

DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION D'UN COUVERT VEGETAL A PARTIR DE PROFILS HYDRIQUES ETABLIS A LA SONDE A NEUTRONS

M. ELDIN
Office de la recherche scientifique
et technique outre-mer,
Paris, France

Abstract — Résumé

DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION IN A PLANT COVER, BASED ON NEUTRON GAUGE RECORDINGS OF WATER PROFILES. After describing the principle of the method used and the measurement installation set up on the Ivory Coast by ORSTOM (Overseas Scientific and Technical Research Organization), the author describes the results obtained. From a statistical analysis of these results one can determine the accuracy which can be anticipated from the method and the extent to which different factors are responsible for the scatter of the measurement values.

DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION D'UN COUVERT VEGETAL A PARTIR DE PROFILS HYDRIQUES ETABLIS A LA SONDE A NEUTRONS. Après avoir décrit le principe de la méthode utilisée et l'installation de mesure qui a été mise en place en Côte d'Ivoire par l'ORSTOM, l'auteur présente les résultats obtenus. Une analyse statistique de ces derniers permet de définir la précision que l'on peut attendre de la méthode et quelle part revient aux différents facteurs responsables de la dispersion des mesures.

INTRODUCTION

L'objet de l'installation et de la méthode décrites ici est la mesure des pertes en eau d'une couverture végétale dans les conditions naturelles par évaporation du sol et transpiration des végétaux (évapotranspiration).

Il est, pensons-nous, inutile d'insister sur l'intérêt de la connaissance de l'évapotranspiration réelle dans les problèmes agronomiques (détermination des doses et des rythmes d'irrigation), hydrologiques (terme important, et souvent mal connu, du bilan hydrique des bassins versants), pédologiques (mouvements de l'eau dans le sol), etc.

METHODE

Nous ne nous étendrons pas sur le principe de la méthode qui consiste, rappelons-le, à établir avec un humidimètre à neutrons des profils verticaux d'humidité volumique du sol au début et à la fin d'une période de mesure, et à calculer la quantité d'eau qui a été gagnée ou perdue par le sol durant cette période, par comparaison de ces deux profils hydriques.

TABLEAU I. RESULTATS COMPLETS DU TUBE n° 5 - ANALYSE STATISTIQUE

i \ j	5 mesures : x_{ij}					\bar{x}_i	$\sum_j x_{ij}$	$\sum_j x_{ij}^2$	$\sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	s^2
6/1	13,8	13,4	13,1	12,8	12,8	13,18	65,9	869,29	0,728	0,182
13/1	13,2	12,7	12,4	12,2	12,0	12,50	62,5	782,13	0,880	0,220
18/1	12,6	12,5	12,2	12,2	12,0	12,30	61,5	756,69	0,240	0,060
27/1	19,8	19,4	19,0	18,8	18,8	19,16	95,8	1836,28	0,752	0,188
3/2	11,2	11,2	10,9	10,4	10,4	10,82	54,1	586,01	0,648	0,162
10/2	12,4	12,3	12,3	11,7	11,4	12,02	60,1	723,19	0,788	0,197
17/2	8,7	8,3	7,9	8,0	8,0	8,18	40,9	334,99	0,428	0,107
24/2	6,3	6,0	6,0	5,9	5,9	6,02	30,1	181,31	0,108	0,027
1/3	8,6	8,3	8,3	8,0	8,1	8,26	41,3	341,35	0,212	0,053
7/3	8,8	8,5	8,6	8,6	8,6	8,62	43,1	371,57	0,048	0,012
8/3	9,5	9,1	9,0	8,8	8,7	9,02	45,1	407,19	0,388	0,097
17/3	8,6	8,3	8,0	8,0	8,0	8,18	40,9	334,85	0,288	0,072
24/3	8,7	8,4	8,1	8,0	8,1	8,26	41,3	341,47	0,332	0,083
31/3	8,2	7,9	7,8	7,8	7,5	7,84	39,2	307,58	0,252	0,063
8/4	9,0	8,7	8,6	8,4	8,4	8,62	43,1	371,77	0,248	0,062
14/4	8,8	8,3	8,8	7,3	7,2	8,08	40,4	328,90	2,468	0,617
22/4	14,5	14,6	14,7	15,6	15,5	14,98	74,9	1123,11	1,108	0,277
5/5	15,3	15,3	14,6	14,7	14,9	14,96	74,8	1119,44	0,432	0,108
12/5	14,1	13,6	13,7	13,3	13,5	13,64	68,2	930,60	0,352	0,088
20/5	13,4	13,0	12,8	14,8	14,9	13,78	68,9	953,45	4,008	1,002
Total							1092,1	13001,17		

i = dates, j = ordre des cinq mesures horizontales (Z = 120 cm).

DISPOSITIF UTILISE

L'originalité du dispositif décrit ici réside dans le fait que les mesures à la sonde à neutrons ont été effectuées dans des tubes installés horizontalement dans le sol. Une tranchée permet d'accéder à l'ouverture de ces tubes. Ils ont environ trois mètres de long, ce qui permet de faire de nombreuses mesures en dehors de la zone voisine de l'extrémité ouverte des tubes. Ils sont installés aux profondeurs suivantes:

- 2 tubes à 10 cm de profondeur
- 2 tubes à 15 cm de profondeur
- 1 tube à 25, 40, 60, 80, 100, 120, 160, 200, 235 et 270 cm de profondeur.

Par rapport au dispositif classique de mesure sur tubes verticaux, cette installation présente les avantages suivants:

1) On peut multiplier les mesures le long de cet axe pour une étude très fine de l'hétérogénéité du sol.

En ce qui nous concerne, nous avons effectué cinq mesures par tube à 50 cm les unes des autres lorsque le but recherché était l'établissement d'une moyenne pour la construction d'un profil hydrique et le calcul de l'évapotranspiration, et dix mesures par tube à 25 cm les unes des autres pour des études plus fines de l'hétérogénéité du sol.

2) L'opérateur ne peut pas commettre d'erreur sur la profondeur à laquelle il travaille, puisqu'il revient toujours sur le même tube, d'une série de mesures à l'autre.

3) Les mesures effectuées sur un tube, c'est-à-dire pour une profondeur déterminée, se suivent sans interruption. On évite ainsi, d'une part, les changements d'humidité qui peuvent se produire dans le profil lorsqu'un temps assez important (4 à 5 heures, par exemple) s'écoule entre les mesures faites sur le premier et le dernier tube vertical, d'autre part, les variations lentes du coefficient d'étalonnage dues, par exemple, à des changements de température (échauffement des appareils).

Pour des raisons de commodité nos mesures ont été faites sous une prairie de graminées (Paspalum notatum) mais il faut signaler que cette méthode de mesure de l'évapotranspiration réelle est applicable à n'importe quel couvert végétal, y compris la forêt, ce qui en augmente encore l'intérêt.

RESULTATS

Des mesures ont été faites chaque semaine, au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, à 18 km d'Abidjan, entre le 6 janvier (début de la grande saison sèche) et le 20 mai 1969 (saison des pluies déjà bien établie), soit 20 séries de 80 mesures d'humidité volumique. Il serait fastidieux de reproduire ici les valeurs numériques correspondant à ces 1600 mesures. Nous donnons simplement, pour illustrer notre commentaire, les résultats complets concernant l'un des tubes (tableau I) et l'ensemble des moyennes obtenues pour chaque tube, à chaque date de mesure (tableau II). On a choisi pour le tableau I les résultats du tube n° 5, situé à 120 cm de profondeur, c'est-à-dire vers le milieu du profil.

TABLEAU II. MOYENNES DE CINQ MESURES (Humidité volumique)

Dates		6/1	13/1	18/1	27/1	3/2	10/2	17/2	24/2	1/3	7/3	8/3	17/3	24/3	31/3	8/4	14/4	22/4	5/5	12/5	20/5
Z	N																				
10	14	5,7	4,8	7,3	4,7	3,6	4,3	3,9	2,5	3,2	3,6	4,8	4,2	3,8	5,3	7,1	9,6	7,8	7,7	5,2	11,2
20	13	6,9	5,9	9,1	2,5	4,4	2,9	2,6	2,6	3,8	3,8	5,9	5,1	2,4	6,8	8,3	10,8	8,9	8,4	5,4	9,9
15	12	8,2	6,5	9,6	3,9	4,7	3,4	3,4	2,3	3,5	4,8	5,4	5,1	3,1	6,6	8,6	11,6	8,5	7,9	5,3	11,7
15	11	6,5	4,8	6,5	4,7	3,3	2,4	4,3	1,7	2,3	4,6	3,2	3,9	4,0	5,0	9,3	7,6	7,7	7,5	4,3	12,4
25	10	8,4	6,5	7,1	4,6	3,8	3,4	4,0	3,1	3,6	5,1	4,0	5,1	3,9	6,1	-	12,8	9,7	8,2	6,1	12,0
40	9	9,2	7,4	6,9	5,3	2,8	4,4	4,2	3,9	4,2	4,6	3,8	7,4	4,9	5,3	7,8	13,3	10,8	8,9	7,2	13,1
60	8	8,7	7,5	6,8	5,7	3,7	4,4	4,1	3,4	4,3	4,3	3,6	6,6	5,0	4,1	7,0	12,4	10,8	10,2	7,8	13,2
80	7	9,3	8,5	8,0	6,9	6,9	7,4	4,6	3,8	5,3	5,0	4,6	5,4	5,6	5,2	6,5	6,4	13,4	10,6	9,0	15,0
100	6	9,5	8,8	8,3	7,7	6,9	7,4	5,3	3,8	5,3	5,5	5,5	5,4	5,6	5,2	5,8	3,8	13,0	11,6	9,7	-
120	5	13,2	12,5	12,3	19,2	10,8	12,0	8,2	6,0	8,3	8,6	9,0	8,2	8,3	7,8	8,6	8,1	15,0	15,0	13,6	13,8
160	4	18,1	13,8	18,0	17,0	16,6	16,7	14,5	9,0	13,2	13,8	14,2	13,2	13,3	12,7	13,8	12,2	13,0	18,6	17,8	17,7
200	3	21,3	21,2	21,1	20,3	20,4	20,8	19,1	12,4	17,6	18,2	18,7	17,1	17,3	16,2	17,7	15,5	16,7	18,1	18,9	19,4
235	2	21,5	21,4	21,7	-	21,1	22,0	21,0	14,6	19,5	20,7	21,9	19,6	-	18,2	24,0	18,3	18,2	19,6	18,3	18,7
270	1	22,7	22,6	24,3	-	21,8	23,5	-	16,6	21,0	22,9	23,7	21,5	-	20,4	22,3	20,3	20,2	20,7	20,7	-

Z = profondeur en cm, N = numéro du tube.

On se propose tout d'abord d'étudier, par une analyse statistique des résultats, l'intervalle de sécurité des moyennes de 5 mesures obtenues pour chaque tube, à chaque date.

La normalité de la distribution de ces mesures a été testée par la méthode de S.S. Shapiro et M.B. Wilk (*Biometrika* 52 3 et 4 (1965) 591) particulièrement conçue pour les échantillons à faible effectif ($n < 50$). Pour toutes les séries de mesures étudiées, la conclusion du test a été que la distribution de ces mesures était normale au niveau de probabilité $P = 0,01$. On peut donc appliquer à ces valeurs le test t (Student-Fisher) pour déterminer l'intervalle de confiance des moyennes obtenues. Pour le tube 5 par exemple, on remarque que la variance des séries de 5 mesures se situe entre 0,012 et 1,002. On a:

$$\mu = \bar{x} \pm t \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$n = 5$

Degré de liberté: $\nu = 4$

$t_{0,05} = 2,776$

Prenons les valeurs du 7 mars: $\bar{x} = 8,62$, $S^2 = 0,012$. On a:

$$\mu = 8,62 \pm 0,14 \text{ au niveau } P = 0,05$$

Pour les valeurs du 20 mai, $\bar{x} = 13,78$, $S^2 = 1,002$, on a:

$$\mu = 13,78 \pm 1,24 \text{ au niveau } P = 0,05$$

Ainsi pour la presque totalité des séries de mesures il y a 95 chances sur 100 que la moyenne calculée soit comprise entre $\pm 1\%$ d'humidité volumique.

Il faut remarquer que l'amplitude de cet intervalle de confiance des moyennes est le résultat de la dispersion des mesures due aux erreurs de mesures, mais aussi à l'hétérogénéité du sol dans les différents plans horizontaux étudiés. Il est intéressant de poursuivre l'analyse statistique pour faire la part de chacun de ces facteurs de dispersion.

Après avoir aussi vérifié la normalité de la distribution des moyennes par le test de Shapiro et Wilk nous avons pratiqué sur cette population une analyse de variance à deux critères de classification, qui est résumée dans les tableaux I et III (tube 5).

Il faut noter qu'en plus de la source principale de dispersion que sont les variations d'humidité du sol d'une date à l'autre ($F = 392,73$), l'hétérogénéité du sol est un facteur de dispersion hautement significatif ($F = 6,88$, alors que $F_{0,01} = 3,48$) bien que ces mesures aient été faites dans des sables tertiaires d'apparence très homogène.

Par contre la variance de l'erreur est très faible, et on est ainsi amené à la conclusion que la sonde à neutrons (humidimètre à neutrons CGEI type 310) est un appareil précis et fidèle. Cette précision de l'appareillage étant mise en évidence il faut expliquer un certain nombre d'anomalies qui apparaissent sur le tableau II.

TABLEAU III. ANALYSE DE VARIANCE

Source de variation	Degré de liberté	Somme des carrés	Variance	F _{observée}	F _{0,01}
Date	19	1059,64	55,77	392,73	2,34
Sol	4	3,91	0,977	6,88	3,48
Erreur	76	10,80	0,142		
Total	99	1074,35			

On remarque, par exemple, l'écart d'humidité volumique existant pour une même date entre les tubes 11 et 12 d'une part, et 13 et 14 d'autre part. Ces tubes sont pourtant installés 2 à 2 à la même profondeur. Cet écart atteint parfois 3%.

Les mesures en surface (10 et 15 cm) ont été effectuées avec la même sonde en recouvrant le sol avec un réflecteur en natène. Il est possible que cette méthode soit la source d'une erreur supplémentaire. Il est d'autre part vraisemblable que le sol est beaucoup plus hétérogène en surface qu'en profondeur (à cause de la présence d'une quantité importante de racines, entre autres facteurs).

Sur les profils obtenus après des chûtes de pluie importantes, il arrive qu'à certaines profondeurs l'humidité atteigne des valeurs anormalement élevées. Il semble que ces valeurs soient dues à des mouvements d'eau libre dans un sol non totalement ressuyé et dont le profil hydrique n'a pas encore atteint son équilibre.

En période de sécheresse prolongée (fin de la grande saison sèche) le dessèchement du sol se poursuit bien en dessous de la zone de développement des racines. C'est ainsi que nous remarquons des variations d'humidité à 270 cm de profondeur alors que des études sur le système racinaire de Paspalum notatum ont montré que 95% des racines (en poids) se trouvaient dans la tranche de sol 0-200 cm.

CONCLUSIONS

Des remarques précédentes nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

La sonde à neutrons, employée dans de bonnes conditions, est un appareil précis et fidèle en dessous de 15 cm de profondeur.

Dans l'état actuel de la technologie des mesures de surface, il semble sage de procéder dans les 15 premiers cm de sol par prélèvements d'échantillons pour en déterminer l'humidité par dessèchement à l'étuve à 110°C.

Il est nécessaire d'établir les profils hydriques jusqu'à une profondeur bien inférieure à celle correspondant à la limite d'action directe des racines dans le sol.

Suivant le type du sol, il est souvent nécessaire d'attendre un à plusieurs jours après une grosse pluie ou une irrigation abondante pour pouvoir établir valablement un profil hydrique.

Ces précautions étant prises, la sonde à neutrons constitue un des moyens les plus commodes de détermination de l'évapotranspiration réelle à l'échelle de la semaine ou de la décade.

DISCUSSION

H. MASSON: Did you measure the light in the plant cover that you studied?

M. ELDIN: No, that was not the purpose of our experiment.

H. POLLAK: What is the effect of plant cover on evapotranspiration and on variations in the depth of evapotranspiration?

M. ELDIN: Two cases have to be considered: a real evapotranspiration regime and a potential or ideal evapotranspiration regime. On the former, when the supply of water is not optimal, plant cover exerts a significant effect, and this effect is related to the nature of the cover, its underground and aboveground development, and so on. But it is a fair approximation to say that on a potential evapotranspiration regime plant cover has no significant effect. In the extreme case, a very wet bare soil evaporates just as much as a soil with abundant plant cover - as long as it remains well supplied with water.

Reprint from
"PEACEFUL USES OF ATOMIC ENERGY IN AFRICA"

1969 Kinshasa

ELDIN

15 FEV. 1974

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

VIENNA, 1970

O. P. S. T. O. M.

Collection de Référence

6654 Agro