

**contribution à l'étude des remontées capillaires  
sous culture cotonnière  
de décrue du nord-ouest de madagascar**

P. MOUTONNET

L'alternance d'une saison de fortes pluies et d'une saison sèche stricte confère aux sols alluviaux de la région de Majunga un régime hydrique particulier que l'agriculteur exploite au mieux en culture de décrue.

On présente dans cet article trois techniques d'étude différentes et complémentaires dont l'association apporte des informations qualitatives et en partie quantitatives sur l'utilisation des réserves hydriques par les cotonniers.

En contrôlant les réserves d'eau, l'humidimètre à neutrons fournit une valeur de l'évapotranspiration réelle. La mesure de la pression de l'eau dans le sol nous renseigne sur la participation au mouvement potentiel de la nappe phréatique. Enfin le tritium choisi comme l'indicateur nucléaire de l'eau donne une idée de l'amplitude des remontées capillaires.

Les sols alluviaux, ou baibocho, de la région de Majunga se caractérisent par un régime hydrique très particulier que l'agriculteur exploite au mieux en cultures de décrue. La pluviométrie annuelle est de 1 200 à 1 400mm tombant essentiellement du début Décembre à fin Mars. Les huit autres mois de l'année connaissent une saison sèche stricte. Dès la fin de la saison des pluies, on procède aux façons culturales de surface, puis dans le cas qui nous intéresse au semis du coton. On est alors mi-Avril et la nappe phréatique se situe - sur des sols la plupart du temps submergés en saison des pluies - à moins de 1 mètre de la surface. La plante va s'alimenter pendant les cinq mois de son cycle végétatif, sur les réserves hydriques du sol d'une part, et éventuellement sur l'eau libre de la nappe phréatique dont le niveau baisse régulièrement de un à deux centimètres par jour. Le potentiel agricole (1) du sol dépend essentiellement de son aptitude à couvrir les besoins hydriques de la plante pendant au minimum 120 jours. Cette aptitude est liée à la capacité de rétention du milieu et aussi à l'importance des remontées capillaires (2). L'humidimètre à neutrons permet de suivre en cours de campagne, l'évolution des réserves hydriques du sol. Mais il ne donne que l'aspect statique du phénomène, ce qui est insuffisant dans le cas de forces capillaires importantes pouvant provoquer une dynamique de l'eau à humidité volumique sensiblement constante. La mise en place à différents niveaux de tensiomètres et de sources d'eau tritiée répond au souci que nous avons eu de suivre au plus près l'évolution de l'eau du sol.

## 1 - IMPLANTATION DES DISPOSITIFS DE MESURE

La parcelle réservée aux essais (20 x 20 m) est pourvue de trois tubes d'accès de sonde à neutrons disposés selon une diagonale du carré ainsi délimité. (Figure n° 1).

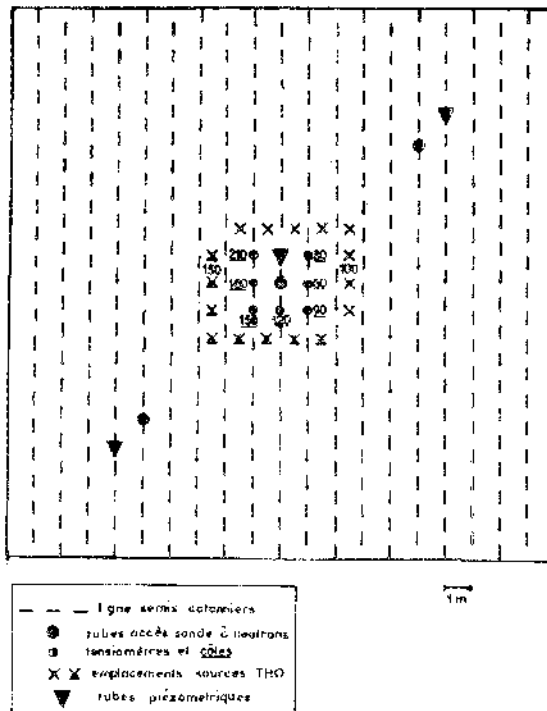


FIGURE N° 1  
IMPLANTATION DES DISPOSITIFS  
DE MESURE

Le tube central est bordé de 7 tensiomètres disposés de 30 en 30 cm jusqu'à une profondeur maximum de 2,10 m.

Seize sources d'eau tritiée ont été mises en place de façon non destructive aux profondeurs de 1 m et 1,50 m suivant les quatre côtés d'un rectangle de 4 x 5 m. Enfin, trois tubes piézométriques permettent un contrôle permanent du niveau de la nappe.

### 1.1 - Mesure neutronique de l'humidité du sol

Les comptages, effectués de 10 en 10 cm sur une tranche de sol de 2 mètres d'épaisseur, sont enregistrés pour chacun des tubes, suivant un rythme bi-mensuel. L'étalonnage au champ a donné une droite d'équation :

$$Hv \% = 0,217 N - 3,4$$

pour un sol de densité apparente comprise entre 1 et 1,2 g/cm<sup>3</sup> et une valeur eau de la sonde de 480 ips. L'ensemble des profils hydriques obtenus sur le tube central de la parcelle, est représenté sur la Figure N° 2.

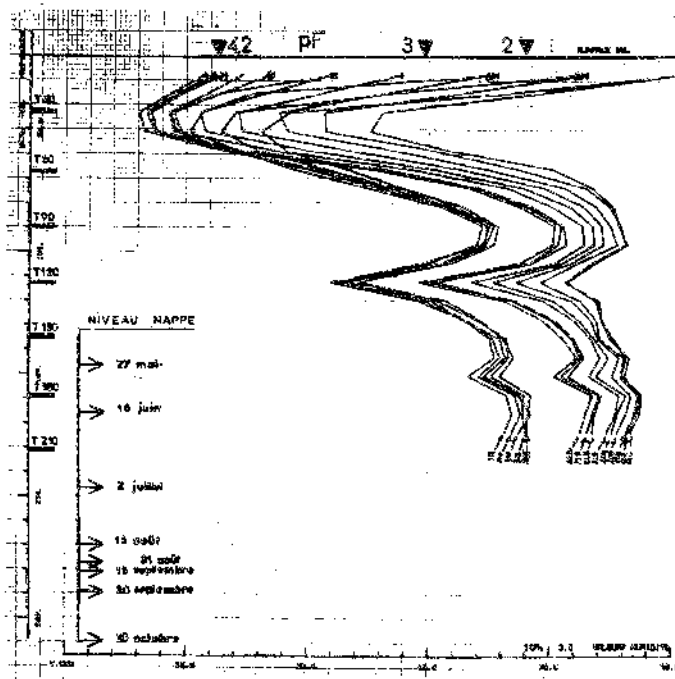


FIGURE N° 2  
ENSEMBLE DES PROFILS NEU-  
TRONIQUES RELEVÉS SUR LE  
TUBE CENTRAL DE LA PARCEL-  
LE D'ESSAIS

A chaque profil est attaché un nombre correspondant au numéro du jour dans l'année où celui-ci a été obtenu. On observe une série de profils hydriques se déplaçant parallèlement au profil initial vers des taux d'humidité de plus en plus faibles.

On indique, en abscisse, les humidités équivalentes aux pF2, pF3 et pF4, 2 ainsi que les positions successives de la nappe phréatique. On a noté le long de l'axe des ordonnées, l'emplacement occupé par chaque tensiomètre : il est intéressant de le préciser par rapport à l'allure générale du profil. On note entre 30 et 60 cm de profondeur, ainsi qu'au niveau 120, une discontinuité assez marquée résultant d'un enrichissement sableux du sol. La Figure N° 3 donne le détail des granulométries déterminées à différentes profondeurs pour les tubes marginaux.

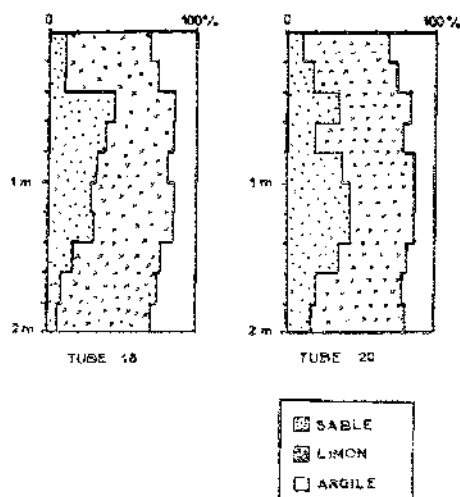


FIGURE N° 3  
ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SOL  
SUR LA PARCELLE D'ESSAIS

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

On relève la discontinuité déjà observée entre les 40 premiers centimètres plus argileux, et le sous-sol plus sableux. Par contre, la couche sableuse située à -120, n'apparaît pas aux analyses granulométriques, sans doute du fait de sa minceur par rapport aux échantillons prélevés. D'une façon générale, on retiendra la très grande finesse de ces sols alluviaux, avec des teneurs en (Argile + Limon) variant entre 70 et 90 %. L'analyse chimique totale d'un échantillon représentatif est donnée dans le tableau N° 1.

TABLEAU N° 1  
ANALYSE CHIMIQUE TOTALE DU SOL (%)

H <sub>2</sub> O+	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Mn	B
0,7	61,6	16,0	8,3	1,1	0,80	0,93	0,03	0,26	1100 ppm	6 ppm

Le calcul (3) lui fait correspondre une droite d'étalonnage de l'appareil d'équation :

$$Ww \% = 0,195 N - 4$$

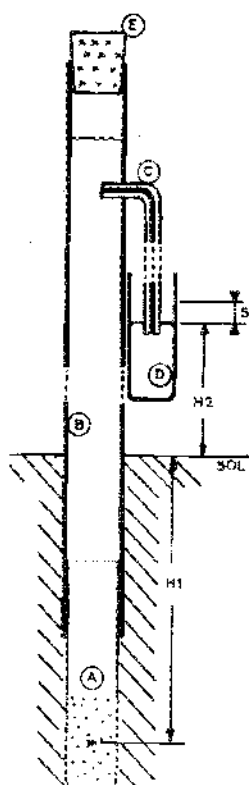
## 1.2 - Mesure tensiométrique du potentiel capillaire de l'eau du sol

Les appareils utilisés ont été réalisés au laboratoire (\*) à partir de :

- (A) bougies céramiques poreuses CHAMBERLAND, type 5 bis L3, diamètre moyen des pores 3 microns, hauteur utile : 30 mm, diamètre 18 mm.
- (B) cannes en chlorure de polyvinyle durci, 18/20 mm.
- (C) verre capillaire de section 1 mm<sup>2</sup>, plongeant dans un réservoir à Mercure (D).

(\*) Avec la collaboration de M. DUPOY, Electronicien du C.E.A. détaché à L'ORSTOM.

Le montage retenu est représenté sur la Figure N° 4.



TENSIONNÈTRES UTILISÈS	
H 1	H 2
30 cm	21,5 cm
60	28
90	31
120	32,4
150	32,9
180	34
210	35,5

FIGURE N° 4  
SCHEMA D'UN TENSIONNÈTRE A  
BOUGIE CÈRAMIQUE POREUSE.

Les scelllements ont été faits à l'araldite. On a conservé entre le bouchon (E) et le branchement du manomètre à mercure un espace libre de 5 cm de hauteur destiné à recueillir l'air de dégazage. On note tous les trois jours, pour chacun des points de mesure, la hauteur (S) exprimée en mm de Mercure, correspondant à la dépression manométrique. On procède également suivant le même rythme, à la purge des appareils. La Figure N° 5 donne l'ensemble des résultats obtenus du début Juin 1970 à la mi-Novembre. On n'enregistre aucune pluie jusqu'au 19 Octobre, on a ensuite porté la pluviométrie dans la partie haute du graphique.

La dépression manométrique maximum obtenu pour les profondeurs 60 et 90 cm, atteignent 650 mm Hg, après quoi on assiste au désamorçage de l'appareil. Dans la zone concernée par les façons culturales de surface, le même phénomène se produit à des dépressions manométriques plus faibles, de l'ordre de 450 mm Hg, sans doute du fait d'un contact imparfait entre la bougie poreuse et le sol.

### 1.3 - Marquage de l'eau du sol

On a procédé, le 4 Juin 1970, à la mise en place non destructive de sources d'eau tritiée de 20 uCi aux profondeurs 100 et 150 cm. On réalise ainsi le marquage ponctuel de l'eau du sol dont on se propose d'étudier le mouvement et la vitesse. Le dispositif utilisé est présenté en Figure N° 6.

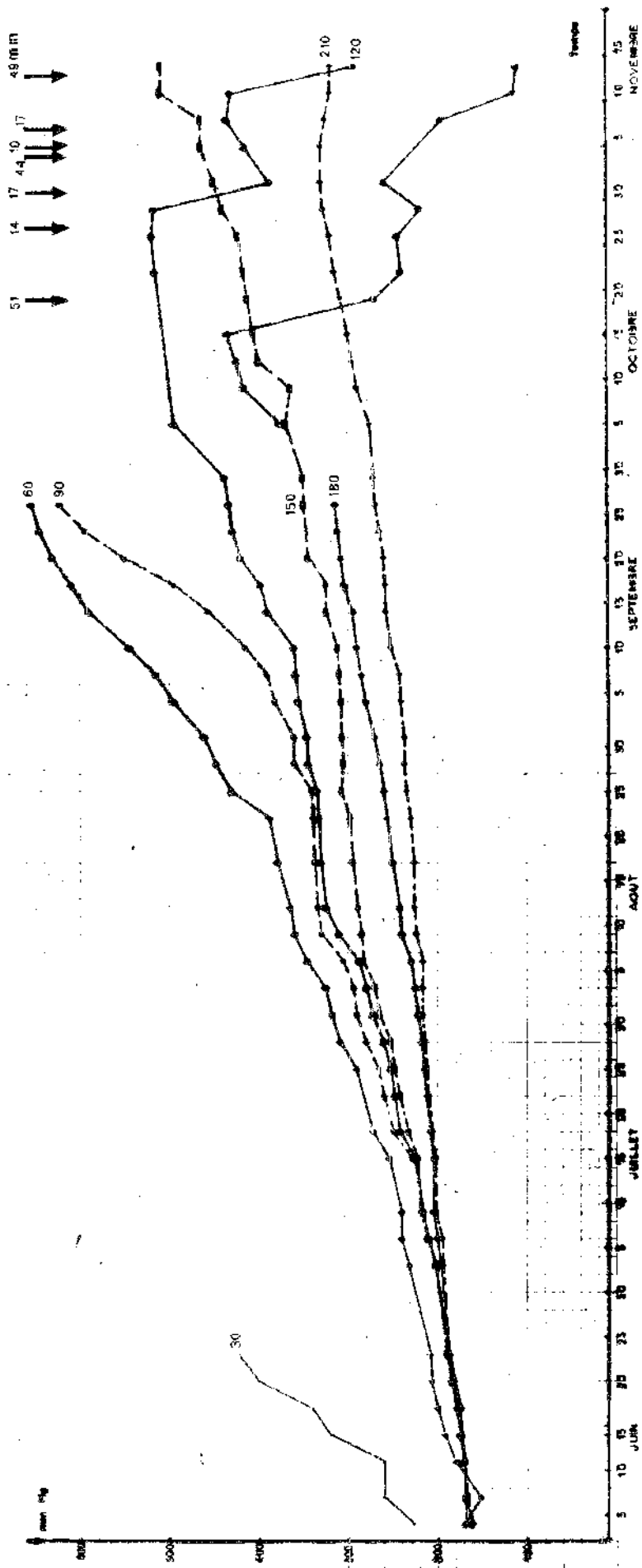
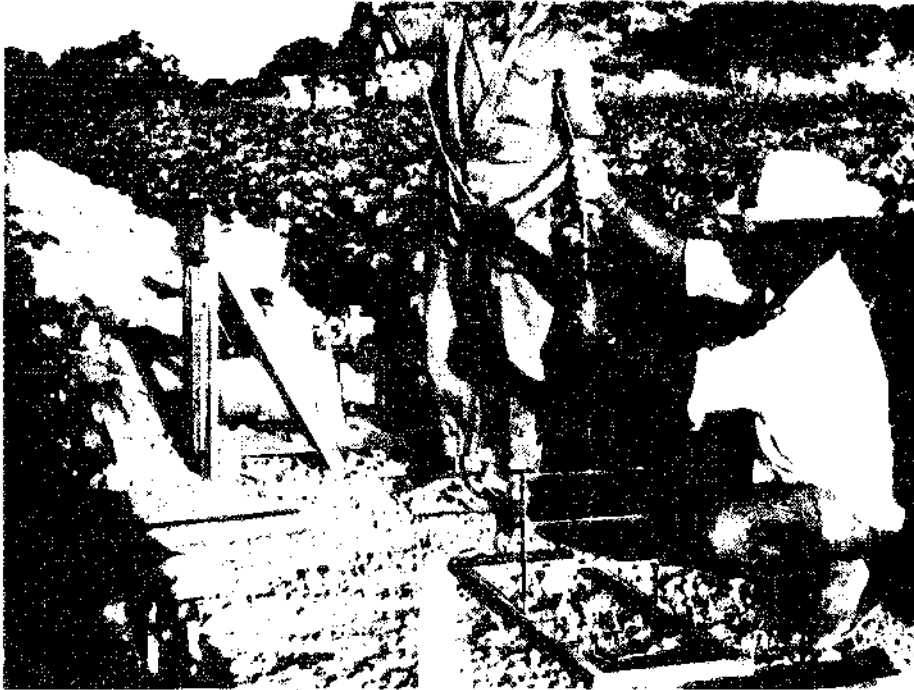


Figure N°5 - Evolution en cours de campagne des dépressions manométriques enregistrées sur tensiomètres mis en place à différentes profondeurs

FIGURE N° 6  
MISE EN PLACE NON DESTRUCTIVE D'UNE SOURCE D'EAU TRITIEE



Un tube en acier inoxydable (longueur 200 cm,  $\varnothing$  1/3 mm) pourvu d'un mandrin central, est mû en rotation par une perceuse électrique à main; un guide assure la verticalité de l'accès. Une pression légère continue, permet à l'opérateur d'atteindre - en sol non caillouteux - la profondeur désirée. Après avoir retiré le mandrin central, on procède à la seringue, à l'injection de la source d'eau tritiée : Figure N° 7.

FIGURE N° 7  
INJECTION EN PROFONDEUR DE LA SOURCE D'EAU TRITIEE



Après rinçage à l'eau (20 ml) puis à l'air, on peut retirer le tube d'accès. Seize sources d'eau tritiée ont été mises en place suivant les indications de la Figure N° 1. On a ultérieurement prélevé par carottage des échantillons du sol, à la verticale du point d'injection des sources, jusqu'à 100 ou 150 cm de profondeur suivant le cas. Le rythme des prélèvements a été de deux carottages par quinzaine. Le dispositif mis en place permet donc quatre mois de contrôle des mouvements de l'eau du sol. Les échantillons recueillis par carottage sont distillés en enceinte close. La radioactivité éventuelle du distillat est déterminée par comptage sur spectomètre à scintillation liquide (\*). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau N° 2. Les activités enregistrées sur le carottage THO 100 du 19 Juin sont reprises en Figure N° 8. On remarque que le pic d'activité maximum positionne la source avec précision, 15 jours après sa mise en place. En fait, la source placée dans le sol est soumise :

- d'une part, aux forces capillaires exceptionnelles;
- mais aussi aux phénomènes de diffusion et aux déplacements pouvant se produire dans un plan horizontal.

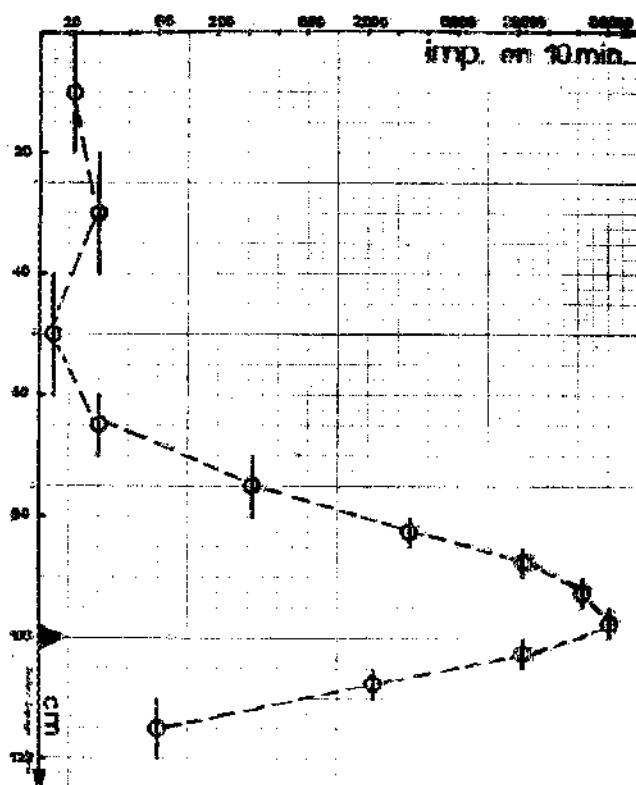


FIGURE N° 8  
DISTRIBUTION DE LA RADIO-  
ACTIVITE D'UNE SOURCE D'EAU  
TRITIEE MISE EN PLACE DANS  
LE SOL 15 JOURS AUPARAVANT

BLUME (4) estime : avec un coefficient de diffusion moléculaire de  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ , que la sphère d'influence atteint 10 cm de diamètre au bout de 4 mois. Il semble donc que ce facteur puisse être négligé compte tenu de l'importance escomptée des remontées capillaires.

(\*) Avec la participation de M. PARDEAU, Ingénieur C.E.A. du DB/SRA,  
C.E.N. Cadarache (FRANCE).



TABLEAU N° 2

EVOLUTION DE SOURCES D'EAU TRITICE MISES EN PLACE DANS LE SOL  
LE 4 JUIN 1970 AUX PROFONDEURS 100 ET 150 CM

Date	19-6	4-7	21-7	5-8	20-8	5-9	21-9	21-10	Date	19-6	4-7	21-7	5-8	20-8	5-9	21-9	21-10
0									0								
5						0	5	0	5								0
10	23	55	80	0	77			0	10	0	90	0	30	63	15		0
15						3	0	0	15								0
20								0	20								0
25				0	56	15	9	0	25						0	0	0
30	40	50	600				424	6	30	0	30	0	30	39		0	0
35				40	27	13	15	11	35						11	0	0
40			90			30	35	40	40							0	0
45		255	60	60	90	8	122	34	45							23	0
50	9		50	30	110	152	36		50	0	30	0	40	11		0	0
55		2600	40	2000	73	34	132	124	55						0	0	0
60		11400	11200	1900	1065	1128			60					5	0	0	
65	40	8000	5800	600	940	593	716	303	65			0	0	47	0	0	0
70		17000		1200	549				70	0	0			50			
75	431	23000	1300	4400	271	405	270	239	75			0	0	19	9	0	0
80		4800	23400						80								
85		23200	10900	10600	10700	1204	1404	925	85		0	0	0	56	14	7	0
90		83600							90	0		0	0				
95		81499	40	18000	10600	1972	1703	1270	95		40	0	0	49	0	72	0
100		23900							100			0	200				
105		2400							105	0	130	0	140	63	93	272	61
110		1300							110		70	0					
115	20								115	0	130	90	0	819	432	561	228
120									120	90	1460						
125									125	130	320	1700	1000	729	1087	736	
130									130								
135									135	200	80	1300	530	2440	755	875	-
140									140	1130							
145									145	8220	2080		2400	1106	1102	150	-
150									150	27300		8400					
155									155		1600		4500	1829	1435	514	-
160									160								

TRU 100

TRU 150

\*) Activités exprimées en équivalents pour 10 minutes de comptage et 1 ml d'eau de sol.

Quant aux migrations horizontales, on pourrait dans une expérience ultérieure, les mettre en évidence par prélèvements d'échantillons de sol suivant les sommets d'un triangle centré sur le point d'injection de la source (5).

## 2 - EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS

### 2.1 - Evolution des réserves hydriques du sol et consommation des plantes

L'exploitation des profils hydriques conduit aux valeurs d'évapo-transpiration réelle moyennes données dans le Tableau N° 3. La représentation graphique de ces résultats est en figure N° 9.

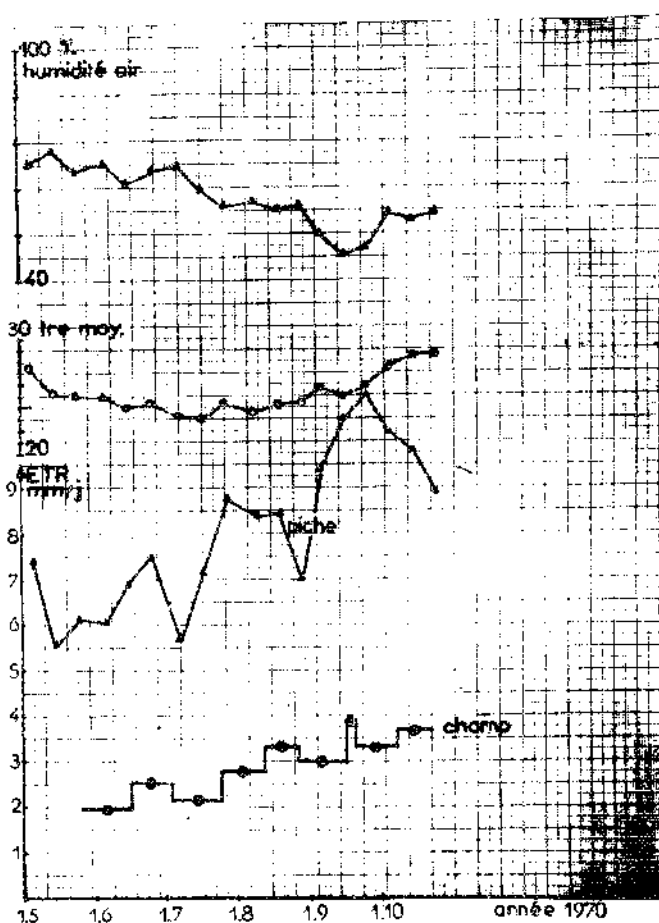


FIGURE N° 9  
BESOINS HYDRICIQUES DU COTONNIER ET  
EVOLUTION DES CONDITIONS CLIMATI-  
QUES EN COURS DE CAMPAGNE.

On observe une augmentation progressive des besoins alors que la température moyenne décadaire reste stationnaire et que l'hygrométrie de l'air baisse sensiblement. L'évaporation mesurée à l'évaporimètre 'PICHE' suit la même évolution que les valeurs E.T.R. mesurées au champ, mais à un niveau bien supérieur. Quant à la nappe phréatique, dont la position par rapport aux profils est indiquée en Figure N° 2, elle baisse d'abord rapidement (2 cm/jour) puis beaucoup plus lentement (0,6 cm/jour). On note avec intérêt que les valeurs E.T.R. de Mai et Juin, déterminées lorsque la nappe baigne encore le fond du tube sont relativement basses alors qu'elles ne peuvent être déterminées que par excès dans ces conditions de mesure. Il semble donc que les besoins hydriques des plantes sont effectivement faibles à cette époque.

TABLEAU N° 3

EVAPCO-TRANSPIRATION REELLE MESUREE AU CHAMP PENDANT LA SAISON AGRICOLE 1970

Date	26/5	16/6	3/7	25/7	12/8	27/8	16/9	19/9	7/10	22/10
Pluies (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
T18	3,59	2,87	1,80	2,62	2,70	3,60	3,60	3,60	3,10	
T19	1,98	3,37	2,44	2,83	2,83	3,25	5,83	4,12	4,12	
T20	1,78	1,23	2,18	3,70	4,42	2,19	2,19	2,19	3,79	
Moy	1,95	2,51	2,14	2,78	3,32	3,01	3,97	3,30	3,67	

## 2.2 - Evolution du potentiel capillaire de l'eau du sol aux différents points de mesure

En chaque point de mesure, on définit ( $z, \psi$ ), la pression de l'eau du sol, inférieure à la pression atmosphérique dans la zone qui surmonte la nappe phréatique. On l'exprime sous la forme appelée *suction*  $\psi$ , ou aussi sous la forme du *potentiel capillaire*  $\psi$ .

$$\psi = \psi - z$$

$z$  = cote en cm du point de mesure, l'axe des profondeurs étant orienté vers le bas.

- Entre deux points, un gradient de potentiel capillaire entraîne un écoulement d'eau qui répond à la loi de DARCY généralisée :

$$(1) \quad v = -k \frac{d\psi}{dz} = -k \left( \frac{d\psi}{dz} - 1 \right)$$

$v$  = vitesse de l'eau

$k$  = perméabilité du sol ; *fonction de l'humidité*

- D'autre part, l'équation de continuité, appliquée à un petit volume de sol, d'humidité volumique  $\theta$ , s'écrit :

$$(2) \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{dv}{dz}$$

- La résolution des équations (1) et (2) fournirait une solution théorique si on connaissait  $\theta$  ( $\theta$ ).

Les Figures N° 10 et 11 montrent que dans le domaine  $\psi$  (HV) la relation entre  $\psi$  et Hv est loin d'être bi-univoque :

- soit parce que la nature du sol joue un rôle important comme semble le montrer la Figure N° 10;
- soit que des phénomènes d'hystérésis se manifestent comme nous avons voulu l'indiquer en Figure N° 11.

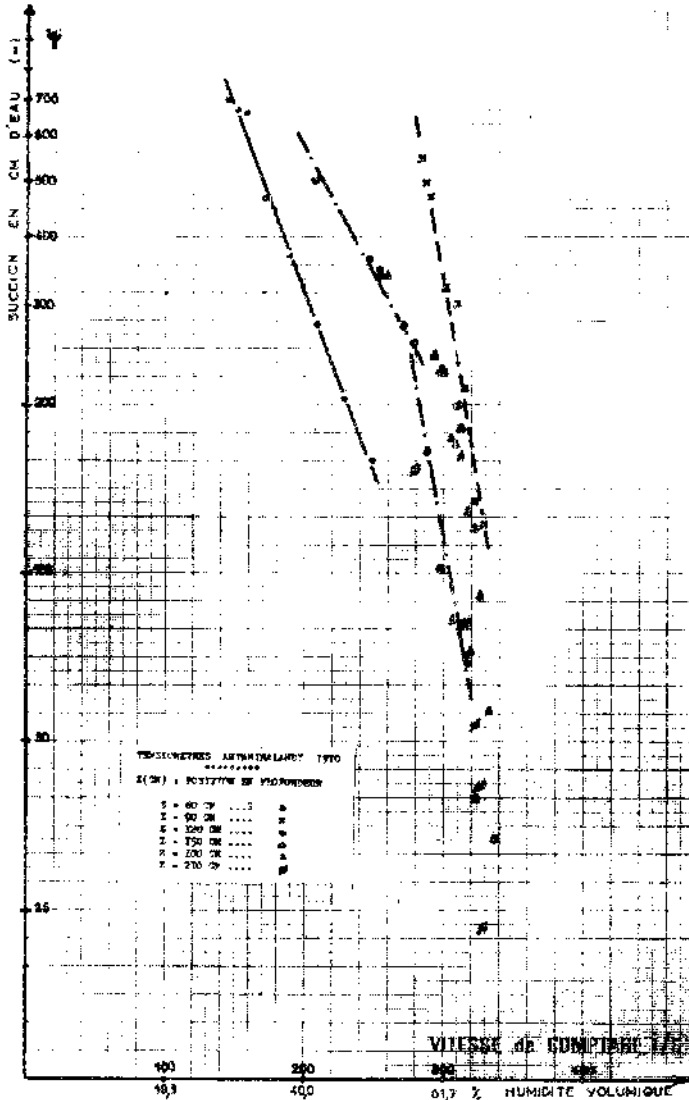


FIGURE N° 10

Etude des relations entre la succion ( $\psi$ ) et l'humidité volumique du sol à différents niveaux

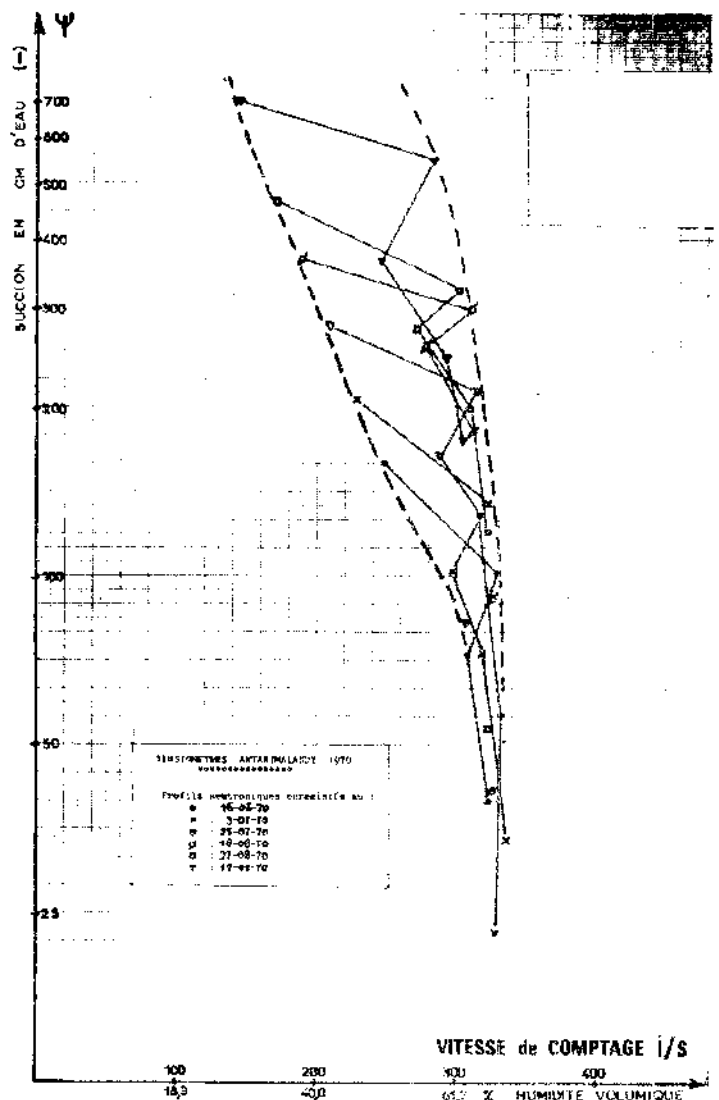


FIGURE N° 11

Etude des relations entre la succion ( $\psi$ ) et l'humidité volumique du sol à différents périodes.

On est donc contraint d'assurer, parallèlement aux mesures tensiométriques, un contrôle permanent de l'état hydrique du sol, réalisé ici par la méthode neutronique. Le principe du calcul, développé par DAIAN (8), est alors le suivant : l'équation (1) montre que pour calculer  $k$  - par exemple - il suffit de connaître la vitesse et le gradient de potentiel. On dispose ces profils de teneur en eau et de potentiel aux instants :  $t$  et  $t + dt$  :

- le gradient de potentiel  $\frac{d\psi}{dz}$  peut être calculé à partir du profil de potentiel moyen entre les temps  $t$  et  $t + dt$ ;

- on détermine aux instants  $t$  et  $t + dt$  le stock d'eau du sol compris entre les plans de cote  $z_1$  et  $z_2$ . La variation de stock dans l'intervalle de temps  $dt$  est égale à la différence entre les volumes écoulés au-travers des plans  $z_1$  et  $z_2$  :

$$d(\text{stock}) = v_1 dt - v_2 dt$$

$$v_1 - v_2 = \frac{d(\text{stock})}{dt}$$

On peut alors calculer la vitesse  $v_2$  à toute cote  $z_2$  si l'on connaît la vitesse  $v_1$  en un point quelconque du profil. Pour cela, on a recherché sur le profil de potentiel le point de vitesse nulle caractérisé par  $\frac{d\phi}{dz} = 0$ . Nos mesures de potentiel capillaire aux différentes profondeurs du sol sont données dans le Tableau N° 4 et reprises en Figure N° 12.

FIGURE N° 12

EVOLUTION DU POTENTIEL CAPILLAIRE A DIFFERENTES PROFONDEURS DU SOL

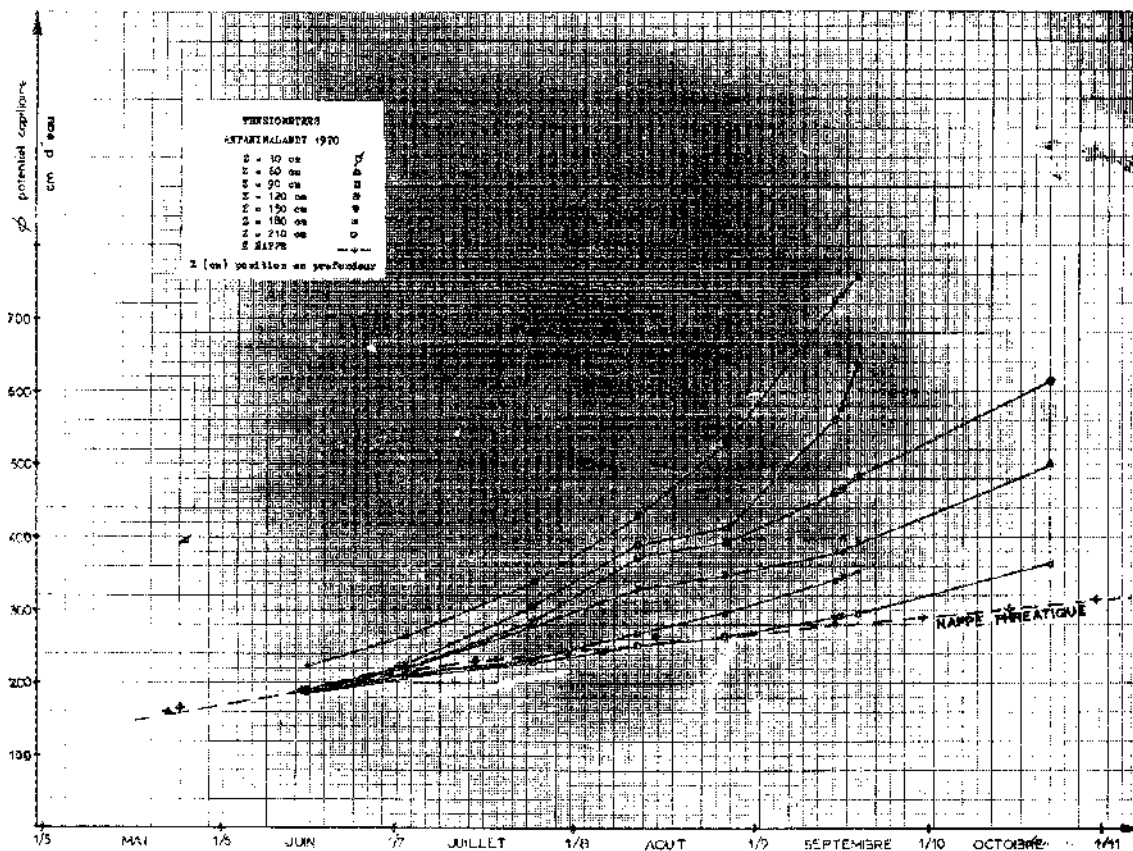


TABLEAU N° 4  
MESURES NEUTRONIQUES ET TENSIOMETRIQUES  
ANTANIMALANDY 1970

i/s	(1)	(2)	(3)	Date	i/s	(1)	(2)	(3)
Profondeur 60 cm					Profondeur 90 cm			
264	-	-	-	26- 5	330	-	-	-
249	196	221,5	161,5	16- 6	329	176	191,8	101,8
228	233	265,6	205,6	3- 7	322	202	224,5	134,5
209	291	338,7	278,7	25- 7	315	266	305,2	215,2
189	364	430,6	370,6	12- 8	310	334	390,8	300,8
172	441	527,7	467,7	27- 8	301	353	414,8	324,8
158	597	724,2	664,2	15- 9	290	468	559,7	469,7
152	603	731,8	671,8	16- 9	287	481	576,1	486,1
145	624	758,2	698,2	19- 9	284	531	639,1	549,1
130	-	-	-	22-10	249	-	-	-
Profondeur 120 cm				Date	Profondeur 150 cm			
309	-	-	-	26- 5	324	-	-	-
308	176	189,4	69,4	16- 6	323	176	189,5	39,5
297	202	222,1	102,1	3- 7	319	202	222,2	72,2
288	252	285,1	165,1	25- 7	317	248	280,2	130,2
279	325	377,1	257,1	12- 8	312	289	331,8	181,8
271	340	396,0	276,0	27- 8	310	303	349,5	199,5
255	392	461,5	341,5	15- 9	300	325	377,2	227,2
255	395	465,3	345,3	16- 9	298	325	377,2	227,2
245	412	486,7	366,7	19- 9	293	336	393,6	243,6
208	515	616,5	496,5	22-10	259	415	490,6	340,6
Profondeur 180 cm				Date	Profondeur 210 cm			
337	-	-	-	26- 5	336	-	-	-
339	176	187,8	7,8	16- 6	333	176	168,3	* 21,7
337	197	214,2	34,2	3- 7	332	194	210,9	0,9
332	215	236,9	56,9	25- 7	328	212	203,6	23,6
326	242	270,9	90,9	12- 8	325	226	251,3	41,3
322	264	298,6	118,6	27- 8	322	236	263,9	53,9
312	298	341,5	161,5	15- 9	315	258	291,6	81,6
309	303	347,8	167,8	16- 9	312	258	291,6	81,6
305	308	354,1	174,1	19- 9	307	260	294,1	84,1
275	-	-	-	22-10	279	315	363,4	153,1

(1) exprimé en mm de MERCURE - (Manomètre)

(2) potentiel capillaire en cm d'eau  $\psi$

(3) succion exprimé en cm d'eau  $\psi$

On observe que, jusqu'à la mi-Septembre, le tensiomètre T 120 affiche un potentiel du même ordre que celui correspondant au niveau supérieur de la nappe phréatique. En fait, bien que le gradient de potentiel soit très faible entre la côte 210 et la nappe, la vitesse de l'eau à ce niveau n'est pas forcément négligeable vis-à-vis des vitesses atteintes dans les zones à fort gradient; ceci tient à la forte humidité des couches de sol proches de la nappe et à la conductivité hydraulique élevée qui en résulte. D'autre part, on observe au cours du temps, un certain assèchement du sol situé entre la côte 210 et le plan d'eau qui s'abaisse; on peut penser que cette eau a migré vers le haut, plutôt que vers le bas, et que l'abaissement du niveau de la nappe est la conséquence de l'évapo-transpiration superficielle. Dans cette hypothèse, le point de vitesse nulle se situerait au niveau de la nappe et descendrait avec elle. En fait, le dispositif mis en place ne permet pas de traiter la question suivant cette hypothèse puisque les tubes d'accès de la sonde à neutrons ne plongent pas de façon continue dans la nappe. On a donc pris pour hypothèse que le point de vitesse nulle se situait à -210 cm, ce qui n'introduit pas de grosse erreur dans le calcul de l'E.T.R. puisque la participation des couches profondes au bilan global est, au vu des profils hydriques, faible par rapport à celle des couches superficielles.

Enfin, sur sol cultivé, on ne peut parler de remontées capillaires que si on est bien certain que l'eau transite au travers du sol et pas dans les racines profondes. On peut, à partir de l'âge des cotonniers, estimer la progression de ses racines (9); ces valeurs sont indiquées dans le Tableau N° 5 où nous avons porté, pour 5 périodes successives, les valeurs mesurées de la perméabilité du sol et de la vitesse de remontée capillaire de l'eau. On observe que la perméabilité diminue avec l'assèchement du sol et que  $v$  (flux ascendant d'eau de capillarité) est de 3 à  $6 \cdot 10^{-3}$  cm/h. Ceci équivaut, en 5 mois, à 100 ou 200 mm d'eau consommés par les horizons supérieurs. En profondeur,  $Hv$  étant de l'ordre de 60%, la relation entre le flux et vitesse réelle  $v'$  des particules fournit une estimation grossière de cette dernière :

$$v' = \frac{v}{Hv} = \frac{3 \text{ à } 6 \cdot 10^{-3}}{0,60} = 5 \text{ à } 10 \cdot 10^{-3} \text{ cm/h}$$

C'est-à-dire, pour 5 mois, une remontée de l'ordre de 18 à 36 cm.

TABLEAU N° 5  
CALCUL DE LA PERMEABILITE ET DE LA VITESSE DE L'EAU DANS LE SOL.

Période	Age du cotonnier (J) Semis 30/4	Profondeur atteinte par les racines	Variation du stock d'eau entre 210 m et la profondeur atteinte par les racines	Vitesse (cm/h)	$d\theta/dz$	Perméabilité (k cm/h)
16/6 au 3/7	46 à 64	60 cm	- 24,3 mm	$5,96 \cdot 10^{-3}$	0,30	$19,9 \cdot 10^{-3}$
3/7 au 25/7	64 à 86	90 cm	- 18,1 mm	$3,43 \cdot 10^{-3}$	0,355	$9,7 \cdot 10^{-3}$
25/7 au 12/8	86 à 104	120 cm	- 13,8 mm	$3,19 \cdot 10^{-3}$	1,111	$2,9 \cdot 10^{-3}$
12/8 au 27/8	104 à 119	150 cm	- 4,5 mm	$1,25 \cdot 10^{-3}$	1,38	$0,91 \cdot 10^{-3}$
27/8 au 15/9	119 à 138	150 cm	- 14,5 mm	$3,18 \cdot 10^{-3}$	1,43	$2,22 \cdot 10^{-3}$

### 2.3 - Marquage à l'eau tritiée

Cette technique apporte des compléments d'information intéressants bien que les pics d'activité obtenus sur les prélèvements successifs ne soient pas aussi réussis que celui représenté sur la *Figure N° 8*. En fait, lorsqu'on injecte la source au niveau déterminé, l'eau tritiée se dilue isotopiquement avec les réserves hydriques du sol pour donner une certaine radio-activité spécifique, qui en absence de forces de succion, n'évoluerait que sous l'influence de la diffusion moléculaire. Dans le cas qui nous intéresse, on peut penser que l'eau tritiée a marqué uniformément l'eau du sol; mais celle-ci se divise en compartiments plus ou moins mobiles, l'un d'entre eux (résistant à  $p_f$  4, 2) étant particulièrement lié aux particules du sol. Ceci peut nous expliquer l'activité résistante, observée au cours des prélèvements successifs, à la profondeur correspondant à l'injection initiale. Cette activité diminue d'ailleurs régulièrement au cours du temps, sans doute du fait des dilutions isotopiques successives se produisant avec l'eau de capillarité. Dans les horizons sus-jacents, les mêmes phénomènes doivent se reproduire, si bien qu'au bout de plusieurs mois, on ne peut guère espérer qu'une traînée active dont le sommet indique le trajet parcouru par les particules d'eau les moins liées, sous l'influence des forces capillaires. Nous avons représenté le phénomène en doublant l'encadrement des colonnes concernées dans le Tableau N° 2. On remarque pour THO 100 des remontées capillaires assez rapides en Juin-Juillet, puis un ralentissement certain alors que l'eau marquée atteint (mais ne dépasse pas) la cote - 50 cm. Les tensiomètres nous ont indiqué un dessèchement important avec des succions uniformément élevées jusqu'à 60 cm de profondeur : il semble que les films capillaires soient rompus et que le colonnier doive, s'il le peut, prendre son eau au-delà de cette barrière. Pour THO 150, le phénomène est beaucoup plus continu et pratiquement linéaire. Dans les deux cas, l'eau tritiée a parcouru environ 50 cm en 5 mois, alors que l'estimation tensiométrique donnait 16 à 36 cm pour le même laps de temps. En fait, la contradiction n'est qu'apparente puisque, dans le cas des tensiomètres, on a déterminé une vitesse moyenne dans les horizons profonds, alors que les déplacements THO indiquent la vitesse du compartiment eau le plus mobile dans l'horizon de sol immédiatement supérieur aux points d'injection.

### 3 - CONCLUSION

Nous avons pu, à l'occasion de ce travail, préciser par trois techniques d'étude différentes, quelles sont les modalités d'utilisation de l'eau du sol en culture de décrue. L'humidimètre à neutrons permet un contrôle efficace et pratique de l'état des réserves sur une épaisseur de sol prédéterminée. On en déduit l'évapo-transpiration réelle du complexe sol-plante, pendant la saison agricole. Ces valeurs, relativement basses par rapport aux indications de l'évaporomètre PICHE, peuvent être déterminées par défaut dans le cas où la nappe phréatique, dont le niveau baisse régulièrement en cours de campagne, alimente par capillarité la couche de sol sus-jacente. La mesure tensiométrique du potentiel capillaire de l'eau du sol, montre que, même en fin de campagne et dans le cas particulier de notre point d'essai, l'assèchement superficiel n'est pas suffisant pour qu'il existe une différence de potentiel importante entre le niveau supérieur de la nappe phréatique et le tensiomètre le plus profond placé à 2,10 m. Malgré cela, un courant d'eau ascendant peut s'établir, puisque l'humidité élevée des couches de sol profondes va de pair avec une conductivité hydraulique importante. Dans cette hypothèse, l'abaissement du niveau de la nappe



phréatique résulterait de l'évapo-transpiration superficielle; les mesures tensiométriques ne nous permettent pas de trancher. Néanmoins l'accroissement d'E.T.R. qui résulterait de l'application de cette hypothèse serait relativement minime. On ne peut espérer atteindre des valeurs aussi élevées que celles fournies par l'Évaporomètre PICHE, que dans le cas où la nappe phréatique serait réalimentée dans un plan horizontal, ce qui reste à montrer.

Parallèlement, le marquage à l'eau tritiée des réserves hydriques du sol, aux niveaux - 100 et - 150 cm, montre qu'il existe des remontées capillaires à ces niveaux, mais que leur amplitude est relativement faible et en bon accord avec les résultats obtenus par ailleurs.

## BIBLIOGRAPHIE

1. S. CRETENET : La fertilisation du cotonnier en culture de décrue dans le Nord-Ouest de Madagascar. Colloque sur la Fertilité des sols tropicaux Tananarive - 19-25 Novembre 1967.
2. DE CASABIANCA : Méthode suivie sur les baiboho du Nord-Ouest de Madagascar pour l'étude de la nutrition hydrique. Résultats détenus en 1966. Colloque sur la Fertilité des sols tropicaux Tananarive - 19-25 Novembre 1967.
3. COUCHAT : La détermination de la courbe d'étalonnage de l'humidimètre à neutrons à partir de l'analyse chimique des sols. Colloque AIEA sur l'emploi des radio-isotopes et des rayonnements dans les études sur la physique du sol et l'irrigation Istanbul - 12-16 Juin 1967.
4. BLUME and al. : Tritium tagging of soil moisture : the water balance of forest soils (ibidem).
5. BLUMF and al. : Untersuchungen der lateralen wasserbewegung in ungesättigten Böden - 1968 - kolloquium der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft.
6. VACHAUD : Mesure des pressions capillaires dans les sols non saturés : capteurs de pression et tensiomètre. Documents sur l'étude des mouvements de l'eau dans les sols. 1967. Secrétariat permanent pour l'étude des problèmes de l'eau.
7. SORMAIL - THIRRIOT : Utilisation des tensiomètres pour l'étude des mouvements de l'eau du sol. Document S.P.E.P. - Réunion d'Orléans du 31 Janvier 1969.
8. BAIAN : Mesures d'humidité in-situ au moyen de sondes radioactives et de tensiomètres - Mémoire de D.E.A. 1970 - Université de Grenoble - Laboratoire de Mécanique des Fluides.
9. LE CUION AU MAROC : Collection technique et productions agricoles - Institut National de la Recherche Agronomique - IRADAI.