraulique pour le potentiel -25 déduite du couple d'essais d'infiltration sous les potentiels imposés de -10 et -25 mm.

3. Résultats et interprétation

Sur les conductivités hydrauliques déduites des couples successifs de flux infiltrés en régime permanent, nous avons ajusté une fonction exponentielle de paramètre K_s et α . Les résultats sont présentés par état de surface.

3.1. Sol couvert en arachide

D'une date à l'autre, les caractéristiques hydrodynamiques (figure 2) présentent une évolution cohérente avec les observations de terrain. Le 29 juin, le régime permanent

n'est atteint que dans les essais sur sol décapé. Les conductivités sont fortes pour les pressions supérieures à -40 mm. Le sol est structuré de par le précédent cultural en mil. En effet, à la récolte du mil l'année précédente, seuls les épis sont coupés, les tiges et les adventices demeurent en place, le sol n'est pas remanié et les macropores sont importants. Sur l'essai sur sol décapé, le 5 juillet, après le semis, le sol est déstructuré, la conductivité diminue mais la forte concavité vers le haut de la courbe indique encore la présence de macropores pour des pressions supérieures à -20 mm. Cette forte concavité des valeurs de conductivités déduites des flux infiltrés stabilisés est mal rendue par une forme exponentielle simple. L'ajustement exponentiel donne ainsi des conductivités proches de 0 mm.h⁻¹ pour des pressions de -60 et -120 mm alors qu'elles étaient respectivement égales à 4 et 3 mm.h⁻¹. Les courbes obtenues aux dates suivantes sont très voisines. Les valeurs plus faibles des conductivités à saturation déterminées le 17 octobre 1995 et le 19 août 1996 sont attribuables à l'absence de données exploitables pour une pression de -10 mm, l'ajustement s'appuyant uniquement sur les pressions inférieures ou égales à -20 mm. Les conductivités en surface et après décapage (11 et 12/8/1996, 20/9 et 4/10/1996) sont similaires : ce qui semblerait indiquer un rôle relativement mineur joué par la croûte structurale comme barrière hydraulique.

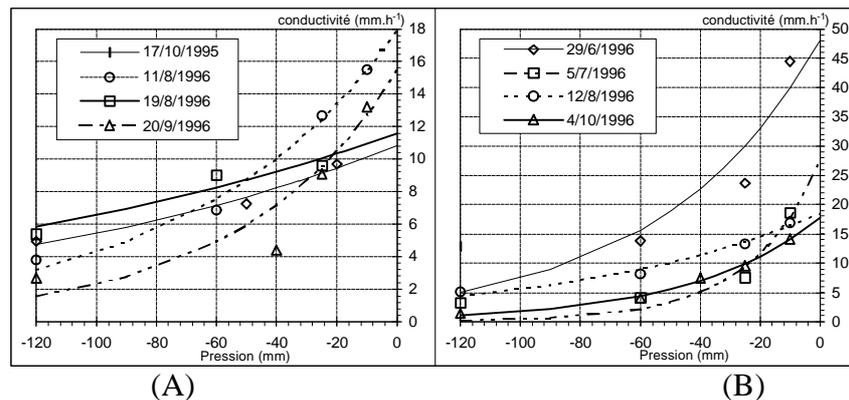


Figure 2 - Relation entre la conductivité hydraulique et la pression sous couvert d'arachide ((A) : en surface, (B) : après décapage)

3.2. Sol couvert en mil

Les relations conductivité-pression sont présentées sur la figure 3. Le 2 juillet, du fait du précédent cultural en arachide, le sol a été déstructuré fin novembre 1995 lors de la récolte des gousses enterrées. Les 18 mm précipités le 29 juin ont glacé le sol. La courbe conductivité-pression présente une faible concavité vers le haut et est très analogue à celle observée sur l'arachide le 11 août à la suite d'un sarclage et de 20 mm précipités. Le 3 août, sur le sol sarclé, le régime permanent n'a pas été atteint. D'août à octobre, en l'absence de sarclage, on observe des conductivités plus fortes pour les faibles succions attribuables probablement à un développement des adventices entre les rangs de mil.

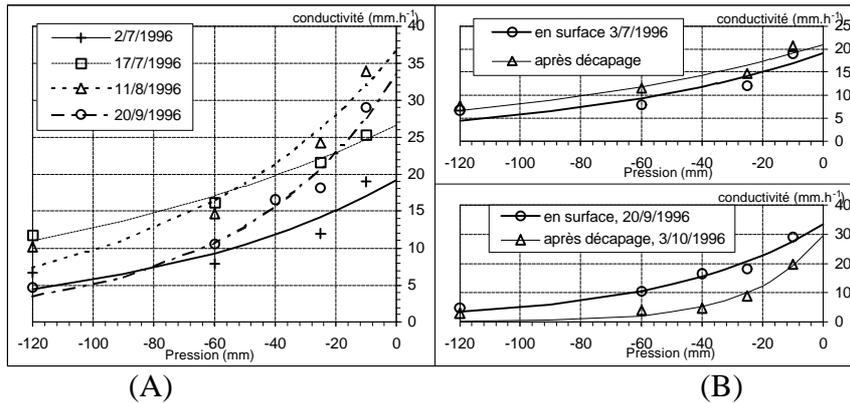


Figure 3 - relation conductivité-pression sous couvert de mil
 ((A) : en surface ; (B) : en surface et après décapage)

Tout comme pour l'arachide, les essais en surface ou après décapage, présentent des caractéristiques hydrodynamiques voisines.

3.3. Sol en jachère

La jachère, en début de saison (6/7/1996), présente des courbes assez comparables à celle du sol couvert en mil le 2 juillet (figure 4). Le couvert végétal de l'année précédente a totalement disparu. Sous l'action du pâturage durant la saison sèche, le sol a du perdre par tassement sa macroporosité en surface. Début août, la végétation couvre tout le sol. Lorsqu'on rase le tapis herbeux pour effectuer les essais d'infiltration, on distingue des turricules de vers en surface, indices de macropores nombreux. La conductivité hydraulique des fortes pressions (0 à -20 mm) augmente. Des courbes de conductivité similaires se retrouvent en fin de saison des pluies (17/10/1995 ou 21/9/1996).

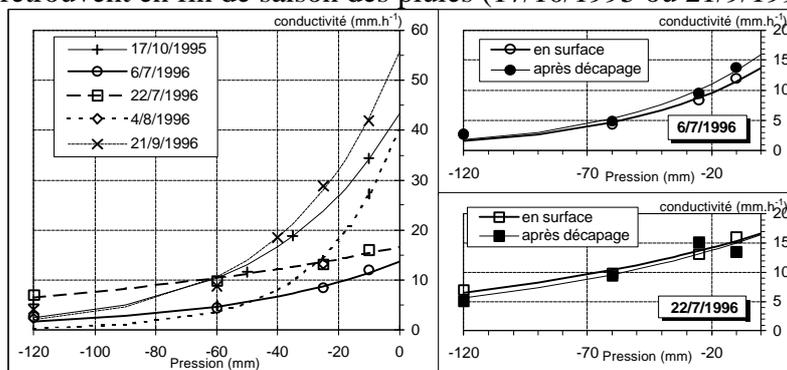


Figure 4 - Relation conductivité-pression sur jachère

Les essais en surface ou après décapage des premiers centimètres (6/7 et 22/7/1996, cf. figure 4) présentent les mêmes résultats. Ce qui indique qu'il n'y a pas, à ces dates, de différenciation de la structure du sol sur ces premiers centimètres.

3.4. Variation du paramètre de forme sur les différents couverts

Les variations du paramètre de forme de la formulation exponentielle de la conductivité hydraulique sont plus délicates à interpréter (figure 5).

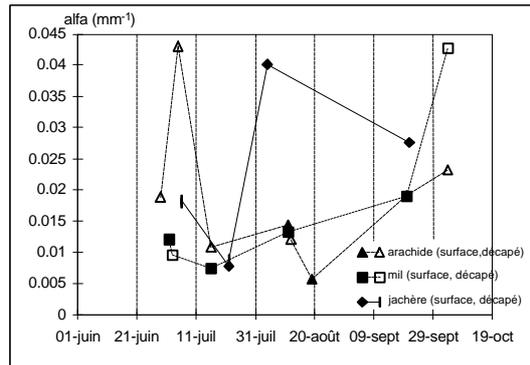


Figure 5 - Paramètre de forme **durant la saison des pluies 1996**

En début de saison, **est faible (0,01 mm⁻¹)** sur le sol couvert en mil de par le précédent arachide ayant déstructuré le sol. Pour le sol couvert en arachide, la première valeur déterminée sur le sol issu du précédent mil est sous-estimé par l'ajustement retenu (figure 4). Ensuite, les sarclages successifs entraînent d'abord une diminution du paramètre suivi d'une augmentation à partir d'août principalement sur jachère et mil en liaison avec le développement de macropores d'origine faunique ou créés par les racines.

4. Conclusions

L'analyse en régime permanent a permis d'identifier d'importants changements dans la conductivité à saturation au cours de la saison des pluies sur les trois couverts (figure 6) :

- Avant semis, le sol allant recevoir le mil est déstructuré, la conductivité à saturation est de l'ordre de 20 mm.h⁻¹. La même valeur a été obtenue sur la jachère dénudée. Cette faible valeur pour la jachère, compte tenu que son sol n'est pas travaillé, peut s'expliquer par le tassement du sol sous l'effet du pâturage durant toute la saison sèche (Holt *et al.*, 1996). Sur l'arachide avant semis, la présence de macropores dans le sol structuré suite au précédent mil induit une conductivité à saturation de 50 mm.h⁻¹.

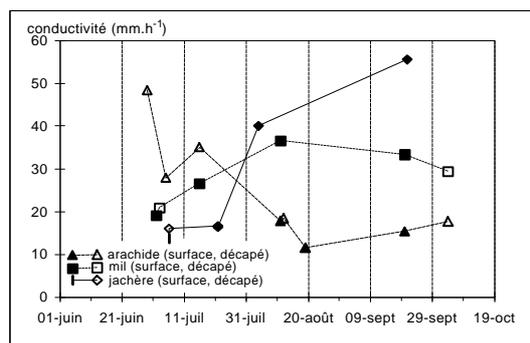


Figure 6 - Conductivité hydraulique à saturation **durant la saison des pluies 1996**

- Après semis, sur arachide, on observe une diminution de la conductivité : elle est de 15-20 mm.h⁻¹ en fin de saison, ceci est attribué au glaçage et à la compaction du sol en surface sous l'impact des gouttes de pluies. Sur mil, la conductivité à saturation dépasse 30 mm.h⁻¹ (11 août) après le dernier sarclage et conserve cette valeur jusqu'à

la fin de la saison. Ce comportement différent de celui de l'arachide pourrait être attribué au développement plus important d'adventices entre les rangs de mil, le mil étant moins couvrant que l'arachide. De juillet à août avec le développement du tapis herbeux sur toute la surface du sol, la conductivité à saturation du sol de jachère passe de 20 à 55 mm.h⁻¹. Une forte valeur avait également été observée à la fin de l'hivernage 1995 (44 mm.h⁻¹). Par analyse du régime permanent, Vandervaere (1995) trouve des valeurs sensiblement plus fortes sur des parcelles de mil et de jachère en fin de saison des pluies (K_s de 194 mm.h⁻¹ et α de 0,043 mm⁻¹ pour la jachère, K_s de 61 mm.h⁻¹ et α de 0,017 mm⁻¹ pour le mil).

- Les sarclages sur sol relativement humide ont probablement pour conséquence d'augmenter la macroporosité interagrégat. Les essais d'infiltration consécutifs au sarclage du mil, début août, n'ont pas permis d'atteindre le régime permanent. Cependant, les agrégats fondent très rapidement et les conductivités présentent des valeurs relativement faibles: après un sarclage suivi d'une pluie de 20 mm, la conductivité de l'arachide est de 18 mm.h⁻¹.

En dernier lieu, le rôle de barrière hydraulique de la croûte structurale dans les interbillons de mil ou d'arachide, ou de l'horizon à forte densité racinaire sur la jachère n'a donc pu être mis clairement en évidence par les quelques essais couplés (surface et après décapage).

Remerciements

Nous sommes particulièrement reconnaissants à R. A. Jaramillo et J.-P. Vandervaere du Laboratoire d'Étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (Grenoble, France) pour leurs conseils lors du dépouillement.

Bibliographie

- ANKENY, M.D., AHMED, M., KASPAR, T. et HORTON, R., 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, pp. 467-470.
- GARDNER, W.R., 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.*, 85, p. 228-232.
- HOLT J.A., BRISTOW K.L. et McIVOR J.G., 1996. The effect of grazing pressure on soils animals and hydraulic properties of two soils in semi-arid tropical Queensland. *Austr. J. Soil Res.*, 34, pp. 69-79.
- MONIMEAU, A., 1992. Projet d'aménagement de la ravine de Sonkonrong. Perspectives pour un aménagement intégré d'un bassin versant. Siné-Saloum, Sénégal. Mémoire d'ing. CNEARC-ESAT, Montpellier 65 p. plus annexes.
- PEREZ P., 1994. Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du sud Saloum (Sénégal). Du diagnostic à l'aménagement de parcelle. Thèse de doctorat sci. agronom.. E.N.S.A., Montpellier (France), 250 p.
- PERROUX K.M. et WHITE I., 1988. Designs for disc permeameters. *Soil sci. soc. Am. Journal*, 52, 5, p. 1205-1215.

- REYNOLDS, W.D. et ELRICK, D.E., 1991. Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54, pp. 633-639.
- SÉGUI S L., 1996. Microbassin S5. Rapport hydrologique. Hivernage 1995. Thysse Kaymor (Sénégal). Rapport interne. ORSTOM éd., Dakar (Sénégal), 22 p. plus annexes.
- TAHA A., 1995. Étude expérimentale et numérique de la contribution des eaux infiltrées à la formation des débits des crues en zone méditerranéenne - Application à un versant du Real Collobrier. . Thèse. Université J. FOURIER - Grenoble (France), 271 pp.
- VANDERVAERE J.-P., 1995. Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie a disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroutés.. Thèse. Université J. FOURIER - Grenoble (France), 329 pp.
- WOODING, R.A., 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Resour. Res.*, 4, pp. 1259-1273.

Keywords : tension infiltrometer, Senegal, millet, groundnut, fallow

Mots clés : infiltromètre à succion contrôlée, Sénégal, mil, arachide, jachère