

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

Service de Science du Sol

CN0101359
P350
CIS

THESE

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

en vue de l'obtention du titre de

Docteur en ~~Sciences~~ Agronomiques

par

Limamoulaye CISSE

Ingénieur Agronome

CN0101359
22-12-86
86/0235
OND
H/Drc

*Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques
et minéraux et la production du mil et de l'arachide
sur un sol sableux dégradé du Centre - Nord du SENEGAL*

soutenue le 14 novembre 1986 devant la Commission d'Examen

Membres du jury :

- MM. F. JACQUIN, Professeur à l'I.N.P.L., Président
G. VACHAUD, Directeur de Recherches au C.N.R.S., Rapporteur
M. METCHE, Professeur à l'I.N.P.L.
C. PIERI, Ingénieur Agronome, Chargé de Missions au C.I.R.A.D.
L. SARR, Chercheur I.S.R.A., Invité

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
------------------------------------	---

Première Partie : PRESENTATION DE L'ETUDE. MATERIEL ET METHODES

<u>CHAPITRE 1</u> .. <u>PRESENTATION DE L'ETUDE ET DU MILIEU</u>	4
1.1 .. POSITION DU PROBLEME	4
1.2 -- DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE BASE ET CONDUITE DES CULTURES.	7
1.3 .. MESURES ET EXPERIMENTATIONS SPECIFIQUES	8
3.1 - Choix des traitements étudiés	8
3.2 - Mesures et expérimentations réalisées	9
1.4 .. CLIMAT	12
<u>CHAPITRE II</u> -- <u>MATERIEL D'ETUDE ET METHODES DE MESURES ET D'ANALYSES</u> . . .	15
II.1 -- MATERIEL D'ETUDE	15
1.1 - Sol*	15
1.2 - Fumier	15
1.3 - Variétés cultivées	15
II"2 - METHODES DE MESURES ET D'ANALYSES . . . *	15
2.1 - Analyse granulométrique	16
2.2 - Mesures de la teneur en eau et de la pression d'eau	16
2.3 - Prélèvement et analyse chimique de la solution du	
sol*	20
2.4 - Mesures phénologiques et racinaires et analyses	
chimiques du végétal	21
2.4.1 - Culture de mil	21
a. Mesures et observations phénologiques..	21
b. Mesures et observations racinaires	22
2.4.2 - Culture d'arachide	23
a. Mesures et observations phénologiques..	23
b. Mesures et observations racinaires.....	23
2.5 - Quantification de la fixation symbiotique de	
l'azote atmosphérique par l'arachide.....	24

2.6 - Caractérisation du statut organique du sol.....	24
2.7 - Méthodes d'analyses chimiques du sol et des plantes	25
II.3 - CARACTERISATIONS CHIMIQUES DES TRAITEMENTS ETUDIES	26
3.1 - Principales caractéristiques chimiques du sol sous les deux traitements	27
3.2 - Répartition des différentes formes d'azote du sol en fonction des traitements	29

Deuxième Partie : EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES BILANS HYDRIQUES ET MINÉRAUX

<u>CHAPITRE III - CHOIX DES SITES DE MESURES</u>	33
111.1 - VARIABILITE SPATIALE DU TAUX D'ARGILE + LIMON, DE LA TENEUR EN EAU ET DU STOCK HYDRIQUE TOTAL DU SOL	34
III.2 - VALIDATION DU CHOIX DES SITES DE MESURES DE LA SERIE 1 ...	37
III.3 - CHOIX DES SITES DE MESURES DE LA SERIE II	39
III.4 - DISCUSSION	39
<u>CHAPITRE IV - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES CARACTERISTIQUES DE TRANSFERT ET DE RETENTION HYDRIQUE DU SOL</u>	41
IV.1 - METHODE DE CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE	41
IV.2 - ANALYSE DE L'INFILTRATION	43
IV.3 - ANALYSE DU DRAINAGE GRAVITAIRE - RELATION $K(\theta)$	47
IV.4 - COURBES CARACTERISTIQUES $h(\theta)$	50
IV.5 - VALIDATION ET UTILISATION DE LA RELATION $K(\theta)$	54
IV.6 - DISCUSSIONS . . . *	57
<u>CHAPITRE V - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES BILANS HYDRIQUES</u>	59
V.1 - METHODE DE CALCUL DU BILAN HYDRIQUE SOUS CULTURE	59
v.2 - EXEMPLES D'APPLICATION	63
2.1 - Culture d'arachide (année 1983)	63
2.2 - Culture de mil (année 1984)	67
2.3 - Culture d'arachide (année 1985)	71

V.3 - ESTIMATION DES BILANS HYDRIQUES SOUS CULTURE	73
3.1 - Bilan hydrique sous culture d'arachide en 1983	78
3.2 - Bilan hydrique sous culture de mil et d'arachide en 1984 *	83
3.2.1 - Bilan de consommation hydrique sous culture de mil *	86
3.2.2 - Bilan de consommation hydrique sous culture d'arachide *	88
3.2.3 - Estimation du drainage sous mil et sous arachide **	91
3.3 - Bilan hydrique sous culture de mil et d'arachide en 1985 *	92
3.3.1 - Bilan de consommation hydrique sous culture de mil *	92
3.3.2 - Bilan de consommation hydrique sous culture d'arachide *	98
3.3.3 - Estimation du drainage sous mil et sous arachide	101
 <u>CHAPITRE VI - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES PERTES MINERALES PAR LIXIVIATION ET LES BILANS MINERAUX SOUS CULTURE</u> . . . *	103
VI.1 - ELEMENTS MINERAUX ANALYSES ET ETUDIES	104
VI.2 - VARIATIONS DE LA CONCENTRATION EN ELEMENTS MINERAUX DE LA SOLUTION PRELEVEE EN COURS DE CYCLE VEGETATIF	105
2.1 - Variations des teneurs minérales de la solution prélevée sous culture de mil	105
2.2 - Variations des teneurs minérales de la solution prélevée sous culture d'arachide *	107
VI.3 - ESTIMATION DES PERTES MINERALES PAR LIXIVIATION SOUS CULTURE *	110
3.1 - Estimation des pertes minérales par lixiviation sous culture d'arachide	115
3.2 - Estimation des pertes minérales par lixiviation sous culture de mil *	116
VI.4 - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE BILAN MINERAL DE LA ROTATION ARACHIDE-MIL	116
4.1 - Bilans de l'azote et du phosphore "	117
4.2 - Bilan du potassium	117
4.3 - Bilans du calcium et du magnésium	117
4.4 - Variations de la teneur du sol en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium au cours de la ro- tation arachide-mil	119
VI.5 - DISCUSSIONS	120

Troisième Partie : EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE STATUT ORGANIQUE
DU SOL ET SUR LE DEVELOPPEMENT ET L'ALIMENTATION
MINERALE DES PLANTES

CHAPITRE VII - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE STATUT ORGANIQUE DU SOL.. 126

CHAPITRE VIII -- EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE DEVELOPPEMENT,
L'ALIMENTATION MINERALE ET LES RENDEMENTS DU MIL
ET DE L'ARACHIDE: 130

VIII.1 -- EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE DEVELOPPEMENT ET
L'ALIMENTATION MINERALE DU MIL 130

- 1.1 - Effets des traitements sur le **tallage** 130
- 1.2 - Effets des traitements sur la croissance en
hauteur 131
- 1.3 - Effets **des** traitements sur la croissance
pondérale 133
- 1.4 - Effets **des** traitements sur l'enracinement* 133
- 1.5 - Effets des traitements sur l'épiaison et la
floraison 136
- 1.6 - Effets des traitements sur les teneurs et les
mobilisations minérales 139
 - 1.6.1 - Azote et phosphore*.. 139
 - 1.6.2 - Potassium, calcium et magnésium 143
 - 1.6.3 - Relations entre mobilisations minérales
et masses racinaires 144

VIII.2 - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE DEVELOPPEMENT ET
L'ALIMENTATION MINERALE DE **L'ARACHIDE** 144

- 2.1 - Effets des traitements sur la croissance
pondérale 144
- 2.2 - Effets des traitements sur l'enracinement..... 147
- 2.3 - Effets des traitements sur la floraison et sur
les caractéristiques et le nombre de gousses
par pied 152
- 2.4 - Effets des traitements sur les teneurs et les
mobilisations minérales 154
 - 2.4.1 - Azote et phosphore 154
 - 2.4.2 - Potassium, calcium et magnésium 154
- 2.5 - Relations entre mobilisations minérales et
masses racinaires 158
- 2.6 - Effets des traitements sur la fixation symbiotique
de l'azote par l'arachide 160

VIII.3 - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS	161
3.1 - Culture de mil	164
3.2 - Culture d'arachide	165
VIII.4 - DISCUSSIONS	157
<u>DISCUSSION GENERALE</u>*	172
<u>CONCLUS IONS</u>	175
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	777

AVANT-PROPOS

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au sein de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (I.S.R.A.) dans son Centre National de Recherches Agronomiques (C.N.R.A) de Bambey. Je tiens donc, tout d'abord à remercier vivement le Directeur Général de l'I.S.R.A de m'avoir autorisé à le faire.

Sa matérialisation a été rendue possible grâce à l'obtention d'une bourse de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (A.I.E.A) pour un séjour qui s'est déroulé à l'Institut de Mécanique de Grenoble (Equipe d'Hydrologie, ressources en eau). C'est durant ce séjour que l'exploitation des résultats et la rédaction de ce mémoire ont été faits.

A Mr J. FAYE, Chef du département système de production, j'adresse mes plus sincères remerciements pour m'avoir d'une part fortement et constamment encouragé à mener à bien ce travail et d'autre part mis dans d'excellentes conditions pour pouvoir le réaliser. Mes remerciements vont également à Mr EL. H. GUEYE, Directeur du C.N.R.A de Bambey qui n'a ménagé aucun de ses efforts pour mettre à ma disposition les moyens nécessaires à la réalisation des travaux présentés dans ce mémoire.

Les instruments de mesure neutroniques, tensiométriques, les cellules de prélèvement de solution du sol, l'azote marqué (N15) et une aide efficace en missions d'appui sans lesquels il n'aurait pas été possible de faire ce travail, m'ont été fournis par l'A.I.E.A. Je saisis l'occasion qui m'est ici offerte pour renouveler encore une fois à cette agence toute ma reconnaissance et mes profonds remerciements.

Je prie Monsieur F. JACQUIN, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (E.N.S.A.I.A) de Nancy de bien vouloir être assuré de ma profonde reconnaissance et de mes remerciements pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire et prodigué de nombreux et utiles conseils qui ont permis d'élargir le domaine couvert par ce travail.

Je prie également Monsieur G. VACHAUD, Directeur de Recherches au Centre National de Recherches Scientifiques (C.N.R.S) qui a constamment suivi ce travail, notamment lors de plusieurs missions au Sénégal, l'a orienté de façon décisive, qui a lu et critiqué de manière approfondie le manuscrit et qui m'a consacré beaucoup de son temps malgré ses nombreuses charges, d'accepter mes plus sincères remerciements. Je le remercie aussi d'avoir bien voulu m'accueillir dans son laboratoire où j'ai eu des discussions très fructueuses avec ses collègues et notamment avec Mr M. VAUCLIN dont les remarques m'ont été très utiles pour l'analyse des données recueillies au cours de ce travail.

Mes remerciements vont également à :

- Mr C. PIERI, Chef de la division d'agronomie de l'IRAT/CIRAD à Montpellier, pour l'intérêt qu'il a toujours manifesté à l'égard de ce travail, les remarques et critiques qu'il m'a faites au cours de celui-ci et à la suite de la lecture du manuscrit de ce mémoire et enfin pour avoir accepté d'être membre du jury.

- Mr T. BINH, chercheur à l'IRAT qui m'a accueilli en 1984 en stage dans son laboratoire, avec qui j'ai eu de longues et fructueuses discussions, qui m'a mis en rapport avec des personnes susceptibles de s'intéresser au travail que je voulais entreprendre et notamment avec le professeur JACQUIN et qui m'a, enfin, apporté une aide importante pendant tout le long du travail présenté dans ce mémoire.

- Mr F. GANRY, chercheur IRAT détaché à l'ISRA et aux agents du service de recherche dont il est le responsable pour la réalisation de l'étude sur la quantification de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par l'arachide à l'aide de l'azote marqué.

- MM. O. GIJEYE, A. CISSOKHO, N. GNING, M. GOUDIABY, M.K. THIAO, A. FAYE et M. N'DOYE, agents en service du C.N.R.A de Bambey, sans lesquels il n'aurait pas été possible de réaliser toutes les mesures et observations faites. C'est avec beaucoup de sérieux, de compétence que ces agents qui m'ont à tout moment assuré de leur disponibilité totale ont

réalisé, parfois dans des conditions très difficiles, les travaux de terrain et de laboratoire. Je tiens donc à les associer pleinement à ce travail qui est sans aucun doute le fruit de toute une équipe.

- O. N'DOYE et M. SIDIBE en particulier et à tous les agents du laboratoire central d'analyses des sols, eaux et plantes du C.N.R.A. de **Bambey** pour les analyses qu'ils ont effectuées dans le cadre de ce travail.

- M. GADIAGA et P. SECK du bureau de dessin du C.N.R.A qui ont fait la plupart des graphiques de ce mémoire.

Je tiens enfin à remercier Madame Chantal DANIOKO qui a assuré la dactylographie de ce mémoire avec beaucoup de soins.

INTRODUCTION GENERALE

Les systèmes de culture traditionnels, grâce à des jachères de durée plus ou moins longue, pouvaient empêcher une dégradation très accusée de la fertilité des sols et permettre ainsi d'avoir des rendements certes faibles et limités notamment par les conditions climatiques et les techniques culturales appliquées mais dont l'obtention régulière était cependant assurée.

Sous la conjonction d'une pression démographique devenue très forte au début des années 1960 et des possibilités très restreintes pour accroître les surfaces cultivables, ces systèmes vont alors subir une profonde modification. Ils se transformèrent progressivement en systèmes de culture continue sans sole de régénération. L'utilisation continue du sol nécessitait alors une application de nouvelles techniques culturales et en particulier une fertilisation minérale suffisante et des apports de matière organique et ce, pour pouvoir assurer au moins le maintien du niveau de fertilité des sols.

Du fait des contraintes diverses qui s'exerçaient dans le milieu rural, les techniques culturales qui y étaient alors mises en oeuvre ne permettaient pas d'entretenir la fertilité des sols. Il en résulta donc, surtout dans le nord du bassin arachidier qui est une zone de culture très ancienne, une baisse progressive de celle-ci qui entraîna celle des rendements et notamment ceux du mil et de l'arachide qui sont les principales cultures de cette zone. Dans certains cas la baisse de la fertilité est telle que la productivité des sols est pratiquement nulle.

Les études faites révélèrent que la dégradation des sols résultait essentiellement d'une acidification et d'une chute du statut organique de ceux-ci. Plusieurs expérimentations ayant pour objectif la régénération de ces sols dégradés furent alors conduites. Dans ce cadre, le Centre National de Recherches Agronomiques de BAMBEY a mis en place, en 1972, un dispositif expérimental à Thilmakha dans lequel des techniques culturales (amendements calcique, organique ; labour) sont testées et leurs effets mesurés sur les rendements du mil et de l'arachide. Le suivi de ces effets a montré que ce sont les apports de matière organique qui induisent les accroissements de rendement les plus importants.

Dans le but d'expliquer cette action des apports organiques nous avons entrepris de 1983 à 1985 les travaux de recherche dont les résultats sont présentés dans ce mémoire. Les études menées ont porté essentiellement, d'une part, sur 'les effets de ces apports sur les principaux paramètres chimiques du sol et de ses propriétés de rétention et de transfert hydriques et, d'autre part, sur les bilans de consommation hydrique, l'alimentation minérale et le développement du mil et de l'arachide. Par cette analyse des relations sol-eau-plante, nous tenterons de mettre en évidence les paramètres du sol et de la plante sur lesquels la matière organique apportée a eu des effets qui pourraient expliquer son action observée sur les rendements des cultures.

PREMIERE PARTIE

PRESENTATION DE L'ETUDE - MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE L'ETUDE ET DU MILIEU

1.1- POSITION DU PROBLEME

Le Centre-Nord du Sénégal qui comprend les régions de Louga, de Thies et de Diourbel (Fig. 1-a) est une zone de cultures pluviales dont les principales sont l'arachide et le mil **souna**. Les surfaces emblavées annuellement s'élèvent environ à 900 000 ha qui se répartissent en 500 000 ha d'arachide et 400 000 ha de mil. Elles représentent près de 45% des superficies totales cultivées par an au Sénégal en arachide, mil et sorgho.

Cette zone est caractérisée par l'existence de deux saisons très contrastées : une longue saison sèche et une saison des pluies qui s'étendent respectivement d'octobre à juin et de juillet à septembre. La pluviométrie augmente de la région de Louga à celle de Diourbel, passant en moyenne au cours de la période 1970-1986 de 250 mm à 450 mm/an. C'est donc une zone à **pluviométrie** généralement faible et souvent limitante pour les cultures et dont la variabilité interannuelle est en outre très élevée.

Les sols cultivés dominants sont des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés (environ 80% des sols cultivés) très sableux. Ils ont été décrits par de nombreux auteurs et notamment par **BONFILS** et **FAURE (1956)**. Ces sols se sont développés sur du sable quaternaire d'origine fluviale et marine qui a subi par la suite des actions éoliennes. Ils présentent un profil très homogène de la surface jusqu'à plus de 4m de profondeur. Leur fraction **argileuse** composée essentiellement de kaolinite est très faible (2 à 3%) ; leur horizon humifère, très peu **différencié**, présente des taux de matière organique de 0.2 à 0.5%. Ces sols ont des capacités d'échange cationique très faibles (1 à 3 meq/100g de sol). Du fait de leur texture essentiellement sableuse, de leur composition minéralogique et de leur pauvreté en matière organique, ils ont un faible pouvoir tampon.

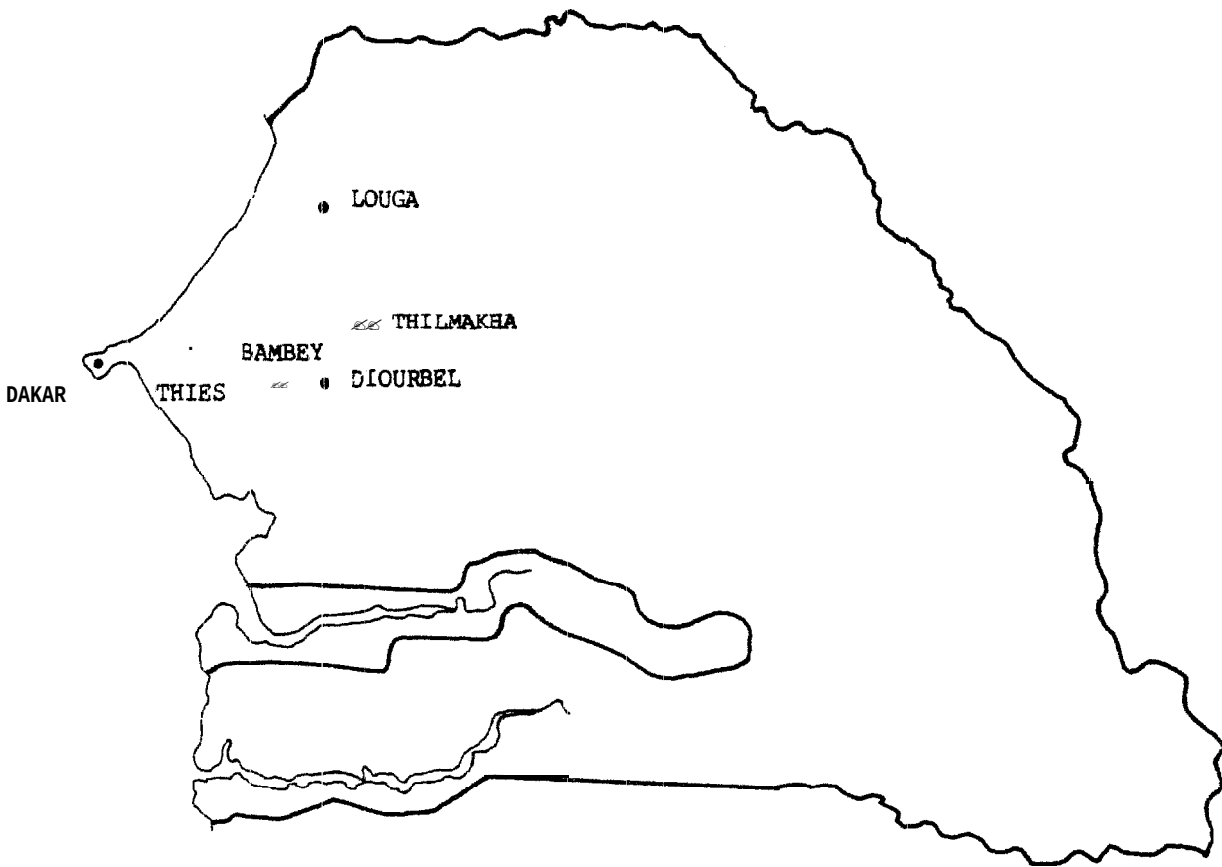


FIGURE 1.a : LIEU D'IMPLANTATION DE L'EXPERIMENTATION AGRONOMIQUE (THILMAKHA)

SERIE II

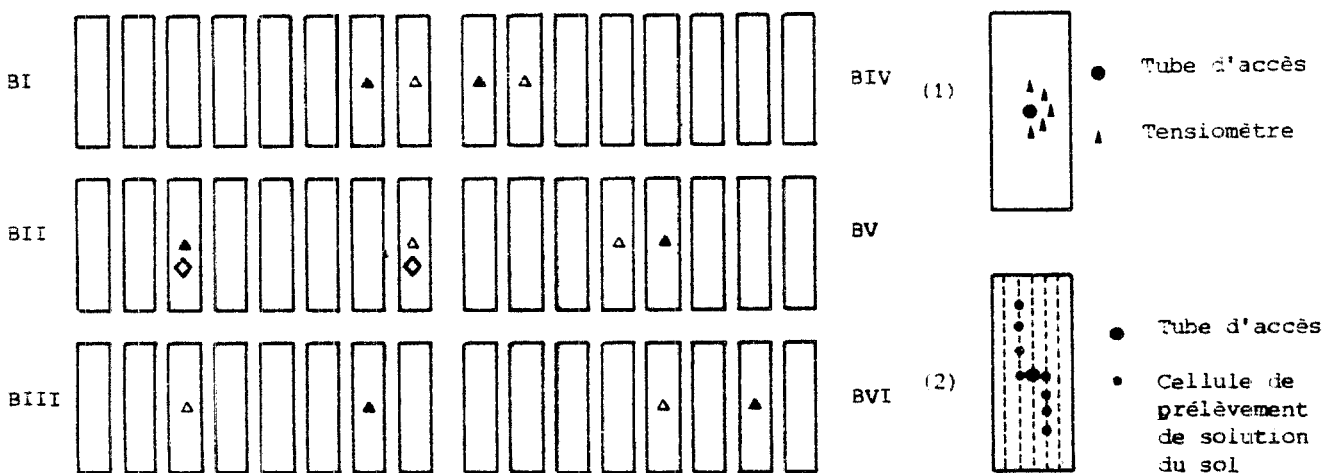


FIGURE 1.b : SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL (SERIE II) - DISTRIBUTION DES TRAITEMENTS

- ▲ T1
- △ T0
- ◆ Site de caractérisation hydrodynamique
- (1) Disposition du tube d'accès et les tensiomètres
- (2) Disposition des cellules de prélèvement de solution du sol

La pression démographique qui s'est accentuée vers les années 1960 (M.D.R/D.S.A. 1962-1971), a entraîné, dans cette zone très anciennement cultivée, un bouleversement des systèmes de culture. La culture itinérante, caractérisée par des jachères de durée plus ou moins longue qui permettaient aux sols de ne pas trop se dégrader, s'est transformée progressivement en une culture fixée avec une utilisation continue des sols. Les statistiques agricoles révèlent une diminution de la production arachidière commercialisée, dans la zone Centre-Nord du Sénégal, qui est passée en moyenne de 350 000 tonnes/an entre 1962-1967 à 290 000 tonnes/an entre 1968-1971 (M.D.R/D.S.A. 1962-1971).

Une pluviométrie insuffisante et très mal répartie dans le temps et dans l'espace est en général avancée, comme étant la cause de cette baisse de production. Si l'alimentation hydrique est un facteur prépondérant dans l'élaboration des rendements des cultures dans le Centre-Nord du Sénégal (Dancette, 1982), la culture continue des sols, la très faible voire l'absence de restitution des résidus de récoltes, l'insuffisance des apports d'engrais minéraux qui ne pouvaient pas compenser les exportations minérales par les récoltes ont entraîné une baisse du statut organique des sols et des réserves en bases échangeables en particulier, celles en Ca, Mg et K (PIERI, 1976). Ainsi la fertilité des sols sous culture continue s'est progressivement dégradée pour aboutir dans certains cas, à un niveau tel que leur productivité très faible contraignait les paysans à les abandonner.

Le CNRA de Bambey a été ainsi amené à mettre en place en 1972, à Thilmakha (Fig. 1-a) dans un site représentatif de la zone Centre-Nord du Sénégal, une expérimentation agronomique dont l'objet est de tester des techniques culturales pour la régénération d'un sol sableux dégradé et d'en mesurer les effets sur l'arachide et le mil. Le travail de thèse proprement dit a été initié en 1983 sur ce dispositif expérimental dans le cadre d'une action de recherche soutenue par l'AIEA (Agence Internationale pour l'Energie Atomique).

I.2- DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE BASE ET CONDUITE DES CULTURES

Depuis son origine, le dispositif expérimental est constitué de deux séries de six (6) blocs de Fischer **comprenant** chacun huit (8) traitements complètement randomisés. **La** distribution des traitements à l'intérieur des blocs est la même dans les deux séries.

Les traitements sont :

- 1- fumure minérale
- 2- labour t fumure minérale
- 3- labour + fumier t fumure minérale
- 4- chaux + fumure minérale
- 5- fumure minérale
- 6- labour + chaux t fumure minérale
- 7- labour + fumier t chaux + fumure minérale
- 8- labour + fumure minérale

Les traitements 1 et 2 ont été doublés pour y tester l'effet de l'inoculation de rhizobium et de l'application de nématicide sur arachide.

Les parcelles élémentaires ont pour dimensions 6m x 15m = 90 m²

Les séries sont cultivées en rotation arachide-mil décalées donnant, ce qui permet **d'apprécier** chaque **année** l'effet des **traitements** sur les deux cultures de cette rotation.

Le labour réalisé à la traction bovine (10 cm de profondeur environ), l'apport de fumier (10% **d'humidité** environ) à raison de 10t/ha, et celui **de** la chaux (600kg/ha) sont faits uniquement sur la culture d'arachide et leurs effets **résiduels** sont mesurés sur la culture de mil qui suit.

L'arachide est semée au disque avec un écartement entre les 'lignes de 0.45m. Au semis, 150kg/ha d'engrais ternaire (NPK) de formule 8-18-27 sont apportés.

Le mil est **semé** en poquets à la densité de 1m x 1m, **démariés**, 10 jours après la levée, à 3 plants. Au semis du mil, 150 kg/ha d'engrais ternaire (NPK) de formule 14-7-7 sont apportés. Au démariage et au 41e jour de **végétation**, 50kg/ha d'urée sont **appliqués**.

La conduite des cultures (sarclo-binage, protection phytosanitaire, etc...) est correctement assurée en suivant les techniques mises au point par la recherche agronomique.

I.3- MESURES ET EXPERIMENTATIONS SPECIFIQUES

3.1- Choix des traitements étudiés

Des différences de rendements très importants ont été observés entre les traitements et ont conduit à initier ce travail de thèse. On a présenté au tableau 1 les rendements en gousses de l'arachide obtenus entre 1972 et 1981 sur les deux séries de l'expérimentation.

Tableau 1 Rendements en gousses (kg/ha) de l'arachide. 1972-1981

F.M : fertilisation minérale - L : Labour

C : chaux - F : fumier

Traitement :	1973	1975	1977	1979	1981	1972	1974	1976	1978	1980
-	-									
• F.M	1221	917	542	354	300	475	762	1025	525	390
• L+F.M	1293	1312	940	579	344	480	815	942	510	362
• L+F+F.M	1331	1515	1810	748	1015	623	1156	1489	2323	671
• C+F.M	1125	1142	985	637	621	510	917	1515	1419	619
-LtCtF.M	1273	1210	1258	796	781	569	1042	1529	1640	719
-LtFtCtF.M	1344	1506	1794	829	1027	665	1177	1506	2250	794

Ces résultats tendent à montrer que le labour n'augmente pas les rendements de l'arachide (7 années sur 10) ou a un faible effet sur ceux-ci. La chaux, seule ou combinée au labour, procure en moyenne des surplus de rendements, par rapport au traitement fertilisation minérale seule, de 40 à 60%. Les traitements labour + fumier et labour + fumier + chaux ne diffèrent pas et donnent en moyenne des rendements deux fois plus élevés que celui du traitement fertilisation minérale. Le fumier apparaît donc comme ayant l'effet le plus important sur les rendements.

Cette analyse nous a amené à choisir les traitements extrêmes labour + fertilisation minérale et labour + fumier + fertilisation minérale, pour être l'objet d'observations et de mesures spécifiques visant à mettre en évidence les effets du fumier sur les paramètres du sol et de la plante et en expliquer son action très positive.

Ces deux traitements retenus seront par la suite référés comme T0 (labour + fertilisation minérale) et T1 (labour + fertilisation minérale + fumier) et leur distribution à l'intérieur des blocs est représentée à la figure 11-b).

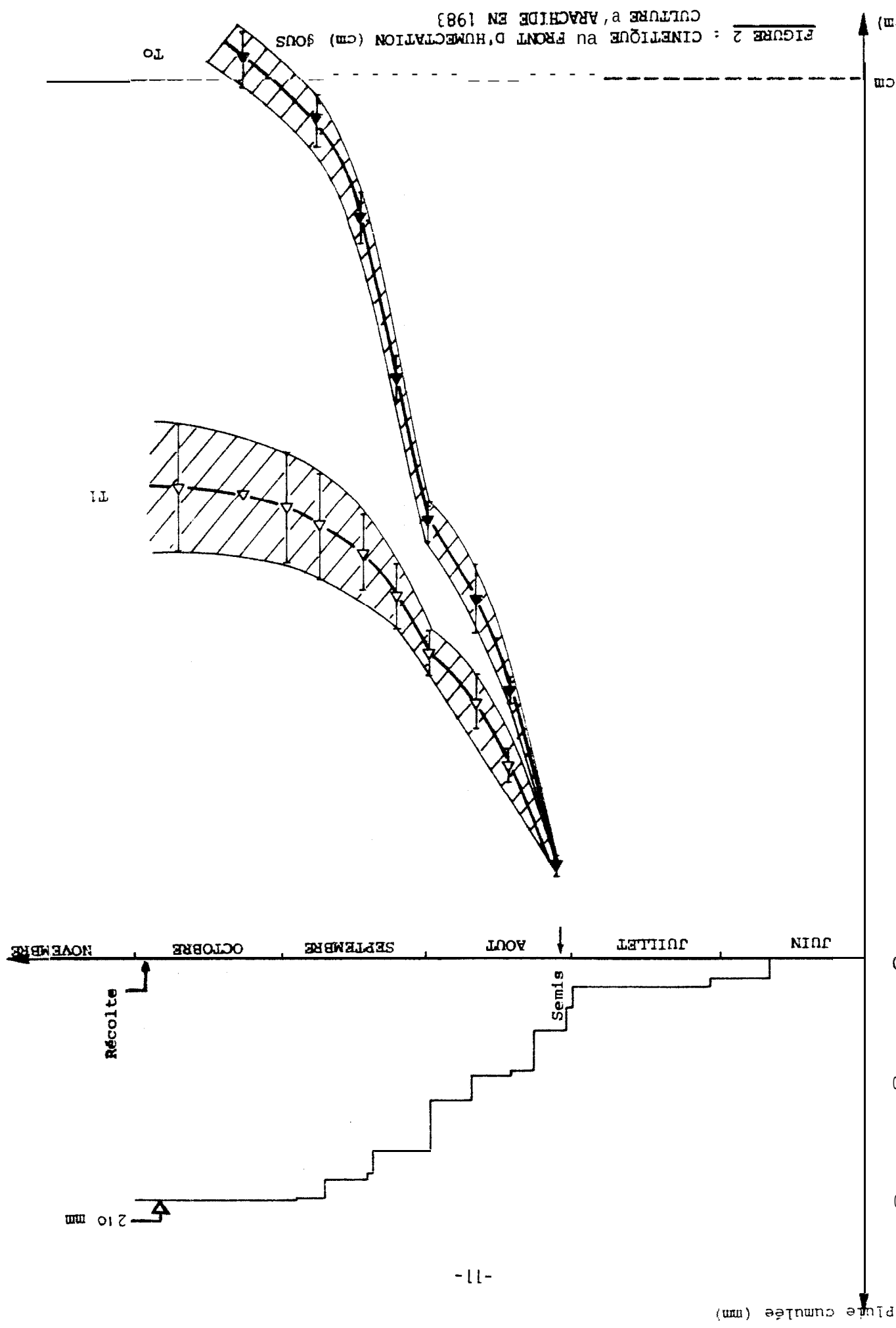
3.2- Mesures et expérimentations réalisées

L'étude a démarré en 1983 sur une appréciation des effets des deux traitements sous culture d'arachide,

Une caractérisation du sol soumis aux deux traitements a été faite sur des échantillons de sol prélevés avant le semis de l'arachide. Un fractionnement par hydrolyse acide des formes d'azote du sol a été également réalisé avant la mise en culture des parcelles. On a implanté au centre de la parcelle, sur chacun des deux traitements choisis, un tube d'accès pour humidimètre à neutrons à 4m de profondeur sur les blocs II à VI de la série I (le bloc 1 de cette série n'a pas été instrumenté à cause d'une erreur survenue dans la mise en place des traitements, antérieurement à 1983).

Sur chaque traitement et répétition (5), six cellules, de prélèvements de solution du sol ont été mises en place à 1.5m de profondeur, cote choisie pour estimer les pertes minérales par lixiviation sous culture d'arachide. D'après les travaux de CHOPART (1980), cette cote serait la limite du front racinaire de l'arachide dans les sols sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal. Une quantification de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par l'arachide a été faite en utilisant de l'azote marqué (N15).

L'analyse des résultats obtenus en 1983 a conduit à orienter le protocole de mesures de la façon suivante :



- En 1984

A partir de la faible variabilité spatiale de la texture et des profils hydriques, qui sera présentée plus loin, on a réduit à trois le nombre de répétitions à instrumenter de façon, et, qui a permis de travailler en même temps sur les cultures et de réserver les répétitions restantes en interventions et mesures très destructives, on pouvant modifier significativement l'effet des traitements étudiés.

A partir de la constatation de différences très importantes sur la cinétique d'humectation du sol sous les deux traitements (fig. 2) un essai de caractérisation des propriétés de transfert et de rétention hydrique du sol a été réalisé après les récoltes sur chacun des deux traitements dans un bloc de la série II (fig. 1 - b) non équipé en dispositifs de mesures hydriques et de prélèvements de solution du sol. Cette caractérisation a été faite pour voir si les apports de matière organique n'avaient modifié ces propriétés.

En outre une caractérisation de l'enracinement du milieu dans la couche 0-0,5m du sol a été faite, celle de l'arachide, à cause de la lourdeur de la méthode utilisée, n'a été faite qu'en 1985.

L'instrumentation des traitements en tubes d'accès pour humédimètre à neutrons, tensiomètres et cellules de prélèvements de solution du sol est présentée à la figure 1-b. Les cellules de prélèvement de solution du sol ont été installées sous le milieu et d'arachide à différentes côtes et à l'apex des cellules par côté et par traitement. Cette disposition des cellules a été effectuée pour, d'une part, comparer la composition de la solution du sol sous les deux traitements et, d'autre part, calculer les pertes minérales par lixivations. Pour le milieu, ces pertes sont estimées à la côte 1,80m, côte maximum atteinte par le système racinaire du milieu sur ce type de sol (CHOPART, 1980)

Les tensiomètres ont été mis en place pour pouvoir calculer les flux hydriques pendant les épisodes de coulements d'eau ont lieu au-delà de la dernière côte de mesure hydrique

- En 1985

On a poursuivi les mêmes mesures hydriques et tensiométriques sans les sones des cultures.

Dans le but de caractériser les processus d'infiltration des premières pluies et les courbes de rétention hydrique ($h-O$) des horizons de surface ($0-0.1$ et $1-0.2m$) une expérimentation fine a été effectuée sous culture de mil. On a ainsi implanté sur chacun des deux traitements, T et T1 et dans les trois répétitions de la série II trois tensiomètres à $0.1m$ et deux à $0.2m$. L'évolution de la succion du sol et celle des profils hydriques dans le premier mètre ont été suivies par des mesures faites matin et soir pendant une semaine, à partir de la pluie de semis.

Des cellules de prélèvement de solution du sol ont été implantées sur chaque traitement aux côtes de mesures des pertes minérales par lixiviation ($1.5m$ sous arachide et $1.8m$ sous mil) à raison de deux cellules par côte à l'intérieur d'un traitement.

Une caractérisation des principaux stades phénologiques ainsi qu'un suivi de l'évolution des teneurs et des mobilisations en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium ont été réalisés sur les deux plantes.

L'évolution de l'enracinement du mil et de l'arachide, dans les couches de surface du sol ($0-0.1m$ et $0.1m-0.2m$) a été étudiée par une estimation des masses racinaires aux 15e, 30e, 45e et 75e jour après la levée. A mi-cycle de développement végétatif de l'arachide une caractérisation de l'enracinement de la plante similaire à celle faite sur le mil en 1984, a été effectuée.

Enfin, le statut organique du sol soumis aux deux traitements a été étudié par une analyse de la répartition du carbone et de l'azote dans les principales fractions texturales ($200-2000$, $50-200$, $20-50$, $2-20$ et $0-2$) μ des horizons $0-0.1m$ et $0.1-0.2m$ du sol.

I.4- CLIMAT

La pluviométrie relevée à Thilmakha de 1972 à 1985 est présentée au tableau 2-a. Ce tableau contient deux séries de mesures obtenues à 1 km l'une de l'autre. Celles données de 1972 à 1982 ont été relevées à côté du dispositif expérimental à la station expérimentale de l'ISRA

(Institut Sénégalais de Recherches agricoles). Les pluviométries de 1983 à 1985 ont été obtenues sur le site de l'expérimentation par un pluviomètre installé entre les deux séries du dispositif expérimental.

Les quantités d'eau tombées de même que la répartition de celles-ci au **cours** d'une saison des pluies ont été très variables d'une année à l'autre. Quatre années seulement (1974, 1975, 1978, 1982) ont eu des pluviométries totales pouvant satisfaire les besoins en eau du mil et de l'arachide qui s'élèvent, pour les variétés cultivées dans la zone Centre-Nord du Sénégal, à 400-450 mm (Dancette, 1973).

Les années relatives à notre travail se caractérisent , du point de vue pluviométrique, par :

- Une saison des pluies très **courte** en 1983 (deux mois) qui ne s'est réellement installée qu'au début du mois d'août et qui a pris fin très précocement. La quantité totale d'eau tombée a été la plus faible depuis le début de l'expérimentation. Deux épisodes de pluviométrie très faible et nulle ont eu lieu respectivement dans la **deuxième** et la première décade des mois d'août et de septembre.
- Une date d'installation normale des pluies en 1984.. La pluviométrie de cette année qui est faible présente une période déficitaire dans la deuxième décade du mois d'août.
- Un **début** de saison des pluies un peu tardif en 1985, avec une pluviométrie annuelle relativement meilleure que celle des deux années précédentes et caractérisée par des épisodes très pluvieux pendant les deux dernières décades du mois d'août.

On ne dispose malheureusement pas de bac d'évaporation à Thilmakha. A titre d'information on trouvera au tableau 2-b les mesures d'évaporation bac obtenues à **Bambey** de 1983 à 1985.

ANNEE	JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE			TOTAL ANNUEL
	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d	
1972	36.7	0.0	21.0	0.0	0.0	18.2	69.7	28.0	17.9	40.0	40.4	1.0	2.3	1.3	0.0	289.5
1973	0.0	0.0	27.8	40.4	0.0	22.5	67.5	14.7	32.3	12.5	24.0	8.0	0.0	0.0	0.0	249.7
1974	0.0	0.0	4.0	20.2	22.8	16.6	143.0	29.3	51.3	89.0	0.0	70.5	17.5	23.5	0.0	467.7
1975	0.0	0.0	0.0	45.8	45.4	32.2	4.0	14.5	161.2	75.3	18.3	13.9	23.0	0.0	1.0	452.6
1976	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	37.6	17.0	68.1	27.0	36.0	0.0	20.0	7.5	0.0	0.0	321.2
1977	0.0	3.5	0.0	25.3	31.0	57.3	0.0	83.5	2.0	82.5	35.5	4.0	0.0	0.0	0.0	324.6
1978	4.0	13.5	13.0	23.0	50.0	36.5	36.5	27.0	18.0	54.5	58.5	47.5	4.0	0.0	0.0	396.0
1979	4.5	35.0	2.0	17.0	25.3	7.5	27.0	0.0	144.0	48.0	32.0	1.2	18.0	0.0	0.0	361.5
1980	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	23.0	74.0	27.0	17.0	37.0	4.0	27.0	34.0	0.0	0.0	251.0
1981	0.0	0.0	53.0	15.0	18.0	5.3	78.3	3.0	82.4	20.0	43.0	0.0	10.0	2.0	0.0	330.0
1982	0.0	0.0	1.5	0.0	88.0	47.0	9.0	36.2	60.2	30.2	10.0	10.0	21.0	0.0	0.0	413.1
1983	0.0	18.0	0.0	8.6	1.0	0.0	66.8	4.0	68.2	0.0	23.8	20.5	0.0	0.0	0.0	210.6
1984	10.0	37.0	3.0	17.5	12.5	19.2	31.0	6.5	44.0	17.5	52.0	10.1	19.0	0.0	0.0	279.3
1985	0.0	0.0	28.0	0.0	20.2	20.5	11.0	82.0	91.5	33.5	51.4	1.6	7.4	0.0	0.0	347.1

Tableau 2-a Pluviométrie décadaire (mm) de 1972 à 1985 à Thilmakha d = décade

ANNEE	JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d	1e d	2e d	3e d
1983	9.00	8.61	7.92	7.55	8.24	8.89	7.59	7.20	5.96	6.63	6.21	5.64	6.23	7.50	7.30
1984	10.04	7.97	7.13	7.41	6.51	6.76	6.1	8.12	6.67	6.73	6.63	5.42	5.49	6.83	2.62
1985	9.25	9.13	8.28	8.38	6.77	6.00	6.41	4.80	5.37	4.36	5.62	5.58	7.43	7.82	7.57

Tableau 2-b : Evaporation bac (moyenne décadaire) en mm/j mesurée à
Bambey - d = décade

CHAPITRE II

MATERIEL D'ETUDE ET METHODES DE MESURES ET D'ANALYSES

II.1- MATERIEL D'ETUDE

1.1- Sol

C'est un sol ferrugineux tropical peu lessivé dont la culture continue sans ou avec de très faibles apports d'engrais minéraux et sans restitution organique a abouti à une très forte dégradation de sa fertilité. Les caractéristiques chimiques du sol sous les traitements étudiés sont présentées à la fin de ce chapitre.

1.2- Fumier

Il provient de l'étable du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey. C'est un fumier de bovins, pailleux qui a déjà atteint un niveau de décomposition assez avancé (C/N égal à 20 en moyenne).

Avant chaque apport une caractérisation chimique du fumier est faites. Les résultats d'analyses sont présentés dans l'annexe 1

1.3- Variétés cultivées

Pour l'arachide la variété cultivée est la 55-437. C'est une variété hative (90 jours, semis-récolte) de type spanish à port érigé.

La variété de mil cultivée est le **souna** III dont le cycle (semis-récolte) est de 90 jours.

II.2- METHODES DE MESURES ET D'ANALYSES

2.1- Analyse granulométrique

Elle est faite sur des échantillons de 20g de sol tamisé à 2mm. La matière organique du sol est **détruite** par traitement à chaud à l'eau **oxygénée**. La destruction des agrégats par dispersion est réalisée avec du pyrophosphate de sodium.

Les fractions fines (argile et limon) sont **séparées** par **sédimentation** et les sables (fins, moyens et grossiers) par tamisage sur des tamis normalisés.

2.2- Mesures de la teneur en eau et de la pression d'eau

Les mesures de teneur en eau et de pression d'eau sont indépendantes. Les teneurs en eau du sol sont déterminées par gravimétrie, dans la **couche** de sol 0-0.2m, pour obtenir plus de précision dans la mesure de l'humidité de surface. A partir de 0.3m, elles sont obtenues par utilisation d'un humidimètre à neutrons (type Troxler 3222, 10mci ; source americium 241 - Beryllium) avec des tubes **d'accès** en aluminium. Le 'type d'humidimètre utilisé permet une lecture directe de l'humidité du sol, s'il a en mémoire les paramètres de la courbe d'étalonnage. L'étalonnage de l'humidimètre a **été** fait au mois de février 1983 de la façon décrite ci-dessous.

Le site pour l'établissement de l'étalonnage a été choisi d'après l'analyse du taux **d'éléments** fins (argile et limon) (principal paramètre régissant les transferts hydriques dans les sols sableux du **Centre-Nord** du Sénégal (IMBERNON, 19801, de la couche 0-3.7m du sol de 15 sites de mesures répartis sur le dispositif expérimental. Les valeurs des taux d'argile + limon de la couche 0-1.5m de ces 15 sites (**valeurs** moyennes) ainsi que celles obtenues sur le site choisi pour l'étalonnage sont données au tableau 3-a. On n'a pas présente les valeurs de la couche 1.5-3.7m car à partir de l'horizon 1.2-1.3 m, le taux d'argile + limon ne varie pratiquement plus.

On a mesuré, près du tube d'accès installé, les densités humides (tableau 3-b) à l'aide de cylindres de densité de volume égal à 250cm³.

Des échantillons de sol ont été prélevés à la tarière par pas de 0.1m jusqu'à 1.50m de profondeur, en trois répétitions près du tube d'accès et parallèlement on a effectué avec l'humidimètre, des mesures d'humidité dans les mêmes horizons du sol (pas de 0.1m jusqu'à 1.50m)

Ces échantillons prélevés permettent de déterminer, par gravimétrie, l'humidité pondérale des différents horizons du sol. Celle-ci est ensuite multipliée par la densité humide des horizons considérés pour obtenir l'humidité volumique. En corrélant les humidités volumiques ainsi déterminées aux comptages ramenés à un standard (étui), on obtient la courbe donnée à la figure 3.

Les valeurs de la pente (a) et de l'ordonnée à l'origine (b), calculées à partir de cette droite sont ensuite introduites dans l'appareil. Avec ces deux valeurs et celle du comptage étui fait en début de chaque mesure de profil hydrique, le microprocesseur de l'humidimètre calcule et affiche à chaque pas de mesure l'humidité du sol.

Un profil hydrique est mesuré avant l'arrivée de la première pluie pour caractériser l'état hydrique initial des traitements suivis. Ensuite, du semis à la récolte, des profils hydriques sont mesurés, en général, à un rythme hebdomadaire. Les mesures de profils hydriques sont toujours faits par pas de 0.1m jusqu'à la dernière côte de mesure (3.70m).

Les mesures tensiométriques sont réalisées à l'aide de tensiomètres à mercure. Le niveau du mercure se trouve à 0.25m du sol. Les tensiomètres sont installés au centre de la parcelle, autour du tube d'accès pour l'humidimètre à neutrons, lorsque le sol a été humidifié jusqu'à un mètre environ. Pour le mil ils sont placés à 0.8, 1.1, 1.4, 1.7 et 2.0m et pour l'arachide à 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 et 1.8m.

Horizon (m)	Taux moyen d'(argile + limon) des 15 sites	Taux d'(argile + limon) du site d'étalonnage
0 - 0.1	2.3	2.5
0.1 - 0.2	3.4	3.5
0.2 - 0.3	3.6	2.8
0.3 - 0.4	3.8	3.3
0.4 - 0.5	3.8	3.3
0.5 - 0.6	3.9	3.5
0.6 - 0.7	3.6	3.3
0.7 - 0.8	3.5	3.3
0.8 - 0.9	3.3	2.8
0.9 - 1.0	3.1	2.8
1.0 - 1.1	3.0	3.0
1.1 - 1.2	3.0	2.8
1.2 - 1.3	2.8	2.5
1.3 - 1.4	2.7	2.5
1.4 - 1.5	2.5	2.3

Tableau 3-a_: Taux moyen d'argile + limon (en %) des
15 sites et celui du site d'étalonnage

Horizon (m)	Densité (g/cm3)
0 - 0.1	1.45
0.1 - 0.2	1.50
0.2 - 0.3	1.49
0.3 - 0.5	1.51
0.5 - 0.7	1.52
0.7 - 0.9	1.51
0.9 - 1.1	1.50
1.1 - 1.3	1.50
1.3 - 1.5	1.49

Tableau 3-b_: densité du sol (g/cm3 mesurée à coté du site d'étalonnage
de l'humidimètre à neutrons

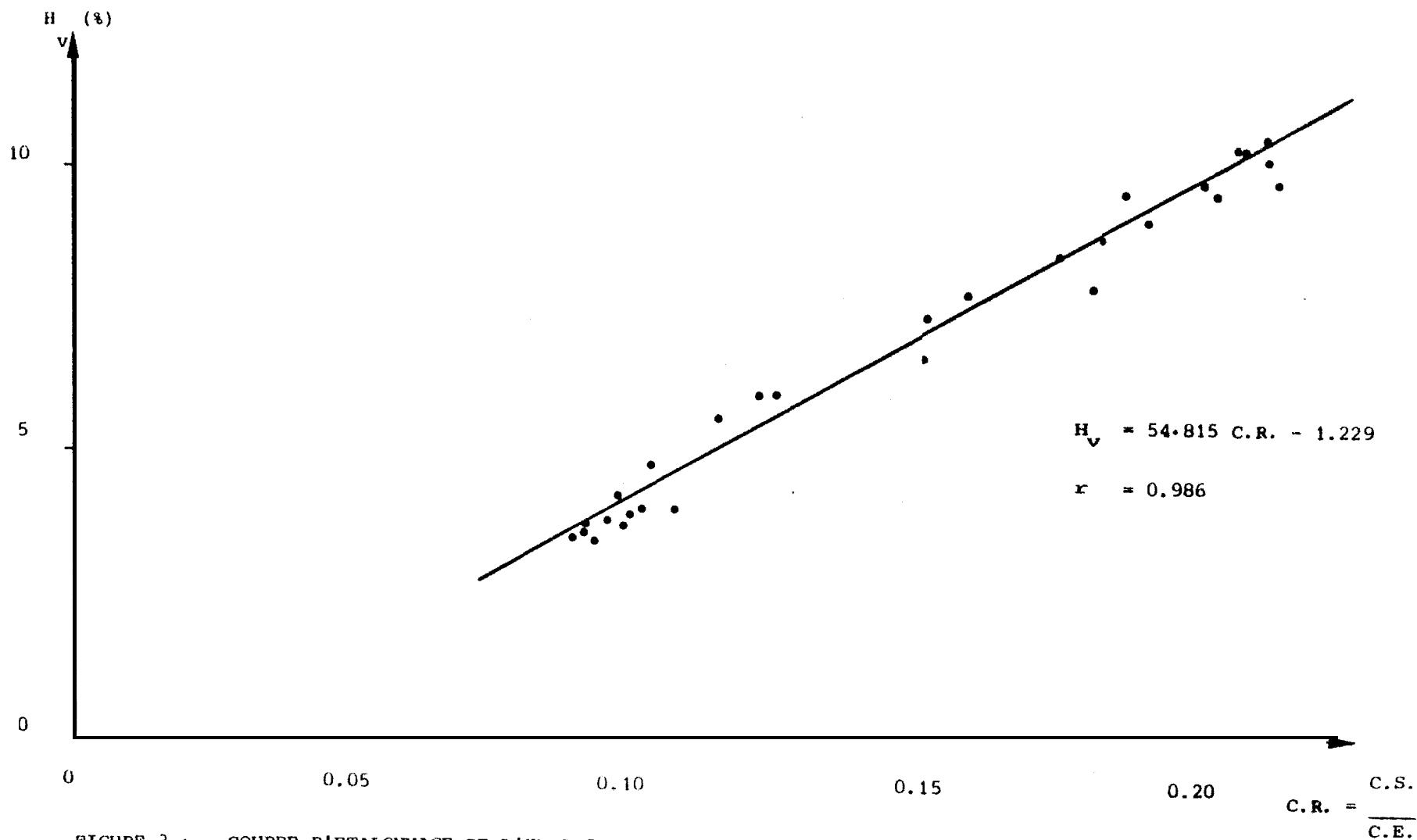


FIGURE 3 : COURBE D'ETALONNAGE DE L'HUMIDIMETRE A NEUTRONS

C.R. : comptage ratio - C.S. : comptage sonde - C.E. : comptage étui

A partir de leur installation, les mesures sont faites tous les jours jusqu'à la récolte. Compte tenu du grand nombre de mesures on a utilisé, pour le traitement des mesures d'humidité du sol, un logiciel mis au point à l'I.M.G (R. LATY, 1986)

2.3- Prélèvement et analyse chimique de la solution du sol

La solution du sol est extraite à l'aide de cellules de prélèvements, types **soil moisture** ref : 1900. Les bougies poreuses sont en céramique et ont un diamètre **intérieur** de 48mm. Les cellules sont trempées pendant au moins un mois dans de l'eau **distillée**, renouvelée à quatre reprises, **avant d'être** installées.

Pour l'estimation des pertes minérales par lixiviation, elles sont implantées aux cotes de référence (1.5m sous arachide et 1.8m sous mil), quand le sol a été humidifié jusqu'à un mètre environ. Pour l'étude comparative de la solution prélevée sous les traitements, réalisée en 1984, les cellules de prélèvement ont été mises en place après la levée des cultures à 0.3, 0.6, 0.9 et 1.5m sous culture d'arachide et à 0.3, 0.6, 0.9 et 1.8m sous culture de mil.

Les prélèvements de solution sont faits en général toutes les semaines entre deux mesures de **profils** hydriques, par création à l'intérieur des cellules d'un vide de 600 millibars réalisé grâce à une pompe à vide **manuelle** et collecte de la solution après une nuit au cours de laquelle les **cellules** fonctionnent à pression décroissante. La solution recueillie est **filtrée** et conservée en chambre froide à 5°C environ jusqu'au moment de l'analyse chimique.

La teneur en calcium et magnésium de la solution **prélignée** est déterminée par absorption atomique et celles en potassium et en azote (nitrate) respectivement par émission de flamme et par **colorimétrie**.

2.4- Mesures phénologiques et racinaires et analyses chimiques du végétal

2.4.1- Culture de mil

a - Mesures et observations phénologiques

Ces mesures n'ont été faites qu'en 1985.

Le suivi du tallage et de la croissance linéaire est fait à partir du 17ème jour après la levée. Au 14ème jour après la levée, on mesure la hauteur des plantes (en relevant les feuilles et en mesurant celle qui est la plus longue) des poquets de la ligne centrale de chaque traitement dans les six (6) blocs de la série II. La moyenne et l'écart-type des mesures effectuées sur un traitement et dans un bloc ont été calculés et trois poquets du traitement et du bloc considérés dont la hauteur des plantes est comprise dans l'intervalle moyenne $\pm$ écart-type ont été choisis et identifiés par une étiquette pour le suivi du tallage et de la croissance linéaire. Ce suivi a été fait à un rythme hebdomadaire en comptant le nombre de talles par poquet et en mesurant la hauteur comme indiqué ci-dessus. A l'apparition des noeuds, la mesure de la hauteur est faite sur la talle principale du poquet, de la base au dernier noeud formé.

Pour la croissance pondérale, les prélèvements de plantes sont effectués en général tous les 15 jours à raison de trois par traitement sur les deuxièmes lignes de bordure (le nombre de lignes par traitements est de 7 ; les 3 lignes centrales sont réservées à la mesure des rendements) et dans les blocs 1, IV, V et VI.

Les plantes prélevées au niveau du plateau de tallage sont découpées en morceaux de 10 cm de long environ et mises à sécher à l'étuve à 70°C pendant 72 heures. Après la pesée de leurs poids secs un échantillon est prélevé pour l'analyse des teneurs minérales.

Les dates de début d'épiaison ont été relevées dans les trois blocs instrumentés (blocs 1, IV et VI) et à partir de cette date le nombre d'épis par poquet est compté chaque semaine sur tous les poquets (16) de la

ligne centrale de chaque traitement dans ces trois blocs. On a également noté les dates de **début** floraison ainsi que celles où 50% des épis formés ont fleuri.

b - Mesures et observations racinaires

En 1984 l'enracinement du mil a été caractérisé à mi-cycle de développement végétatif par la mesure des masses racinaires de la couche de sol **0-0.5m** et par la description des profils racinaires jusqu'à la profondeur de présence des racines. La méthode de mesure utilisée est celle des prélèvements **globaux**. Elle consiste à découper un monolithe de surface de base d'un mètre carré ; le poquet de mil se trouvant au centre de celle-ci. Le monolithe est ensuite ainsi subdivisé : **0-0.1m**; **0.1-0.2 m**, **0.2-0.3m** et **0.3-0.5m**. Les racines contenues dans ces différentes couches sont extraites **sur place** par lavage sur un grand (**1m x 1m**)**tamis** de maille carrée de **1mm**. Elles sont lavées une deuxième fois au laboratoire afin d'éliminer les débris non racinaires que le premier lavage n'a pas permis d'enlever. Les échantillons de racines **sont** ensuite mis à **l'étuve** à 70°C pendant 72 h puis pesés.

Le nombre de points de prélèvements de racines est de 10 **par** traitement effectués en raison de 5 répétitions internes par traitement dans deux des trois blocs non instrumentés (blocs **III et V**) de la série 1. La description complète des profils racinaires a été faite en deux répétitions par traitement (une dans chacun des blocs **III et V**).

En 1985, compte tenu des différences très importantes observées sur l'enracinement, surtout dans les horizons de surface **0-0.1** et **0.1-0.2m**, un suivi de l'enracinement dans ces horizons a été fait pour **voir** si ces différences se manifestaient avant la mi-cycle de développement végétatif. La même méthode de **prélèvement** racinaire que celle décrite ci-dessus a été utilisée et **quatre** répétitions par traitements ont été faites, à raison de deux sites de mesures internes dans chacun des traitements **des blocs** (**II et V**) de la série II. Les prélèvements ont été faits au **15e, 30e, 45e et 75e** jour après la **levée**.

2.4.2. Culture d'arachide

Les mesures et observations faites sur l'arachide ont été toutes réalisées en 1985.

a - Mesures et observations phénologiques

La croissance pondérale de l'arachide est étudiée par prélèvement au hasard de trois pieds par traitement sur les 2e et 3e lignes de bordure. Les prélèvements sont effectués en général, chaque semaine dans les blocs II à VI de la série 1. Chaque traitement compte 16 lignes dont les 10 sont réservées à la mesure des rendements.

Les pieds prélevés sont séchés à l'étuve à 70°C pendant 72 h. Ils sont ensuite pesés et un échantillon est pris pour la détermination des teneurs minérales.

Le suivi de la floraison est fait sur quatre pieds par traitement et sur les trois blocs instrumentés en tubes d'accès et tensiomètres (blocs II, IV et VI). Le choix est fait au hasard dans la partie centrale de la parcelle. Les pieds choisis ont été identifiés par une étiquette et leur floraison a été suivie par comptage journalier du nombre de fleurs à partir de l'apparition des premières fleurs.

b - Mesures et observations racinaires

La méthode de prélèvement de racines décrite pour le mil a été utilisée pour les mesures faites sur l'arachide ; mais dans ce cas-ci le monolithe découpé à une surface de base égale à 0.45m x 0.6m.

Les racines des couches 0-0.1 et 0.1-0.2m du sol ont été mesurées aux 15e, 30e, 45e et 75e jour après la levée pour suivre leur évolution. En outre, à mi-cycle de développement végétatif, on a mesuré les masses racinaires des couches 0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3 et 0.3-0.5m du sol. Les racines prélevées ont été lavées et séchées dans les mêmes conditions que celles mentionnées dans le cas du mil.

Ces divers prélèvements racinaires ont été faits dans les blocs III et V de la série I à raison de 2 et 3 répétitions internes par traitement, respectivement pour le suivi de l'évolution des masses racinaires dans les couches de surface et les mesures effectuées à mi-cycle du développement végétatif. On a en outre décrit à mi-cycle les systèmes racinaires, de l'arachide se développant sur les deux traitements en examinant un profil complet par traitement dans les blocs III et V

2.5- Quantification de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par l'arachide

Elle a été faite en 1983 à l'aide de l'azote marqué (N15) apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque. On a utilisé comme plantes de référence, une arachide non nodulante et un mil souma (variété 3/4 ex-bornu).

Les analyses de N15 ont été faites au laboratoire de l'Agence Internationale pour l'énergie atomique à VIENNE. Une présentation plus complète de cette étude ainsi qu'une analyse plus approfondie des résultats obtenus seront; faites dans le cadre de la thèse que soutiendra très prochainement GANRY.

2.6- Caractérisation du statut organique du sol

Elle a été faite en 1985, après les récoltes, par une analyse de la répartition du carbone et de l'azote dans les différentes fractions texturales du sol.

La méthode de prélèvement de sol utilisée est celle décrite par FELLER et al (1981 et 1982). Les prélèvements ont été effectués dans le bloc I de la série II et pour la série 1, dans le bloc II, dans les horizons 0-0.1 et 0.1-0.2m.

Environ 5 kg de sol tamisé à 2mm est pris par traitement comme échantillon mère à partir duquel des prises seront faites pour le fractionnement granulométrique.

Après avoir bien homogénéisé l'échantillon de 5 kg, 100g sol sont pris et mis dans un b cher de 500ml dans lequel on ajoute 300ml d'eau distillée et cinq billes de verre. On agite pendant une heure environ et le sol dispersé est passé successivement sur des tamis de 200 et 50 . Avec une pissette on entraine par un jet latéral, à chaque tamisage, les particules collées au dos du tamis. Compte tenu de la faible teneur en argile (2 à 3%) et en limon (1% environ) du sol étudié, six répétitions (6x100g de sol) sont faites par échantillon.

Les six fractions 200-2000 , 50-200  et 0-50  obtenues sont réunies. On subdivise ensuite la fraction 0-50 , par sédimentation dans des allonges, en fractions 0-2 , 2-20  et 20-50  en siphonnant à 10 cm, après un temps de sédimentation de 7h et de 5mn respectivement pour les deux premières fractions. Pour chacune des fractions 0-2  et 2-20 , l'opération sédimentation - siphonage est répétée jusqu'à l'obtention d'un surnageant clair ( puisement de la fraction). En général trois répétitions suffisent pour avoir une séparation complète.

Les cinq fractions ainsi séparées sont séchées à l'étuve à 80 C puis pesées. Sur celles-ci, ainsi que sur l'échantillon mère on a dosé le carbone et l'azote.

Du fait de la grande quantité de sol à prélever (environ 250kg) et du nombre de points de prélèvements par traitement et par horizon (60 points) on n'a pas fait de répétition ; seul un traitement par série a été caractérisé.

2.7- Méthodes d'analyses chimiques du sol et des plantes

Le pH est mesuré au pH-mètre avec un rapport sol/solution de 1/2.5.

Le carbone organique est dosé par la méthode de Wakley-Black modifiée (oxydation par le bichromate de potassium et dosage volumétrique du bichromate en excès). La prise d'échantillon est modul e, selon la teneur présumée en carbone, entre 0.5 et 5g.

L'azote total du sol est dosé par la méthode au phenate alcalin sur une prise d'échantillon d'un gramme.

Les bases échangeables et la capacité d'échange cationique sont dosées par la méthode au cobaltihexamine.

L'aluminium échangeable est extrait au KCl 1N et dosé par colorimétrie automatique à l'éryochrome de cyanine.

Le phosphore total est dosé par colorimétrie du phosphomolybdate d'ammonium après une attaque fluoroperchlorique. Le phosphore assimilable est déterminé par la méthode de OLSEN modifié DABIN.

L'analyse des différentes formes d'azote a été faite après extraction au KCl 1N (N-NH₄, N-NO₃, N-total) et après hydrolyse acide (HCl 6N) pendant 12h pour la détermination de l'azote hydrolysable.

Les éléments (N, P, K, Ca et Mg) des plantes sont dosés après une attaque Kjeldahl (oxydation à l'aide ~~N₂O~~ d'acide sulfurique et d'eau oxygène en présence de sulfate de sodium comme catalyseur) d'une prise d'échantillon de 150 mg de poudre végétale préalablement séchée pendant environ deux heures à 80°C.

L'azote et le phosphore sont dosés par colorimétrie automatique, le potassium, par émission de flamme, le calcium et le magnésium par absorption atomique.

II.3- CARACTERISATIONS CHIMIQUES DES TRAITEMENTS ETUDIES

En 1983, avant la mise en culture des parcelles et avant tout apport d'engrais et de fumier des échantillons de sols ont été prélevés dans les horizons 0-0.1, 0.1-0.2 et 0.2-0.4m sur les deux traitements et dans les blocs II et VI de la série I. Une analyse des principales caractéristiques chimiques de ces échantillons a été faite. En outre, afin de mieux

caractériser les effets des deux traitements sur le statut de l'azote du sol, une analyse des différentes formes d'azote du sol a été faite sur des échantillons prélevés dans la couche de sol comprise entre 0 et 0.2 m.

3.1- Principales caractéristiques chimiques du sol sous les deux traitements

Au tableau 4 sont présentées les principales caractéristiques chimiques analysées.

Sauf, en ce qui concerne le phosphore OLSEN qui est ^{fr} **accrû significativement** par les apports de matière organique (plus de 75%), les caractéristiques chimiques de l'horizon 0.2-0.4m des deux traitements ne **présentent** pas de différences notables.

Sur les teneurs en carbone et en azote total des horizons 0-0.1m et 0.1-0.2m, les apports de matière organique sous forme de fumier ont induit des augmentations de 30 et 12%, de 45 et 15% respectivement pour le carbone et l'azote dans ces deux horizons. Le rapport C/N, dans les deux **traitements** est par contre le même.

La somme des bases échangeables, dans les deux premiers horizons, est plus élevée sous le traitement matière organique. Cette augmentation résulte essentiellement de celle des teneurs en calcium et en magnésium échangeables. On n'observe pas, en effet, de différence dans les teneurs en potassium échangeable. L'accroissement de la somme des bases échangeables, dû aux apports de matière organique, est d'environ 70% dans les horizons 0-0.1 et 0.1-0.2m.

On observe également des différences notables, dans les deux premiers horizons, sur le pH, l'aluminium échangeable et le rapport Al/Al+S. Sans apport de matière organique, l'acidité du sol est plus élevée de même que les teneurs en aluminium échangeable.

Caractéristiques1	T0			T1		
	0-0.1m	0.1-0.2 m	0.2-0.4m	0-0.1m	0.1-0.2m	0.2-0.4m
C (%)	1.06 ± 0.08	1.28 ± 0.17	1.27 ± 0.25	1.38 ± 0.10	1.43 ± 0.19	1.28 ± 0.21
N ix)	0.11 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.14 ± 0.02
C/N	10 ± 1.0	10 ± 1.0	10 ± 1.0	9 ± 1.0	9 ± 1.0	10 ± 1.0
Ptotal(ppm de P)	80 ± 15	78 ± 13	75 ± 9	78 ± 8	79 ± 13	81 ± 12
Polsen(ppm de P)	22 ± 4	16 ± 3	12 ± 2	24 ± 4	24 ± 7	21 ± 7
Ktotal(meq/100g)	1.63 ± 0.30	1.82 ± 0.30	1.87 ± 0.14	1.79 ± 0.09	1.64 ± 0.1	1.89 ± 0.14
Complexe absorbant						
Ca(meq/100g)	0.23 ± 0.08	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.06	0.40 ± 0.10	0.23 ± 0.05	0.11 ± 0.05
Mg(meq/100g)	0.07 ± 0.02	0.05 ± 0.009	0.05 ± 0.009	0.14 ± 0.02	0.12 ± 0.008	0.06 ± 0.01
K (meq/100g)	0.04 ± 0.002	0.04 ± 0.004	0.04 ± 0.004	0.05 ± 0.002	0.05 ± 0.006	0.04 ± 0.005
Na(meq/100g)	0.007 ± 0.0006	0.004 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.008 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.003 ± 0.002
S (meq/100g)	0.35 ± 0.09	0.23 ± 0.04	0.23 ± 0.006	0.60 ± 0.10	0.40 ± 0.04	0.23 ± 0.07
C.E.C(meq/100g)	0.48 ± 0.05	0.56 ± 0.09	0.65 ± 0.14	0.65 ± 0.08	0.60 ± 0.10	0.68 ± 0.06
S/C.E.C (%)	75 ± 27	43 ± 12	36 ± 14	95 ± 18	69 ± 19	34 ± 10
Al (meq/100g)	0.10 ± 0.03	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.11	0.0 ± 0.0	10.1 ± 0.05	0.2 ± 0.04
Al/Al + S (%)	18 ± 7	55 ± 9	63 ± 13	0.0 ± 0.0	24 ± 8	47 ± 3
pH eau	5.5 ± 0.3	5.4 ± 0.2	5.2 ± 0.1	6.0 ± 0.09	5.6 ± 0.09	5.3 ± 0.08
pH Kcl	4.3 ± 0.2	4.1 ± 0.05	4.2 ± 0.07	4.8 ± 0.08	4.3 ± 0.05	4.1 ± 0.05

Tableau 4 : Principales caractéristiques chimiques des horizons

L'analyse de ces principales caractéristiques chimiques du sol met en évidence des effets du fumier apporté, similaires en général à ceux observés par divers auteurs lors d'apports de matière organique **plus** ou moins évoluée (compost, fumier) dans les sols tropicaux (PICHOT 1975, PICHOT et al 1977 ; FELLER et GANRY 1981,...). Cependant, contrairement aux résultats rapportés notamment par, PICHOT (1971), BEYE (1974), DIATTA et FARDEAU (1979), On n'a pas observé d'augmentation significative des réserves potassiques du **sol** par suite des apports de fumier réalisés depuis la mise en place de l'expérimentation. Alors que DIATTA et al (1979) signalent des accroissements sur les teneurs en potassium de près de 60% après trois apports annuels de **10t/ha** (matière sèche) de fumier titrant en moyenne 3% de K, les résultats que nous avons obtenus ne montrent qu'un très faible accroissement (10% environ) de la teneur en potassium total de l'horizon **0-0.1m**.

Ces effets plus ou moins importants de l'apport de matière organique sur les réserves potassiques du sol pourraient provenir, entre autres, de la qualité de la matière organique utilisée (notamment de sa teneur en K), des successions **culturelles** et de l'importance des exportations des récoltes en potassium.

3.2- Répartition des différentes formes d'azote du sol en fonction des traitements

Les résultats de l'analyse des différentes formes d'azote du sol sont présentés au tableau 5.

La très grande variabilité, à l'intérieur d'un traitement, des **valeurs des formes d'azote du sol** extraites au **KCl 1N**, qui résulte probablement des faibles quantités de ces formes, ne permet pas de mettre clairement en évidence les effets des deux traitements sur ces formes d'azote analysées. Tout au plus, on pourrait avancer une tendance à l'**augmentation** des teneurs en azote-ammoniacal et en azote-nitrate par suite d'apports de matière organique.

Formes d'azote	To	Tl
extrait KCl 1N (en ppm)		
Azote " ammoniacal	0.50 ± 0.42	-0.78 ± 0.31
Azote " nitrate	0.90 ± 0.37	2.07 ± 0.94
Azote " organique	1.40 ± 0.69	1.17 ± 0.61
Azote " total	2.80 ± 1.05	4.03 ± 0.43
hydrolyse acide HCl 6N (en ppm)		
Azote hydrofysable	68.7 ± 11.7	100.4 ± 7.3
Azote non hydrolysable	30.1 ± 9.9	31.6 ± 7.0
Azote hydrolysable distillable	25.8 ± 3.0	34.2 ± 1.71
/Azote hydrolysable non distillable	42.9 ± 9.0	66.3 ± 5.9
Azote total (en ppm)	99.0 ± 5.6	132.0 ± 9.4

tableau_5_: Analyses des différentes formes d'azote dans
l'horizon O-p (avec $0.15m < p \leq 0.2m$) du sol

L'hydrolyse acide montre que c'est principalement le compartiment azote hydrolysable qui est affecté par les apports de matière organique. L'azote non hydrolysable, qui est d'environ 30ppm dans les deux traitements, représente 30% et 24% de l'azote total respectivement pour les traitements sans et avec apport de matière organique.

La différence de teneur en azote hydrolysable (30ppm environ) entre les deux traitements résulte essentiellement de l'accroissement de la fraction azote hydrolysable non distillable qui contient les acides aminés.

L'effet le plus marquant de l'apport de la matière organique sur le statut azoté du sol est donc l'accroissement du stock d'azote hydrolysable non distillable.

DEUXIEME PARTIE

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES BILANS **HYDRIQUES** ET MINERAUX

CHAPITRE III

CHOIX DES SITES DE MESURES

Après les résultats obtenus en 1983 sur culture d'arachide où cinq répétitions par traitement étaient équipées en dispositifs de mesure, on a étudié la possibilité de réduire, pour la suite, le nombre de répétitions à instrumenter pour y réaliser les études à mener sans toutefois occasionner une perte significative d'information. Cette démarche relève des contraintes pratiques découlant des conditions de notre étude et de préoccupations agronomiques qui étaient de pouvoir travailler en même temps sur les deux cultures, mil et arachide. Sur le plan des contraintes pratiques, la nature très sableuse et très perméable du sol étudié implique, pour l'étude du bilan hydrique sous culture, l'installation de tubes d'accès très profonds (4 m). Ceci limite le nombre de sites instrumentés, dans la mesure où les profils hydriques sont mesurés par pas de 0.1 m ce qui permet environ 12 profils par jour et que le dispositif expérimental est situé à 60 km du centre de Bambey (figure 1-a).

Sur le plan agronomique, il y a un grand intérêt à travailler au cours de la même saison des pluies sur le mil et l'arachide dans le but de pouvoir être en mesure de mettre en évidence d'éventuels effets de la culture sur les facteurs ou phénomènes étudiés.

La recherche d'une possibilité de réduire le nombre de répétitions à instrumenter est basée sur l'appréciation, par le calcul des valeurs moyennes affectées de leur écart-type, de la variabilité spatiale de la texture du sol, des profils et des stocks hydriques mesurés à des dates caractéristiques. Les valeurs moyennes de chaque variable, calculées à partir des mesures effectuées sur les cinq répétitions instrumentées en 1983, sont comparées à celles que donne un nombre plus réduit de répétitions.

L'appréciation de la variabilité spatiale de la texture porte sur le taux d'argile t limon qui, d'après les travaux de IMBERNON (1982), VAUCLIN et al (1983) et CISSE et al (1984) est un facteur explicatif très significatif de la conductivité hydraulique et des pertes minérales par **lixiviations** pour les sols sableux du Centre-Nord du **Sénégal**. Pour ce qui concerne les profils et les stocks hydriques du sol on a analysé respectivement les profils mesurés sur sol nu (avant les semis) et sous culture au maximum du stock hydrique! du sol et à une semaine des récoltes de l'arachide et les stocks hydriques calculés avant les semis et ceux correspondants au maximum du stock hydrique du sol.

111.1 -- VARIABILITE SPATIALE DU TAUX D'ARGILE t LIMON, DE LA TENEUR EN EAU ET DU STOCK HYDRIQUE TOTAL DU SOL.

Les valeurs **moyennes** du taux d'argile + limon par tranche de sol de 0.1 m **jusqu'à** 2 mètres de profondeur affectées de leur écart-type et obtenues **à partir** des mesures faites sur les cinq blocs instrumentes en 1983 sont présentées au tableau 6.

Ces valeurs montrent que le sol **présente** verticalement une très grande **homogénéité** en ce qui concerne son contenu en argile t limon..

En effet le taux d'argile + limon, de la surface du sol jusqu'à 2 m de profondeur, à une valeur comprise entre 2 et 4%. Au niveau spatial, la bande d'incertitude entourant les valeurs moyennes (valeurs des écart-types) est très faible.

Les valeurs moyennes de la teneur en eau du sol aux trois dates caractéristiques pour différentes tranches de sol sont reportées aux tableaux 7-a et 7-b. Compte tenu de la faible variabilité sur une verticale de mesure de la teneur en eau sol, celle-ci est donnée à partir de la côte 0.5 m par pas de 0.5 m.

HORIZON (m)	T0		T1	
	n = 5	n = 3	n = 5	n = 3
0 - 0.1	1.7 ± 0.2	1.7 ± 0.2	2.2 ± 0.6	2.2 ± 0.7
0.1 - 0.2	3.1 ± 0.7	2.9 ± 0.6	3.3 ± 0.5	3.3 ± 0.6
0.2 - 0.3	3.8 ± 0.6	4.0 ± 0.8	3.5 ± 0.6	3.4 ± 0.8
0.3 - 0.4	4.2 ± 0.6	4.3 ± 0.7	3.5 ± 0.6	3.7 ± 0.8
0.4 - 0.5	3.8 ± 0.5	3.9 ± 0.5	3.3 ± 0.3	3.1 ± 0.4
0.5 - 0.6	4.2 ± 0.5	4.3 ± 0.6	3.5 ± 0.6	3.8 ± 0.1
0.6 - 0.7	3.7 ± 0.7	3.8 ± 0.8	3.5 ± 0.6	3.4 ± 0.8
0.7 - 0.8	3.1 ± 0.2	3.1 ± 0.3	3.5 ± 0.6	3.9 ± 0.3
0.8 - 0.9	3.3 ± 0.8	3.7 ± 0.8	3.3 ± 0.5	3.3 ± 0.2
0.9 - 1.0	3.2 ± 0.4	3.4 ± 0.4	3.5 ± 0.4	3.4 ± 0.6
1.0 - 1.1	3.2 ± 0.7	3.3 ± 0.5	3.2 ± 0.4	3.3 ± 0.3
1.1 - 1.2	3.1 ± 0.6	3.2 ± 0.8	3.1 ± 0.7	3.2 ± 0.3
1.2 - 1.3	2.7 ± 0.6	2.8 ± 0.7	2.8 ± 0.5	2.8 ± 0.5
1.3 - 1.4	2.5 ± 0.4	2.8 ± 0.3	2.7 ± 0.6	3.0 ± 0.6
1.4 - 1.5	2.4 ± 0.4	2.4 ± 0.6	2.6 ± 0.6	2.7 ± 0.6
1.5 - 1.6	2.4 ± 0.2	2.5 ± 0.3	2.7 ± 0.8	2.9 ± 0.9
1.6 - 1.7	2.1 ± 0.6	2.2 ± 0.7	2.6 ± 0.6	2.9 ± 0.5
1.7 - 1.8	2.4 ± 0.3	2.5 ± 0.8	2.4 ± 0.6	2.4 ± 0.1
1.8 - 1.9	2.0 ± 0.3	2.1 ± 0.2	2.2 ± 0.4	2.4 ± 0.3
1.9 - 2.0	2.0 ± 0.3	2.1 ± 0.3	2.1 ± 0.4	2.3 ± 0.1

Tableau 6 : Taux d'éléments inférieurs à 20 μ (A+L, en %) dans le profil du sol - Valeurs moyennes $\pm$ écart-type
n = nombre de blocs

HORIZON (m)	20/7/1983		13/9/1983		22/10/1983	
	n = 5	n = 3	n = 5	n = 3	n = 5	n = 3
0 - 0.1	0.20 ± 0.05	0.20 ± 0.06	9.90 ± 1.50	9.30 ± 1.00	0.30 ± 0.05	0.30 ± 0.06
0.1 - 0.2	0.73 ± 0.26	0.80 ± 0.27	8.80 ± 0.80	8.70 ± 0.90	0.70 ± 0.30	0.60 ± 0.40
0.2 - 0.3	1.40 ± 0.47	1.60 ± 0.40	6.50 ± 0.80	6.50 ± 0.90	3.10 ± 0.80	3.10 ± 1.00
0.3 - 0.4	2.20 ± 0.45	2.40 ± 0.35	6.00 ± 0.70	6.10 ± 0.80	3.60 ± 0.60	3.70 ± 0.70
0.4 - 0.5	2.70 ± 0.51	2.90 ± 0.30	5.50 ± 0.50	5.60 ± 0.50	3.80 ± 0.10	3.80 ± 0.20
0.5 - 1.5	3.60 ± 0.53	3.70 ± 0.46	5.70 ± 0.26	5.70 ± 0.32	4.40 ± 0.40	4.80 ± 0.40
1.5 - 2.0	3.80 ± 0.51	4.00 ± 0.32	6.30 ± 0.48	6.50 ± 0.42	4.90 ± 0.50	5.10 ± 0.20
2.0 - 2.5	3.90 ± 0.39	4.00 ± 0.25	7.10 ± 0.13	7.10 ± 0.10	5.60 ± 0.39	5.70 ± 0.38
2.5 - 3.0	4.30 ± 0.42	4.50 ± 0.17	4.60 ± 0.40	4.80 ± 0.21	6.10 ± 0.13	6.00 ± 0.12
3.0 - 3.5	4.70 ± 0.24	4.80 ± 0.12	4.60 ± 0.21	4.60 ± 0.15	6.50 ± 0.13	6.50 ± 0.06

Tableau 7-a : Teneurs en eau (en %) du sol du traitement To à trois dates caractéristiques (moyenne ± écart-type)

20/7/1983 : avant semis (sol nu) • 13/9/1983 : sous culture, au maximum de stock d'eau • 22/10/1983 une semaine avant récolte
n = nombre de blocs

HORIZON (m)	20/7/1983		13/9/1983		22/10/1983	
	n = 5	n = 3	n = 5	n = 3	n = 5	n = 3
0 - 0.1	0.50 ± 0.23	0.40 ± 0.15	7.80 ± 0.53	7.60 ± 0.50	0.30 ± 0.04	0.30 ± 0.05
0.1 - 0.2	0.80 ± 0.19	0.70 ± 0.15	8.90 ± 0.27	8.90 ± 0.35	0.50 ± 0.05	0.60 ± 0.06
0.2 - 0.3	1.30 ± 0.55	1.00 ± 0.26	4.50 ± 0.63	4.20 ± 0.70	0.60 ± 0.21	0.50 ± 0.12
0.3 - 0.4	1.80 ± 0.60	1.50 ± 0.21	4.30 ± 0.52	4.20 ± 0.87	1.20 ± 0.15	1.10 ± 0.06
0.4 - 0.5	2.00 ± 0.59	1.80 ± 0.35	4.10 ± 0.63	3.80 ± 0.72	1.40 ± 0.08	1.30 ± 0.06
0.5 - 1.0	2.70 ± 0.53	2.50 ± 0.60	5.30 ± 0.41	5.10 ± 0.44	2.50 ± 0.70	2.20 ± 0.55
1.0 - 1.5	3.50 ± 0.13	3.50 ± 0.15	5.30 ± 1.00	5.40 ± 1.10	3.90 ± 0.77	3.50 ± 0.55
1.5 - 2.0	3.80 ± 0.27	3.90 ± 0.26	3.80 ± 0.36	3.90 ± 0.49	3.90 ± 0.76	4.00 ± 1.00
2.0 - 2.5	3.90 ± 0.42	4.00 ± 0.32	3.90 ± 0.42	4.00 ± 0.32	3.90 ± 0.47	3.90 ± 0.64
2.5 - 3.0	4.30 ± 0.45	4.50 ± 0.31	4.30 ± 0.45	4.50 ± 0.31	4.20 ± 0.48	4.40 ± 0.45
3.0 - 3.5	4.70 ± 0.34	4.80 ± 0.36	4.70 ± 0.33	4.80 ± 0.36	4.60 ± 0.38	4.70 ± 0.47

Tableau 7-b : Teneurs en eau (en %) du sol du traitement T1 à trois dates caractéristiques (moyenne ± écart-type).

20/7/1983 : avant semis (sol nu) • 13/9/1983 : une semaine avant récolte n : nombre de blocs.

L'écart-type spatial de la teneur en eau du sol (tableaux 7) est en général égal ou inférieur à $0.005 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, valeur qui est du même ordre de grandeur que l'incertitude sur la teneur en eau du sol mesurée avec un humidimètre à neutrons (VAUCLIN et al 1983). La variabilité spatiale de la teneur en eau du sol est donc extrêmement faible.

Les stocks hydriques des cinq blocs instrumentés (tableau 8) ont des valeurs moyennes présentant une faible dispersion à l'exception de celle, sur T0 correspondant au maximum du stock d'eau du sol.

La très faible variabilité spatiale des paramètres ci-dessus étudiés ne permettant pas d'opérer un choix de sites de mesures représentant les valeurs extrêmes et moyennes, on a choisi à priori les blocs II, IV et VI pour les équiper par la suite de dispositifs de mesures.

III.2 - VALIDATION DU CHOIX DES TROIS SITES DE MESURES.

Les valeurs moyennes du taux d'argile et limon, de la teneur en eau du sol et du stock hydrique total du sol aux dates caractéristiques choisies, obtenues sur les trois blocs (II, IV et VI) sont respectivement présentées aux tableaux 6, 7 et 8. La comparaison des valeurs moyennes obtenues à partir des mesures sur les cinq blocs par rapport à celles tirées des trois blocs choisis montre que l'information que l'on obtiendrait avec ces trois blocs seuls est équivalente à celle que donneraient les cinq répétitions sur lesquelles on a travaillé en 1983.

Afin de voir si au niveau des rendements de l'arachide en 1983, les trois blocs choisis permettent d'avoir une information de précision acceptable on a comparé (tableau 9) les rendements moyens en matière sèche totale fournis respectivement par les cinq blocs et les blocs II, IV et VI.

Malgré une variabilité de la production de matière sèche plus grande que celle du taux d'argile + limon ou de la teneur en eau du sol, les rendements moyens calculés à partir des blocs II, IV et VI représentent respectivement pour les deux traitements T0 et T1, 98 et 96% de ceux obtenus à partir des cinq blocs. L'analyse des rendements apporte ainsi une validation supplémentaire au choix des blocs représentatifs de la série 1.

BLOCS	To		T1	
	20/7/1983	13/9/1983	20/7/1983	13/9/1983
II	132.1	227.1	121.3	179.2
III	117.9	217.8	116.2	169.3
IV	145.2	223.8	120.9	173.4
V	127.9	173.1	140.6	183.7
VI	143.6	234.8	132.5	169.9
Moyenne (5 blocs)	133.30 ± 11.4	215.3 ± 24.4	126.2 ± 10.0	175.1 ± 6.2
Moyenne (3 blocs)	140.3 ± 7.2	228.6 ± 5.6	125.1 ± 6.5	174.2 ± 4.7

Tableau 8 : Stocks hydriques (mm) de la couche 0-3.7 m du sol
à deux dates caractéristiques 20/7/1983 : mil nu -
13/9/1983 date correspondant au maximum du stock
hydrique total du sol.

BLOCS	Matière sèche totale (kg/ha)	
	To	T1
II	780	1666
III	717	2006
IV	426	1685
V	425	1843
VI	443	1862
Moyenne (5 blocs)	560 ± 178	1812 ± 140
Moyenne (3 blocs)	550 ± 199	1738 ± 108

Tableau 9 : Rendements en matière sèche totale 'gousses et fanes!
de l'arachide - 1983

BLOCS	Matière sèche totale (Kg/ha)	
	To	T1
I	1141	3231
II	1192	4038
III	1795	4461
IV	1321	4346
V	1282	5256
VI	1565	5410
Moyenne (6 blocs)	1383 ± 250	4457 ± 805
Moyenne (3 blocs)	1342 ± 213	4329 ± 1090

Tableau 10 : Rendements en matière sèche totale (grains et pailles)
du mil - 1983

111.3 - CHOIX DES SITES DE MESURES DE LA SERIE II.

La série II du dispositif expérimental n'ayant pas été suivie en 1983 on ne disposait pas par conséquent à cette date de données sur la texture du sol ni de mesures hydriques. En se basant sur le fait que la conduite des cultures a toujours été menée de la même façon sur les deux séries du dispositif expérimental, on a émis l'hypothèse qu'il était possible d'opérer un choix de blocs représentatifs de cette série. Ce choix n'a été fait que sur la base des rendements en matière totale du mil que portait cette série et qui sont présentés au tableau 10.

Dans ce tableau figurent également les rendements moyens que donnent les trois blocs identifiés comme étant représentatifs de la série II.

La comparaison des rendements moyens des deux traitements obtenus en considérant soit les six blocs du dispositif expérimental soit les blocs 1, IV et VI montre une très bonne représentativité de ces trois blocs. En effet ces trois blocs donnent pour les deux traitements T0 et T1 des rendements moyens égaux à 97% de ceux fournis par les six blocs. Ils ont été donc choisis pour être équipés, à partir de 1984, de tubes d'accès pour humidimètre à neutrons, de tensiomètres et de cellules de prélèvement de solution du sol.

III.4 - DISCUSSION.

La très grande homogénéité du sol du dispositif expérimental résulte d'une part, du matériau originel à partir duquel s'est formé le sol et d'autre part, de la durée de l'expérimentation et surtout de la constance avec laquelle celle-ci a été conduite depuis sa mise en place. En effet, depuis 1972 les mêmes doses de fumier et d'engrais minéraux ont été appliquées, les mêmes variétés ont été cultivées, la même technique de travail du sol a été réalisée et enfin les récoltes ont toujours été totalement exportées (pas d'enfouissement des pailles ni de brulis dans les parcelles des résidus de récolte). Cette permanence dans la conduite de l'expérimentation a résorbé

l'**hétérogénéité** du sol qui devrait être probablement assez manquée à la mise en place du **dispositif** expérimental eu égard au fait que le site était un champ appartenant à un paysan et que la manière dont les paysans conduisent leurs **activités** agricoles aboutit à une grande **hétérogénéité** du sol (N'DIAYE, 1978 ; CISSE, 1980).

La réduction par rapport à l'année 1983 du nombre de blocs à instrumenter dans la série 1 rendait ainsi possible à partir de 1984 un équipement, des blocs de la série II en dispositifs de mesure et partant de travailler au cours de la même saison des pluies sur les cultures du mil et de l'arachide. Par ailleurs cette réduction, sur les deux séries du dispositif expérimental, du nombre de sites de mesures a **permis** de disposer de blocs où les mesures de masses racinaires qui sont très destructives ont été faites ainsi que la caractérisation¹ des propriétés de transfert et de rétention hydrique du sol soumis aux deux traitements T₀ et T₁.

CHAPITRE IV

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES CARACTERISTIQUES DE TRANSFERT ET DE RETENTION HYDRIQUE DU SOL

La très grande différence observée entre les cinétiques d'humectation du sol (fig. 2) a amené à envisager d'abord l'hypothèse d'une modification par la matière organique apportée des propriétés de transfert et de rétention hydrique du sol. Cette hypothèse se trouvait renforcée par l'observation d'un drainage nul **au-delà** du système racinaire de l'arachide sur le traitement matière organique alors que sur celui sans matière organique environ 40% de la pluviométrie utile (semis-récolte) étaient perdus par percolation au-delà de la zone racinaire.

L'objectif principal de la caractérisation de ces propriétés du sol sous les deux traitements TO et T1 était donc de confirmer ou d'infirmier cette hypothèse. Dans la mesure où les relations entre conductivité hydrique et teneur en eau du sol pouvaient être établies, on a envisagé un second objectif : celui d'évaluer les possibilités de calculer les flux hydriques par application de la loi de Darcy, lors du calcul des bilans hydriques sous culture.

IV.1 - METHODE DE CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE.

La méthode utilisée est celle décrite par Vachaud et al (1978). La caractérisation a été faite sur les traitements TO et T1 du bloc II de la série II du dispositif expérimental.

Au centre de chaque traitement a été installé un tube d'accès pour humidimètre à neutrons permettant des mesures hydriques jusqu'à 3,70 m, entouré de tensiomètres à mercure implantés aux profondeurs 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3 et 1.5 m.

Après la mesure du profil initial, une infiltration, sous charge constante de 0.04 m, de 150 mm d'eau est effectuée en utilisant un infiltromètre à double anneau de diamètres 0.5 et 1.0 m . Le volume d'eau infiltré est **contrôlé** par un dispositif de Mariotte.

A la fin de l'infiltration pour éviter toute évaporation du sol, la surface de celui-ci est couverte par un film plastique sur lequel on ajoute de la paille. La redistribution, par drainage interne, est suivie par les mesures des profils **hydriques** et tensiométriques pendant deux semaines selon le calendrier reporté au tableau 11 (l'instant $t = 0$ correspond à la disparition de la lame d'eau dans l'anneau central).

Afin d'obtenir avec une bonne **précision** la teneur en eau des couches de surface du sol, on a lors de chaque mesure effectué des prélèvements à la tarière dans les horizons 0 - 0.1 et 0.1 - 0.2 m pour déterminer par méthode gravimétrique la teneur en eau de ces horizons avec une estimation de la masse volumique du sol sec de (ρ) égale à 1.45 T/m^3 .

Les valeurs de la teneur en eau initiale du sol par couche de 0.5 m jusqu'à 2.5 m sont présentées au tableau 12.

IV.2 - ANALYSE DE L'INFILTRATION.

Cette analyse ne porte que sur le volume infiltré. On sait en **effet** qu'il est vain d'effectuer durant cette **phase** une étude des profils d'humidité compte tenu de l'imprécision de la mesure neutronique lors de la présence d'un front d'humectation dans la sphère **d'influence**.

L'évolution de la lame d'eau cumulée infiltrée dans l'anneau **intérieur** est donnée tableau 13. Les courbes correspondantes sont reportées fig. 4a.

Périodes	Pas des mesures effectuées							
0 - 2h	5mn	10mn	15mn	30mn	45mn	1h	1h30	2H
2 - 8h	3h	4h	5h	6h	7h	8h		
a - 24h		4h	19h	24h				
1j - 3j	2 mesures journalière : matin et soir							
3j - 15j	1 mesure journalière : matin							

tableau 11 calendrier des mesures hydriques et tensiométriques
j = jour

Tranche de sol (m)	T0	T1
0.0 - 0.5	0.015	0.009
0.5 - 1.0	0.033	0.023
1.0 - 1.5	0.043	0.025
1.5 - 2.0	0.047	0.030
2.0 - 2.5	0.040	0.037

Tableau 12 : teneurs en eau (cm^3/cm^3) initiales du sol sur les deux
traitements

T0				T1			
<u>t (mn)</u>	<u>I (mm)</u>	<u>$\sqrt{t}$</u>	<u>$I/\sqrt{t}$</u>	<u>t (mn)</u>	<u>I (mm)</u>	<u>$\sqrt{t}$</u>	<u>$I/\sqrt{t}$</u>
2.45	17.80	1.57	11.3	2.30	20.40	1.52	13.4
4.45	28.50	2.11	13.5	4.30	28.00	2.07	13.5
6.45	38.70	2.54	15.2	6.30	38.20	2.51	15.2
8.45	44.80	2.94	15.4	8.30	50.90	2.88	17.7
10.45	51.40	3.23	15.9	10.30	61.10	3.21	19.0
15.00	65.20	3.87	16.9	12.00	63.70	3.46	18.4
19.00	76.40	4.35	16.6	16.00	79.00	4.00	19.7
23.00	91.70	4.79	19.1	20.00	91.70	4.47	20.5
27.00	101.90	5.19	19.6	24.00	100.3	4.90	20.5
29.00	109.50	5.38	20.4	27.00	109.5	5.19	21.1
39.00	149.80	6.25	24.0	41.00	149.8	6.40	23.4

Tableau 13 : Evolution de la lame d'eau infiltrée.

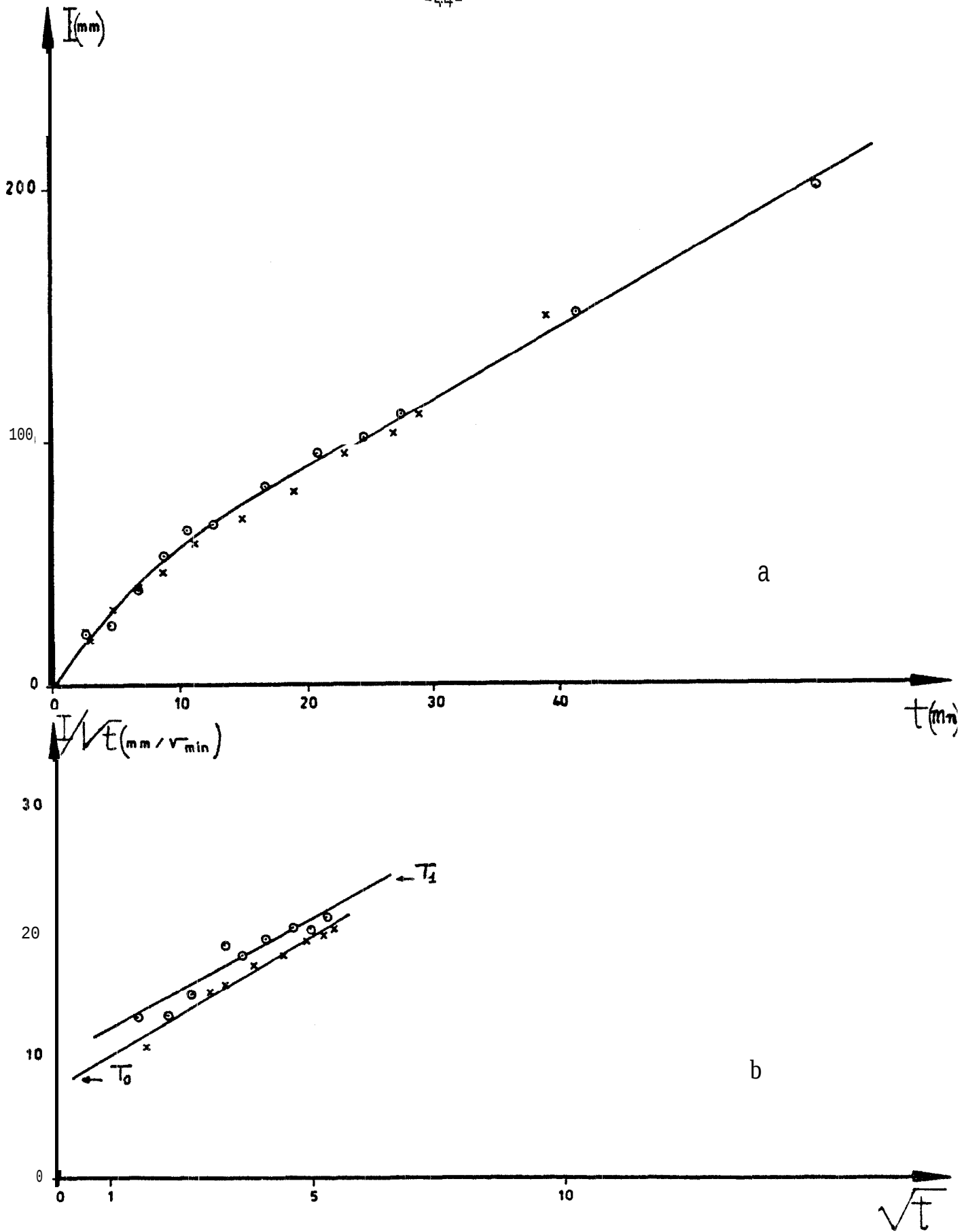


Figure 4 : Evolution de la lame d'eau cumulée infiltrée (a)
 x : T_0 - o : T_1
 (b) : corrélation entre $I/\sqrt{t}$ et $\sqrt{t}$
 x : T_0 - o : T_1

Les conditions d'expérimentation (charge constante et faible à la surface, profil hydrique initial constant) correspondent à celles fixées pour obtenir la solution de PHILIP (1969) :

$$I = S t^{1/2} + A t \quad (1)$$

Les deux paramètres intervenant dans cette équation, à savoir la sorptivité S caractérisant l'absorption d'eau par capillarité et le paramètre de gravité A , ont donc été déterminés par la recherche classique de corrélation linéaire entre $I/\sqrt{t}$ et $\sqrt{t}$ résultant de l'écriture de l'équation (1) sous la forme :

$$I/\sqrt{t} = S + A\sqrt{t} \quad (2)$$

L'on obtient pour chacun des deux traitements les valeurs suivantes

	r^2	$s \text{ (mm}/\sqrt{\text{min}})$	$A \text{ (mm/min)}$
TO	0,95	8,21	2,26
T1	0,89	9,19	2,47

Les droites de corrélation sont représentées à la fig. 4-b

Il est clair qu'aucune différence significative ne peut être trouvée entre les valeurs de sorptivité et du paramètre A obtenues sur TO et T1.

Faute de méthode plus précise, on ne peut qu'obtenir une estimation de la conductivité hydraulique à saturation K_s en utilisant la règle généralement admise (YOUNGS, 1968)

$$2/3 K_s \leq A \leq K_s \quad (3)$$

ce qui conduit à une fourchette de valeur K_s de 140 à 210 mm/h pour une teneur en eau à saturation de $0,255 \pm 0,015 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Une tentative ayant pour but d'obtenir une meilleure approximation de K_s à partir d'un régime permanent de plus longue durée (6h d'infiltration) n'a pas conduit à des valeurs interprétables du fait d'une prédominance des transferts latéraux.

IV.3 • ANALYSE DU DRAINAGE GRAVITAIRE-RELATION $K(\theta)$

On trouvera à la figure 5 l'évolution des profils d'humidité mesurés, sur chacun des deux traitements durant la phase de redistribution. Toutes les mesures n'ont pas été reportées. On dispose en fait pour chaque traitement de plus de 30 profils.

On notera dans les deux cas la très grande uniformité des profils hydriques mesurés ; l'évolution des mesures est analogue. La seule différence notable est relative à une cinétique plus rapide du front d'humectation sur T0, mais ceci s'explique simplement par la plus forte humidité initiale (tableau 12).

On ne reviendra pas dans le détail sur la méthode de calcul de la relation $K(\theta)$ qui a fait l'objet d'exposés détaillés (VACHAUD, DANCETTE., et al. 1978 ; VACHAUD et al 1981). On signalera simplement que le calcul de l'évolution dans le temps du flux hydrique à une côte Z a été fait suivant une méthode semianalytique présentée dans l'article de 1981 cité ci-dessus. Cette méthode repose sur l'identification de la variation du stock hydrique entre la surface du sol de la côte considérée par une relation de type :

$$S(t) = a + b \ln t \quad (4)$$

ce qui donne immédiatement pour les conditions expérimentales :

$$Q(z,t) = \frac{dS}{dt} = - \frac{b}{t} \quad (5)$$

On sait que la conductivité hydrique, K, correspondant à la teneur en eau θ mesurée à la cote Z au temps t est donnée par la relation :

$$K = Q/dH/dz \quad (6)$$

dont le dénominateur est la pente du profil de charge hydraulique à Z et t.

Aux figures 6 et 7 sont représentés respectivement les profils de charge hydraulique (cas de T1) et tous les points de mesures obtenus pour K et θ aux côtes, 0.5, 1.0, 1.5 et 2.0 m. L'homogénéité du sol est telle qu'il

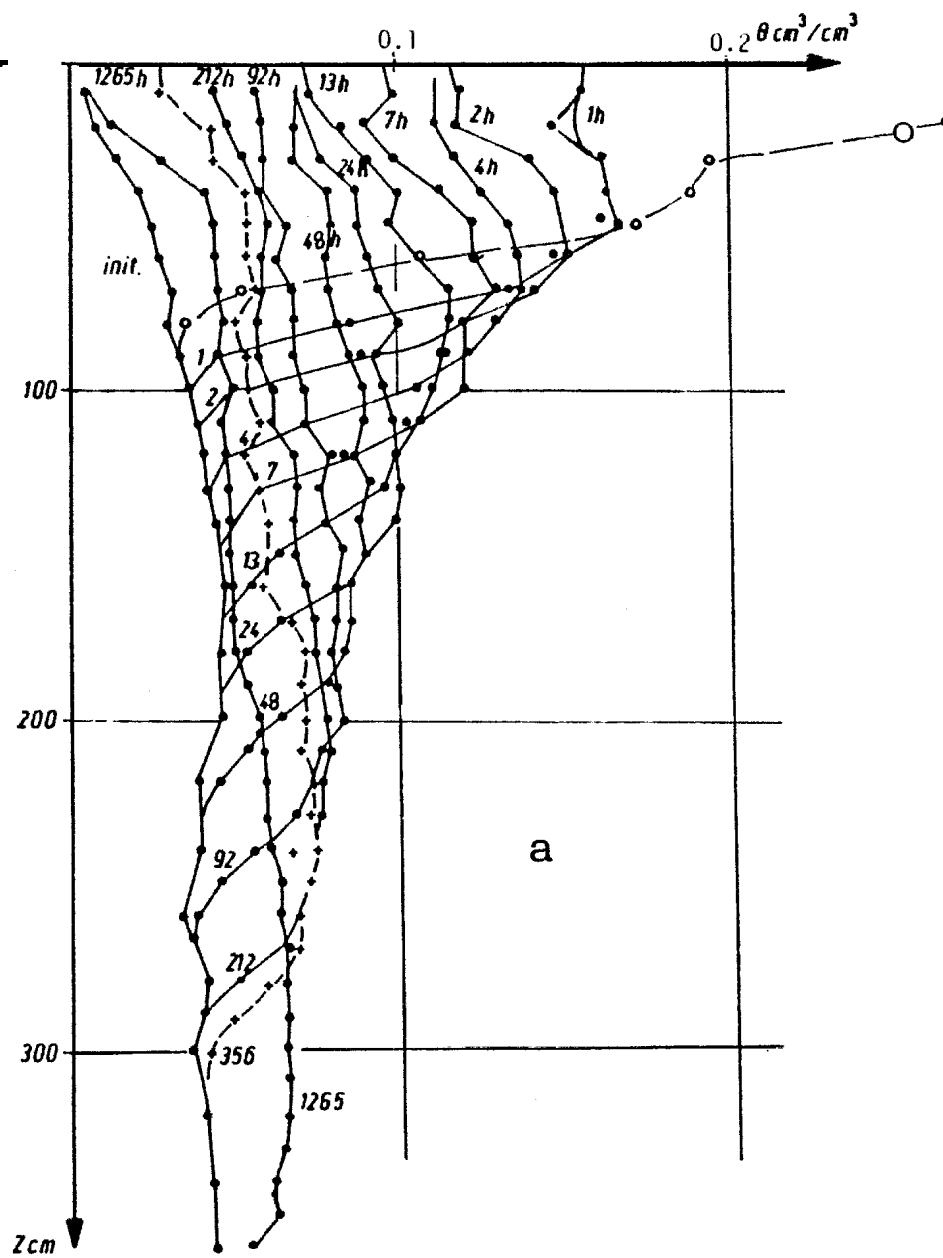
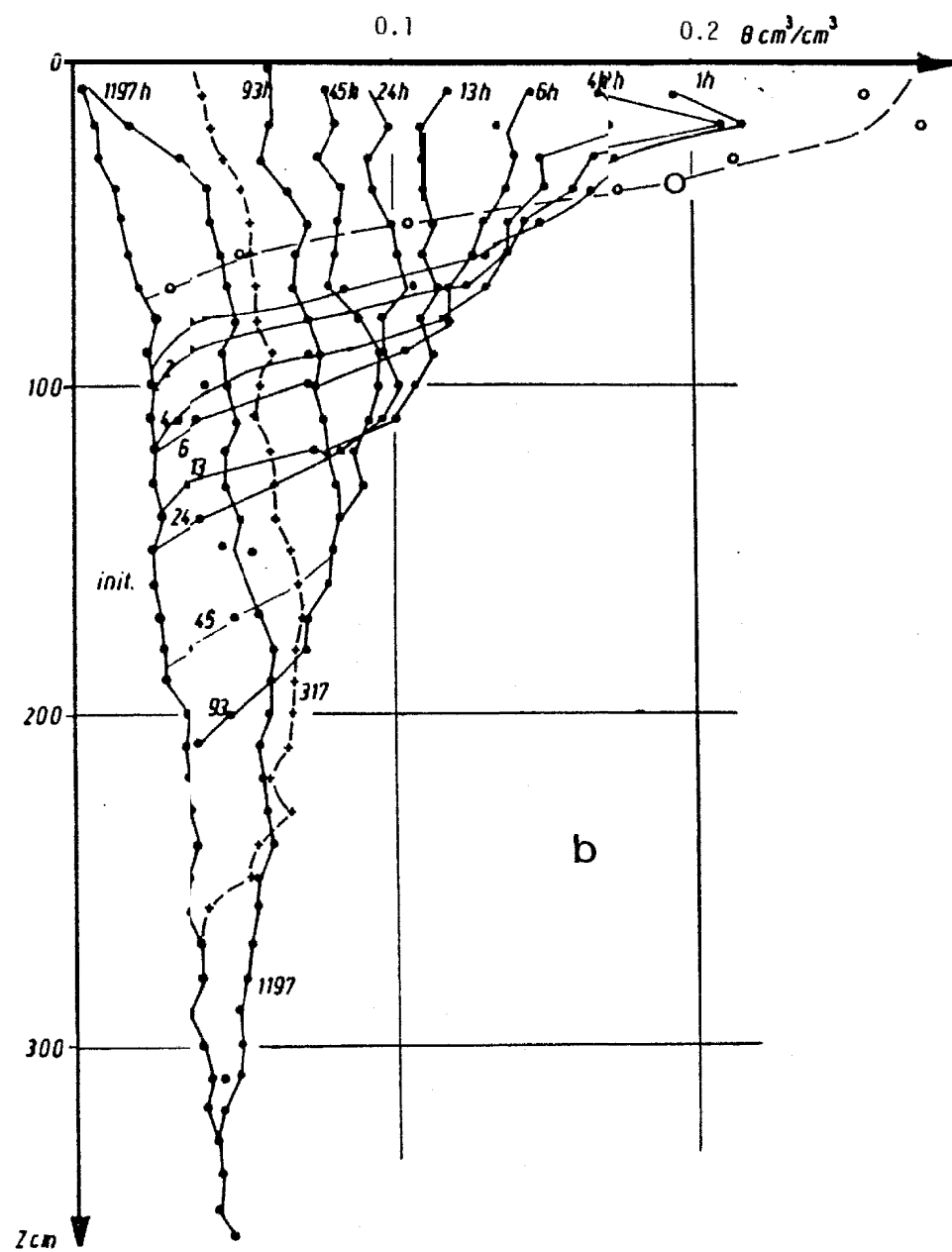


Figure 5 : Evolution des profils d'humidité To : (a) - T1 : (b)

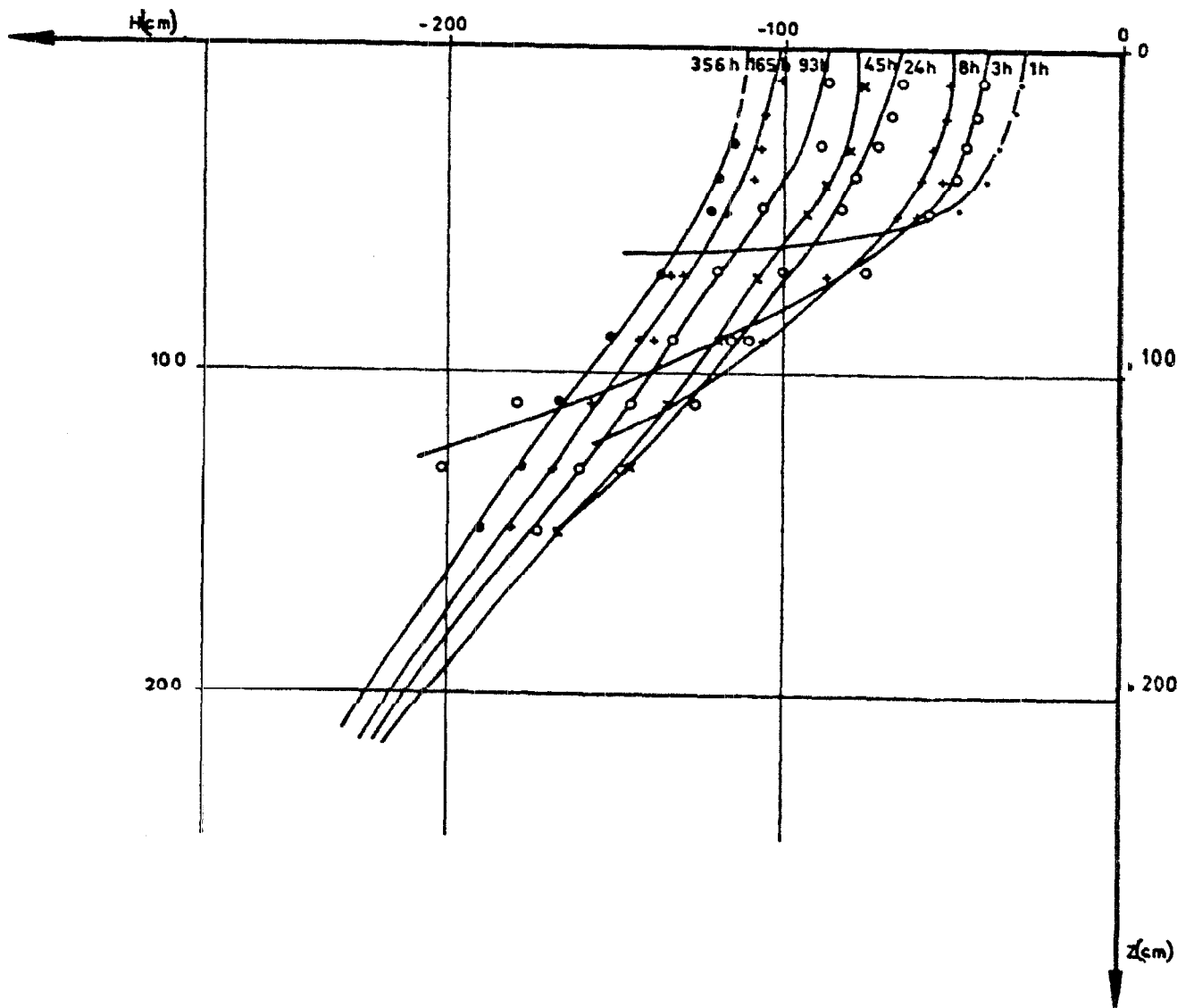


Figure 6 : Profils de charge hydraulique mesurés sur T1

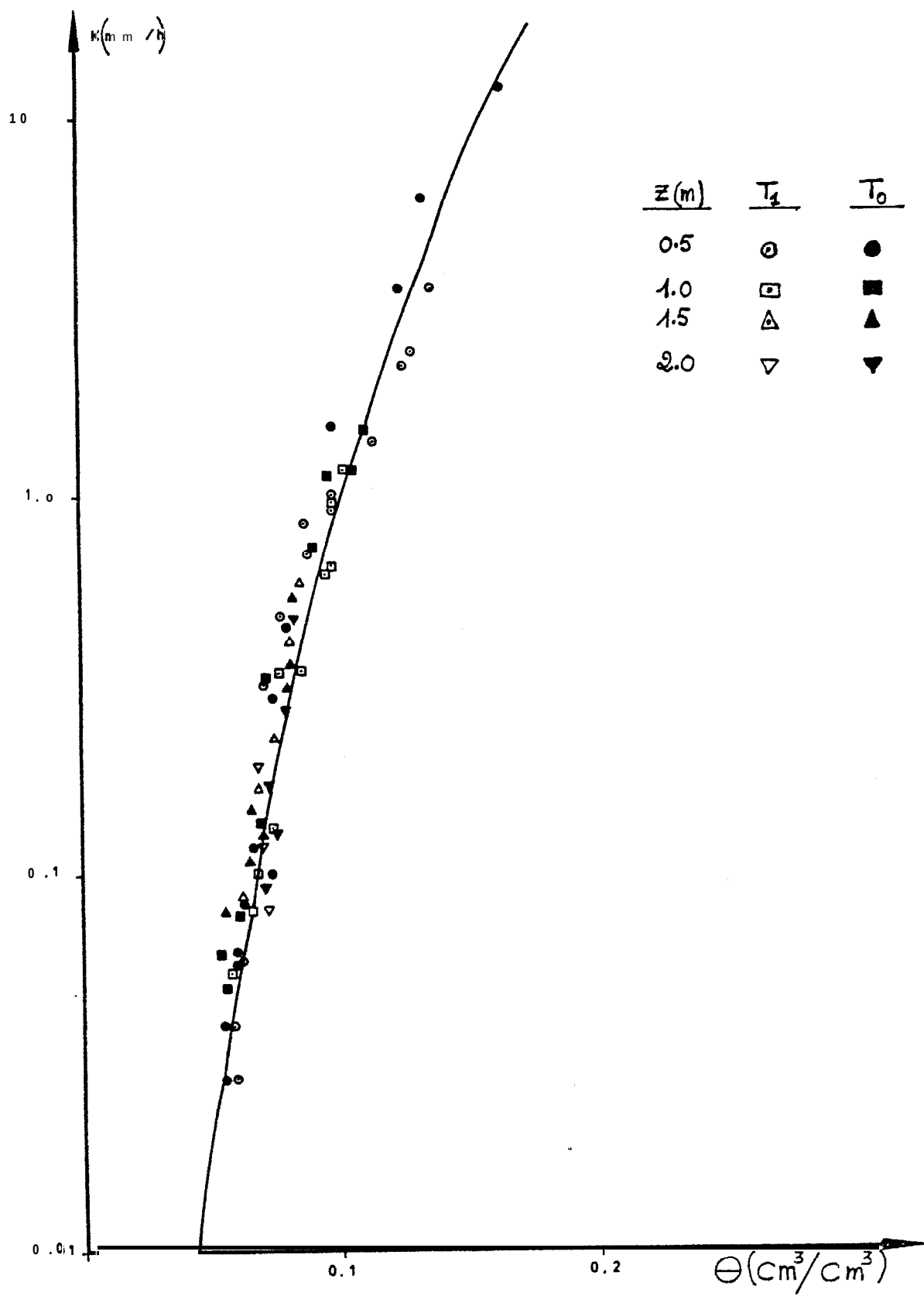


Figure 7 : Courbe conductivité hydrique - teneur en eau du sol

n'est pas possible de séparer les horizons. On peut observer à la figure 7 qu'il n'y a aucune différence significative entre les traitements en ce qui concerne la relation conductivité hydrique - teneur en eau du sol.

Si le gradient de charge hydraulique à une côte était constant dans le temps, il devrait découler de l'expression (5) une relation $K(\theta)$ de type exponentiel. Les profils de charge hydraulique montrent clairement que pendant la phase de drainage, dH/dz varie entre -1 et -0.7 à la côte 0.5 m. De ce fait, la meilleure estimation fonctionnelle pour la relation $K(\theta)$ (Figure 7) est une loi en puissance de type :

$$K(\theta) = a \theta^b \quad (7)$$

L'ajustement de la courbe donne (K étant exprimé en mm/h) :

$$a = 2.10^5$$

$$b = 5.352$$

avec un coefficient de corrélation égal à 0.989

L'évaluation des possibilités d'utilisation de l'équation (7) pour estimer les flux en tout site de mesure sera effectuée par la suite.

IV.4 - COURBES CARACTERISTIQUES $h(\theta)$.

La matière organique apportée ayant eu des effets surtout marquants dans les horizons 0-0.1 et 0.1-0.2 m du sol on s'est d'abord intéressé à ces deux horizons. On a alors essayé de corréler la valeur de la pression instesticielle h , déduite de la charge hydraulique H par l'expression

$$h = H - z$$

à la teneur en eau θ déterminée au même instant.

Pour rappel, la teneur en eau dans les deux premiers horizons du sol est déterminée gravimétriquement ; cela pour avoir une meilleure précision, car l'humidimètre à neutrons est peu précis pour la mesure de la teneur en eau dans la couche 0-0.2 m.

On a reporté à la figure 8-a tous les couples de points (h, θ) obtenus pour les deux horizons 0-0.1 m et 0.1-0.2 m.

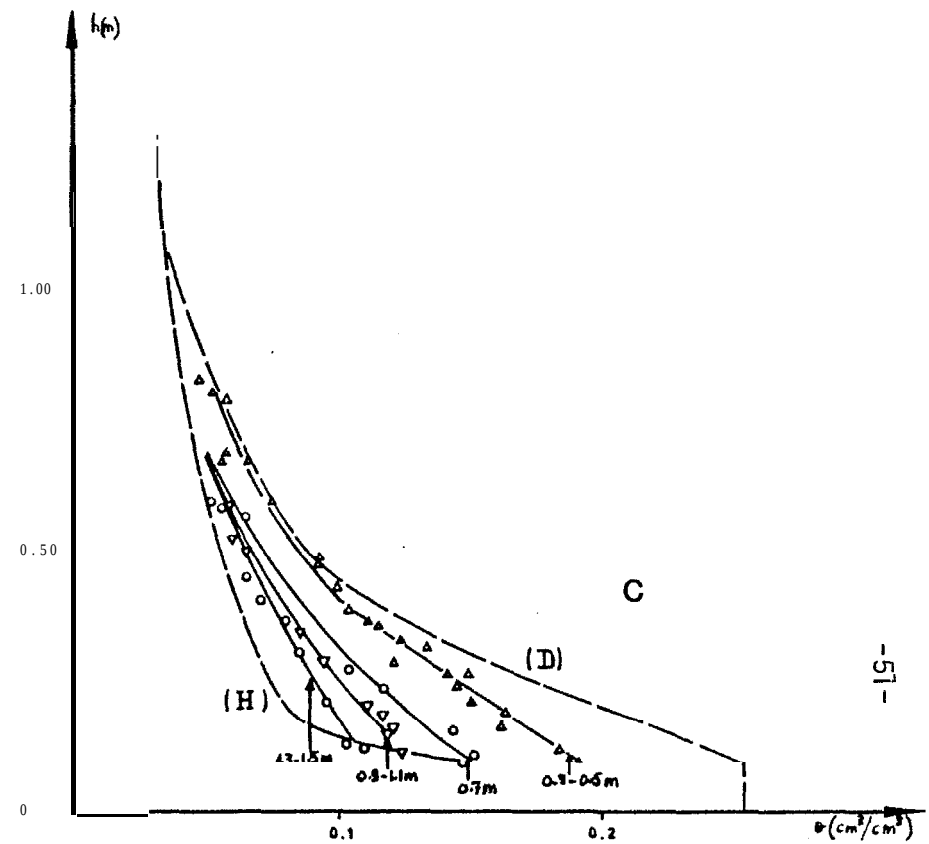
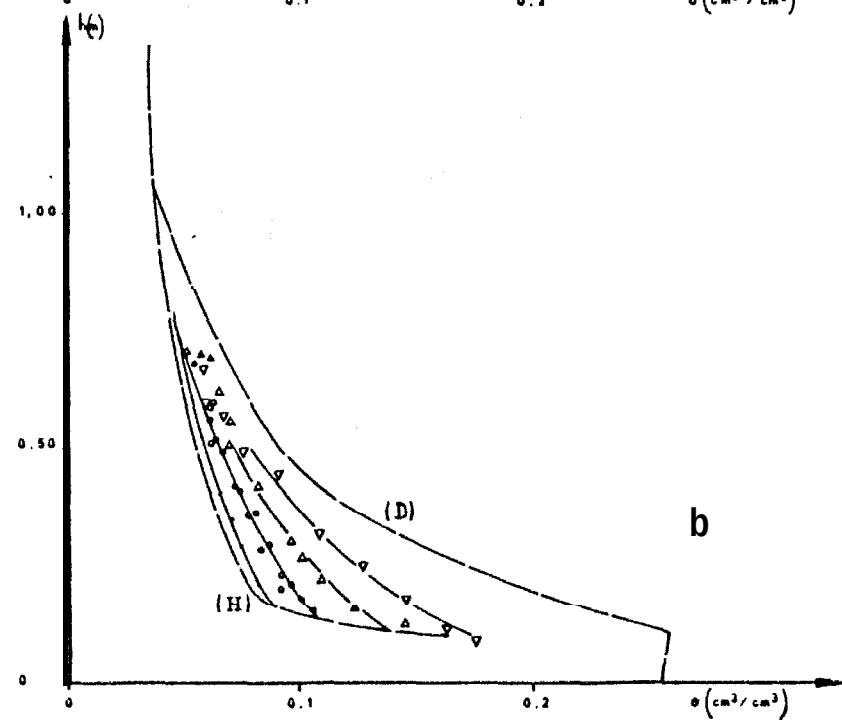
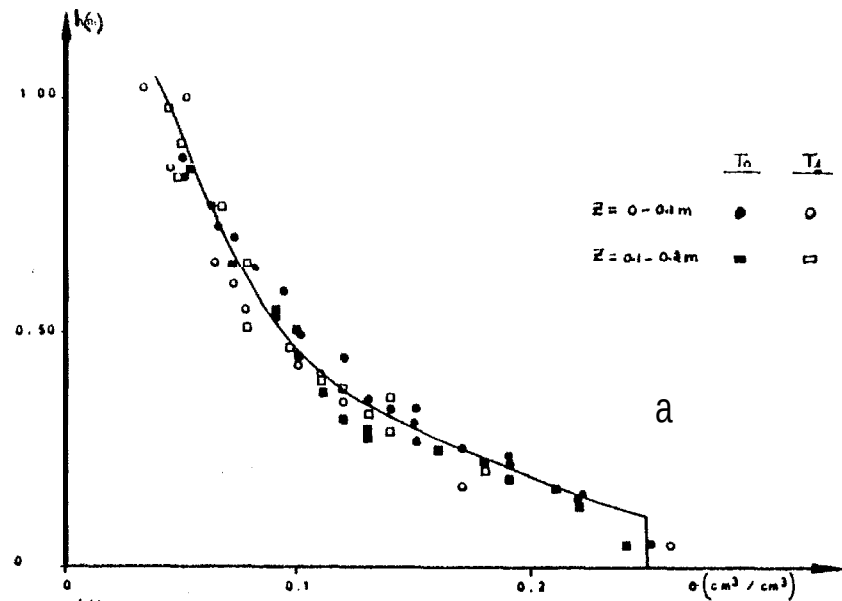


Figure b : Courbes caractéristiques $h(\theta)$

(a) : $h(\theta)$ en surface
 (b) : réseau de courbes (T1)
 (c) : réseau de courbes (T0)
 (D) courbe de drainage - (H) : courbe d'humectation.

Traitements	0.30m	0.50m	0.70m	0.90m	1.10m	1.30m	1.50m
	θ (cm ³ /cm ³)						
T0 :	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09
T1 :	0.21	0.15	0.13	0.11	0.11	0.09	0.08

Tableau 14 : valeurs de θ max obtenues à la fin de l'infiltration aux profondeurs de 0.3 à 1.50 m.

La distribution de ces points ne fait apparaître aucune différence **significative** entre les traitements. Il n'y a donc pas de rétention d'eau supplémentaire induite par l'application de matière organique.

La courbe obtenue en lissant toutes les valeurs, caractérisée par la suite **par** le symbole (D), correspond à la courbe de drainage partant de l'état de saturation ($\theta_s = 0.26 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$).

L'analyse des résultats est plus complexe aux autres profondeurs, car d'après les profils hydriques données à la figure 5 les différentes sections de mesure sont soumises dans une première phase à un processus d'infiltration, puis à un ressuyage (VACHAUD, THONY, 1970) ; de plus la valeur de la teneur en eau maximum atteinte à la fin de l'infiltration (tableau 14) décroît lorsque z augmente, et n'est pas la même (à un niveau donné) **pour les** deux traitements (cette dernière observation étant simplement liée à la **différence** d'humidité de départ).

Il faut dès lors prendre en compte le phénomène d'hystéresis et **considérer**, à chaque niveau, une courbe de **drainage** secondaire dont la forme dépend de la valeur de θ_{max} . On trouvera aux figures 8-b et 8-c le **réseau** de courbes obtenues pour **chacun** des deux traitements. Dans un but de clarté les sections pour lesquelles les valeurs de θ_{max} sont voisines ont été regroupées. Il est clair que pour ce sol les phénomènes d'hystéresis sont **très** importants. De plus les courbes **issues** de la même valeur de θ_{max} (par exemple $z=0.5\text{m}$ (fig. 8-b) et $z=0.7\text{m}$ (fig. 8-c) ou $z=0.9\text{m}-1.1\text{m}$ (fig. 8-b) et $z=1.3-1.5\text{m}$ (fig. 8-c) se superposent parfaitement.

Afin de mieux préciser la nature et l'importance de cet hystéresis en condition naturelle, on a considéré toutes les autres mesures de teneur en eau et de pression en phase d'humectation du sol (en évitant toujours de **prendre** en compte le passage du front). L'ensemble des valeurs $h(\theta)$ obtenues en toutes profondeurs et tous sites confondus est reporté à la figure 9-a. La courbe obtenu correspond à la courbe d'humectation du sol partant de l'état sec. C'est l'autre enveloppe du cycle d'hystéresis reportée sur les figures 8-b et 8-c avec le symbole (H).

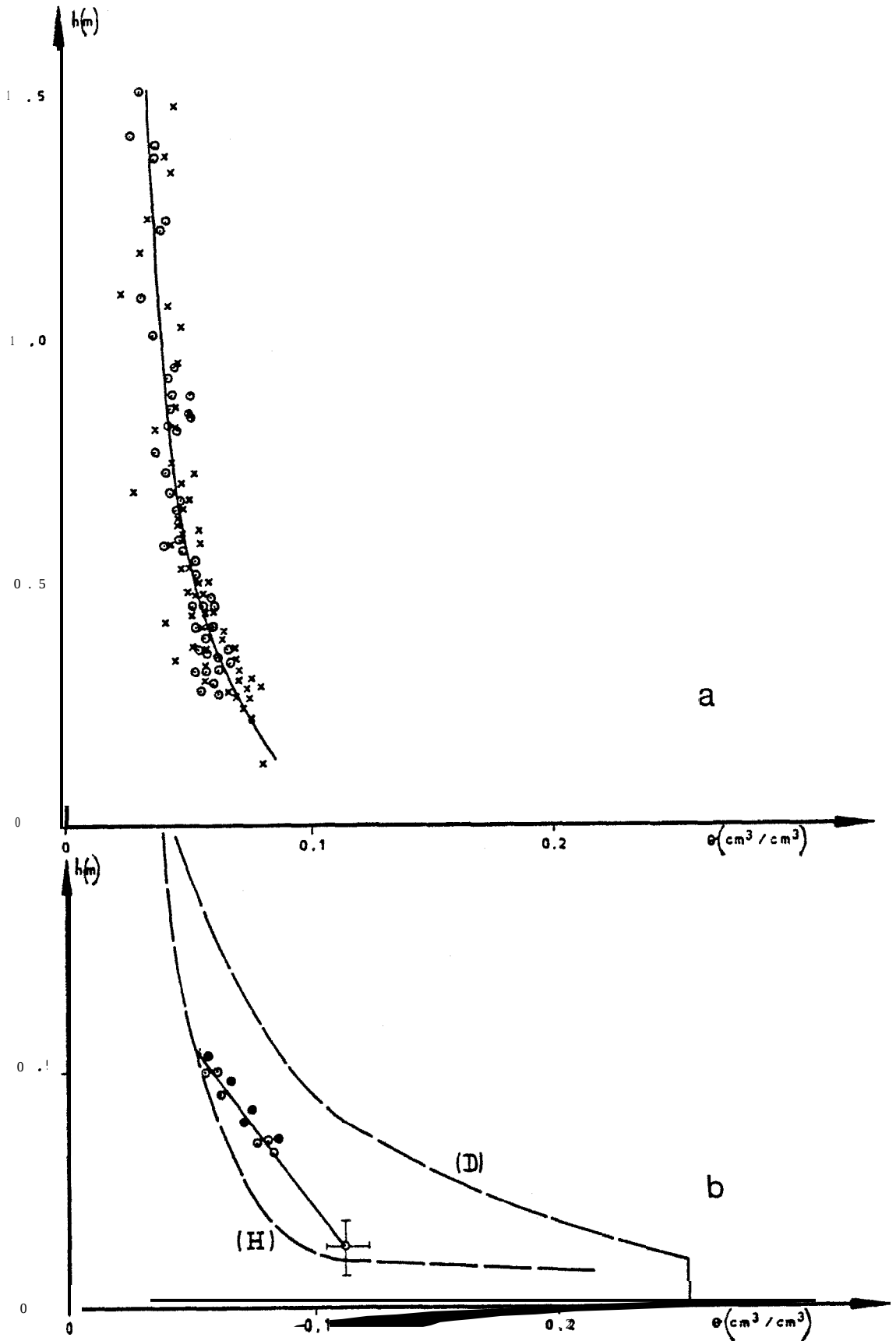


Figure 9 : Courbe $h(\theta)$ obtenue toutes profondeurs et tous sites confondus avec les mesures effectuées sous culture d'arachide (x) et de mil (o) en 1984 et 1985 (a)
 Courbe $h(\theta)$ obtenue en 1985 en début de saison des pluies sous culture de mil dans l'horizon 0-0.1 m sur les traitements T0 (•) et T1 (⊙) (b)

Enfin on dispose des mesures fines effectuées en 1985 en début de saison des pluies. Cette **période** est caractérisée par une pluie de semis de 17 mm (18-19/07) suivie d'un épisode de 20 mm entre le 23 et le 24. A partir de cette date le sol sèche uniformément. On trouvera à la figure 9-b la courbe correspondante, dans le domaine (h-0) obtenue en moyennant pour chaque traitement les 3 mesures effectuées à la même heure dans la couche 0-0.1 m.

L'ensemble de ces mesures amène aux conclusions suivantes :

1- Il n'y a pas de différence, en ce qui concerne la rétention de l'eau, entre les deux traitements.

2- Compte tenu de l'importance du cycle d'hystérésis, il n'est pas possible d'envisager d'obtenir une estimation de l'une des deux grandeurs (h ou θ) à partir de la mesure de l'autre et de l'utilisation d'une relation $h(\theta)$. Chacune des deux variables doit être mesurée séparément.

3- La courbe de rétention que l'on obtiendrait en laboratoire selon la procédure classique (en partant d'un échantillon saturé) conduirait à une information inadaptée pour représenter la relation $h(\theta)$ en condition naturelle (figures 3)

1.1.5 - VALIDATION ET UTILISATION DE LA RELATION $K(\theta)$.

La question essentielle résultant des essais de caractérisation hydrodynamique concerne l'**aptitude** d'utiliser la relation $K(\theta)$ pour déterminer les flux sur d'autres sites. Une attitude critique est généralement adoptée du fait :

- d'une part de la très forte sensibilité sur l'estimation de K à toute erreur de mesure sur θ .

- d'autre part de l'incertitude liée à l'**extrapolation** de cette fonctionnelle, compte tenu de la forte variabilité généralement rencontrée à l'échelle d'une parcelle agronomique.

Les conditions d'expérimentation rencontrées à THILMAKHA sont, en ce sens, idéales puisque la texture du sol ne varie pratiquement pas, et que l'**écart-type** (dû à la variabilité spatiale) de la mesure de la teneur en eau sur un traitement et à une **côte** donnée est en général inférieur à $0.005 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Pour valider la représentativité de la courbe donnée à la figure 7, et par là même tester son utilisation, on a procédé durant les années 1984 et 1985 à une étude systématique des transferts se produisant sous les cultures d'arachide et de mil respectivement aux cotes 1.50 et 1.80 m, niveaux choisis comme limites des zones racinaires. Les lames d'eau percolées à travers l'un de ces niveaux, ont été déterminées à une fréquence hebdomadaire sur les 12 sites de mesure réparties sur l'expérimentation par deux méthodes qui seront explicitées au chapitre suivant :

- soit par le calcul de la variation de stock depuis la profondeur considérée jusqu'à la cote 3.7 m, tant qu'il n'y avait pas de percolation au-delà de 3.7 m.
- soit par la détermination du flux de Darcy, par emploi de la formule (7) et mesure locale du gradient de charge au niveau considéré, après passage du front d'humectation.

On trouvera à la figure 10 la corrélation entre les valeurs obtenues indépendamment par les deux méthodes. La droite de pente 1 est entourée d'une bande de 4mm, qui correspond globalement à l'incertitude admise pour le calcul d'une variation de stock obtenue par humidimétrie neutronique (VAUCLIN et al, 1983). Pour des lames d'eau drainées inférieures à 20mm, soit des flux inférieurs à 3mm/jour les deux méthodes donnent des valeurs comprises dans la bande d'incertitude. Au delà, l'écart peut être plus important.

Ce résultat est à rapprocher à une estimation de la précision relative du calcul des flux par la méthode de Darcy. Une relation fonctionnelle de type $K = a \theta^b$ induit en effet, si l'on suppose a et b connus exactement, une précision relative

En se fixant une précision (excellente) de $\pm 0.005 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ au niveau de la reproductibilité de la mesure neutronique, cela conduit avec $b = 5.352$ à une incertitude sur K variant de 26 à 53% lorsque θ varie de 0.1 à $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Avec l'hypothèse supplémentaire d'un écoulement gravitaire ($\text{grad } H = -1$) cela correspond pour le calcul des flux instantanés pour les mêmes valeurs de teneur en eau à respectivement $21 \pm 5 \text{ mm/j}$ ($\theta = 0.1$) et $0.5 \pm 0.25 \text{ mm/j}$. En terme de lame d'eau écoulée en 1 semaine, on obtient respectivement des incertitudes de ± 35 ou $\pm 1.75 \text{ mm}$.

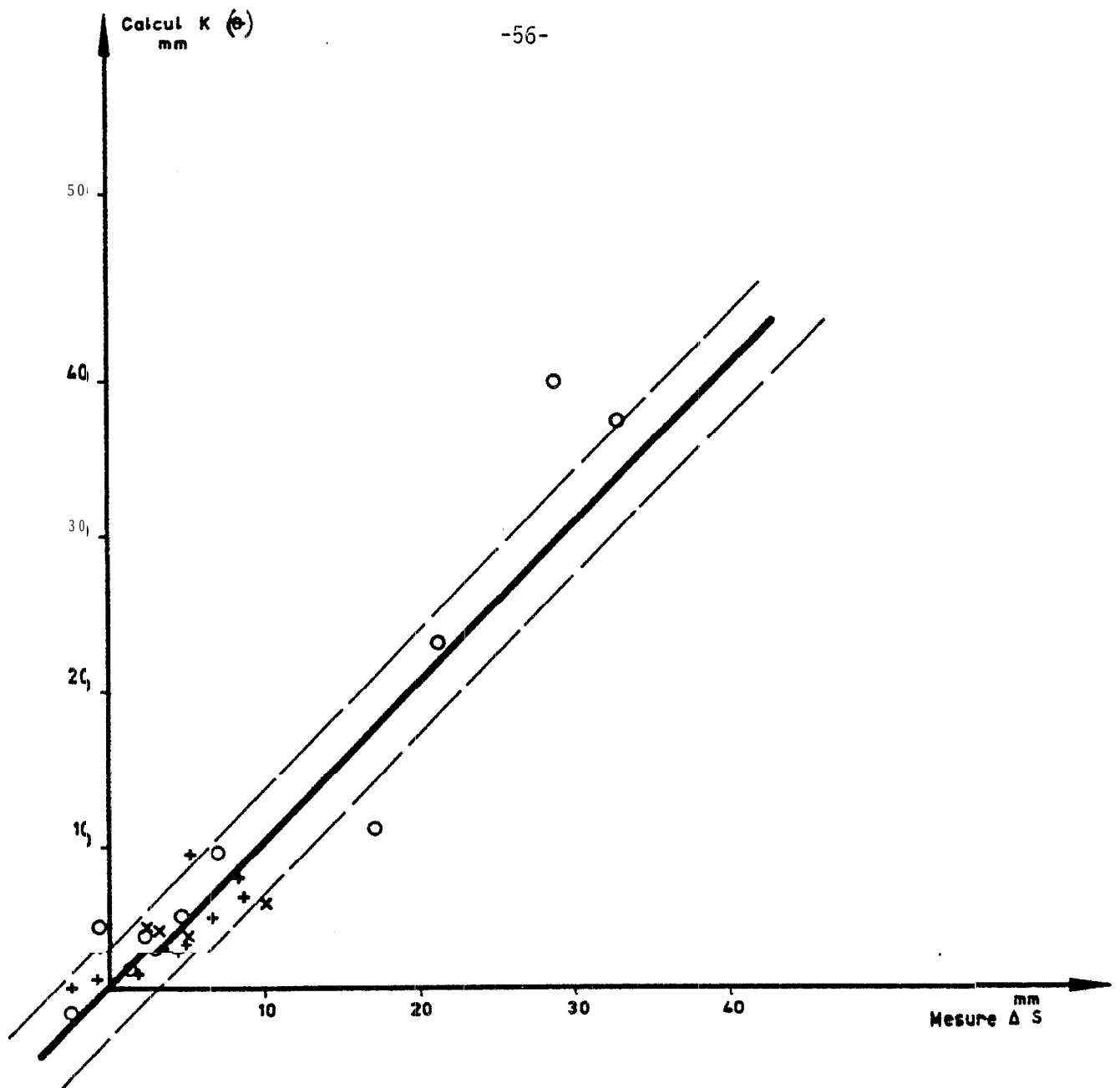


Figure 10 : Comparaison entre les valeurs des lames d'eau percolées à 1.5 m sous arachide (+) en 1984 et en 1985 et à 1.80 m sous mil (o) en 1985, obtenues par $K(\theta)$ et par ΔS .

En résumé, les résultats conduisent aux deux conclusions suivantes :

- pour le sol considéré, tant que les flux percolés sont inférieurs à 3 mm/j, le calcul, sur une base hebdomadaire, de la lame d'eau écoulée par l'utilisation de la relation (7) conduit à des valeurs comparables (du point de vue précision) à celles qui seraient obtenues par mesure de la variation de stock
- dans ces conditions également la relation $K(\theta)$ obtenue au bloc II peut s'appliquer en n'importe quel point du dispositif expérimental.

IV.6 - DISCUSSIONS.

La matière organique appliquée au sol réagit avec les colloïdes inorganiques du sol pour former des complexes qui peuvent avoir une grande influence sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Cette action de la matière organique a été observée et rapportée par divers auteurs (GREELAND 1965, KONONOVA 1966 etc....).

Plusieurs auteurs, dont (Henin, 1945 ; Demolon, 1952 ; Baver, 1956 ; Monnier, 1965 ; Nakaya 1984 ; Datta, 1984 ; Macrae, 1985 etc;..) ont signalé des effets de la matière organique sur les propriétés physiques du sol.

Pour les sols tropicaux des auteurs ont également rapporté des liaisons existant entre la matière organique du sol et la porosité (Nicou, 1974), la stabilité structurale (Bouchard, 1970) ou les réserves en eau des horizons de surface du sol (SIBAND, 1972).

Dans les conditions expérimentales de notre étude, bien que par rapport au traitement TO, les apports de matière organique effectués ont augmenté très sensiblement les teneurs en carbone et en azote des horizons supérieurs du sol (tableau 4), la teneur en matière organique du sol demeure faible ; elle est inférieure à 0.5%.

Ce faible niveau du taux de matière organique du sol expliquerait l'absence d'effets des apports de matière organique sur les propriétés de transfert et de rétention hydrique du sol.

Les différences observées, entre les deux traitements, sur les cinétiques d'humectation du sol ne résultent donc pas d'une action directe de la matière organique apportée sur les caractéristiques hydrodynamiques du sol. On est donc en présence d'un effet indirect de la matière organique qu'il faudra étudier au niveau de la plante.

CHAPITRE V

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES BILANS HYDRIQUES

L'alimentation hydrique des plantes est un facteur essentiel dans l'élaboration des rendements des cultures dans la zone Centre-Nord du Sénégal.

Beaucoup de travaux relatifs à l'estimation des besoins en eau des plantes de grande culture et à l'influence de l'alimentation hydrique sur les rendements des cultures y ont été réalisés. Parmi ceux-ci on peut citer les travaux de Tourte et al (1965), de Dancette (1973 et 1982) et de Dancette et Forest (1982). Ils ont mis en évidence, en particulier pour la zone centre-Nord du Sénégal, des liaisons étroites entre les rendements et les consommations hydriques de l'arachide et du mil à certaines périodes végétatives.

Dans la recherche des facteurs explicatifs des différences de rendements observées entre les deux traitements TO et T1, on a donc été amené à estimer les bilans de consommation hydrique des plantes sous les deux traitements étudiés. On s'est également intéressé à l'estimation des pertes hydriques par drainage au-delà du front racinaire des plantes. Le calcul de ces pertes servira par ailleurs avec la mesure des concentrations minérales de la solution du sol à l'estimation des pertes minérales par lixiviation sous les deux traitements TO et T1.

v.1 - METHODE DE CALCUL DU BILAN HYDRIQUE SOUS CULTURE.

La loi de la conservation de la masse permet d'écrire, sous culture, entre deux instants t_1 et t_2 , la relation :

$$AS = P - (D + ETR + r) \quad (1)$$

où AS est la variation de stock d'eau entre la surface et la cote Z considérée ; P, D, ETR et r sont respectivement la pluviométrie, le drainage au-delà de la cote Z, l'évapotranspiration (consommation hydrique des plantes) et le ruissellement pendant la période $\Delta t = t_2 - t_1$.

Dans les conditions de Thilmakha (topographie plane, sol sableux très homogène et profond:) le terme r (ruissellement) est en général nul.

La relation (1) se réduit alors à :

$$AS = P - (D + ETR)$$

ou encore à :

$$ETR = P - (D + AS) \quad (2)$$

Le problème qui se pose pour la détermination de l'ETR est le calcul du drainage (D). On appelle drainage, la quantité d'eau qui percole au delà d'une cote donnée par exemple au delà du front racinaire Z_r , ce qui représente alors, une perte hydrique pour les cultures. Sous culture d'arachide, cette cote correspond à $Z_r = 1.5$ m et sous culture de mil à $Z_r = 1.8$ m.

A, Thilmakha, deux cas peuvent se présenter :

1er cas : La teneur à la dernière cote de mesure hydrique reste très faible, voisine de $0.04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, (ce qui correspond au profil initial).

Dans ces conditions, même s'il existe un gradient de charge hydraulique à ce niveau la conductivité K est tellement faible ($K \sim 0.1 \text{ mm/jour}$) que l'on peut supposer qu'il n'existe aucun écoulement à la base du tube.

Par conservation de masse, l'équation (2) peut être calculée entre 0 et 3.7 m, avec, $D = 0$ à cette cote. Elle donne directement

$$ETR = P - \Delta S_T \quad (3)$$

où AS, représente la variation de stock total sur tout le profil (voir fig. 11 a)

Si maintenant on considère cette même équation entre les côtes 0 et Z_r elle devient

$$ETR = P - AS, - D_r \quad (4)$$

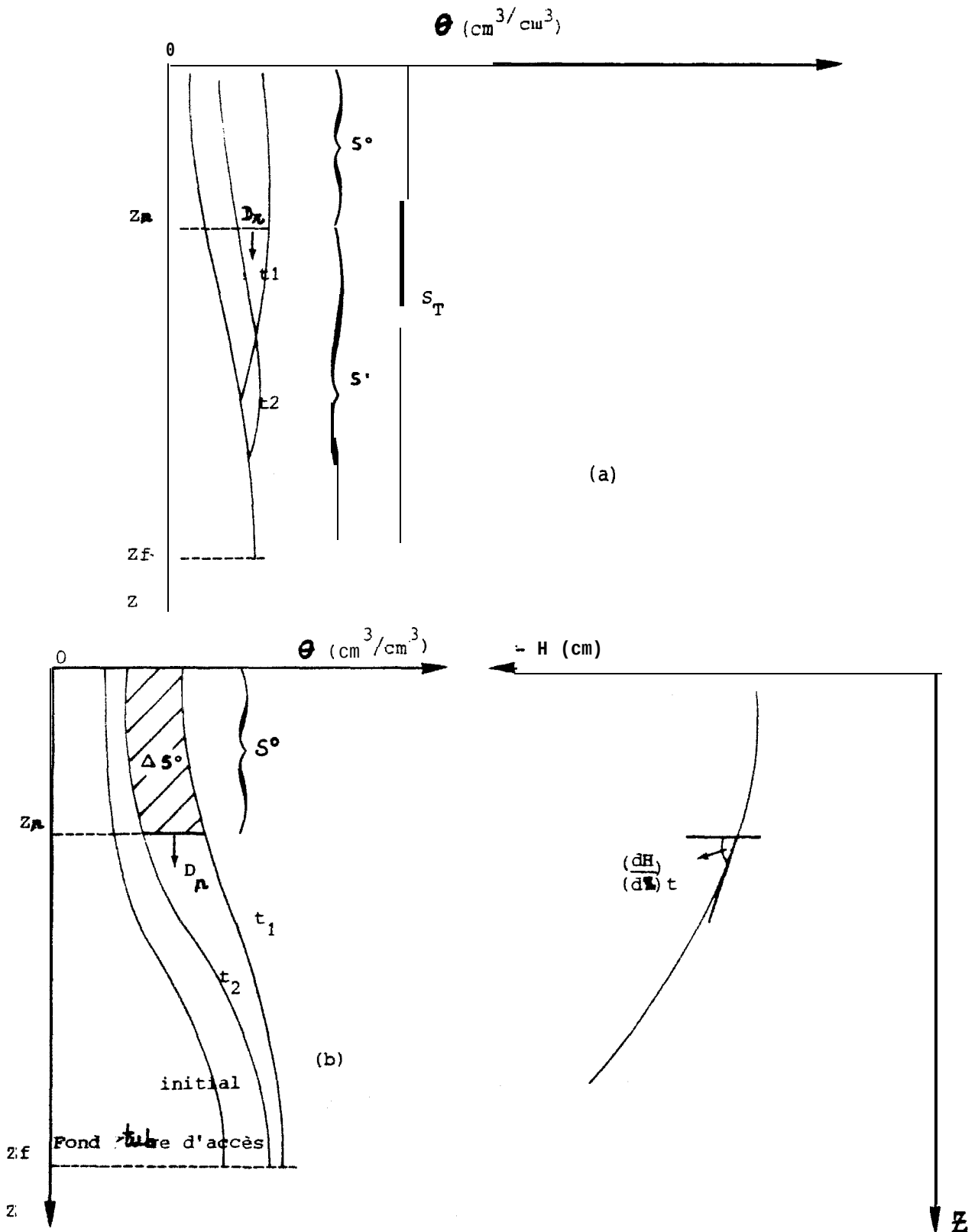


FIGURE 11 : SCHEMAS ILLUSTRANT LE CALCUL DE LA VARIATION DE STOCK (11-a),
DU DRAINAGE EN CAS DE PERCOLATION AU-DELA DE $z = 3.7$ m (11-b)
ET DU GRADIENT DE CHARGE HYDRAULIQUE (11 - c)

où D_r représente la lame s'écoulant au delà du front racinaire, qui peut être directement obtenue par

$$D_r = AS' \quad (5)$$

Dans ces deux équations AS , et AS' sont respectivement les variations de stock entre 0 et Z_r et Z_r et le fond du tube (fig. 11a) pendant Δt . Il est évident, puisque $ST = S' + S_0$, que les équations (3) et (4) sont équivalentes.

Au niveau du calcul des grandeurs physiques ETR et D_r on utilisera dans l'ordre l'équation (3) puis l'équation (5). Les variations de stock dans ces équations sont calculées directement par la règle des trapèzes par le programme de traitement des données utilisées. Un exemple d'application sera donné ci-après.

2eme cas Il y a occurrence de pertes hydriques à la base du profil hydrique mesuré, avec augmentation de la teneur en eau à la cote 3.7m - (fig. 11-b)

Il n'est dans ce cas plus possible d'utiliser la relation de conservation de masse. Plutôt que de tenter de calculer par la loi de Darcy la lame d'eau percolée à 3,7 m, ce qui supposerait de pouvoir extrapoler la loi $K(0)$ déterminée entre 0 et 2 m en profondeur, nous avons préféré estimer directement la lame d'eau drainée en dessous du niveau racinaire en appliquant cette loi.

Les termes du bilan sont alors obtenus simultanément par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} \text{à la cote } Z_r & \quad D_r = Q \times \Delta t = - K(\bar{\theta}) \overline{\text{grad } H} \times t \\ \text{entre 0 et } Z_r & \quad ETR = P - \Delta S_0 = D_r \end{aligned}$$

Pour le calcul du drainage D_r les valeurs de teneur en eau ($\bar{\theta}$) et de gradient de charge ($\overline{\text{grad}}$) intervenant dans le calcul sont des moyennes de mesures pendant la période Δt .

Il faut noter qu'un certain empirisme peut régner sur le choix de la cote Z_r . Comme nous l'avons vu précédemment, ce choix résulte d'une étude effectuée dans la zone de Bambeï, et semble représenter assez bien des valeurs moyennes. Il peut toutefois exister deux limitations :

- en début de cycle, ou les pertes par drainage calculée par l'équation (5) peuvent, si elles existent, être sous estimées.
- en fin de cycle où le front racinaire peut dépasser cette cote, surtout en condition de sécheresse. On trouvera d'ailleurs, dans les exemples traités, certains cas où le "drainage" devient négatif en fin de cycle, ce qui vraisemblablement correspond à de l'extraction racinaire au delà de Z_r .

v.2 - EXEMPLES D'APPLICATION

A titre d'exemple on présentera le calcul détaillé des deux grandeurs ETR et D à partir des mesures effectuées sur la série 1 et dans les deux sites de mesures (bloc IV, traitement T, et bloc VI, traitement T_0) en 1983 (arachide), 1984 (mil) et 1985 (arachide).

2.1 - Année 1983 (culture d'arachide ; pluviométrie totale = 210 mm)

On présente aux figures 12-a et 12-c les profils hydriques mesurés avant le semis (20/07/1983) et jusqu'au maximum du stock hydrique du sol (13/09/1983) et aux figures 12-b et 12-d ceux mesurés à partir du stock maximum jusqu'à une semaine des récoltes (22/10/1983). On peut observer sur ces figures que le front d'humectation descend plus profondément sur le traitement T_0 (profil du 13/09/1983) pour lequel, enfin de cycle végétatif, il se produit des percolations hydriques au-delà de la dernière cote de mesure.

Les valeurs des stocks hydriques entre 0-1.5 m , 1.5-3.7 m et 0-3.7 m sont présentées au tableau 15-a.

Les figures 13-a et 13-b, représentent les variations du stock hydrique du sol entre Z_r (1.5m) et Z_f (3.7m) et entre 0 et Z_f calculées entre le 20/07/1983 et une date donnée s'il n'y a pas de percolation hydrique à la base du tube. Les variations de stocks hydriques entre Z_r et Z_f permettent d'estimer le drainage entre deux dates et celles entre 0 et Z_f caractérisent l'utilisation ou non des réserves en eau du sol.

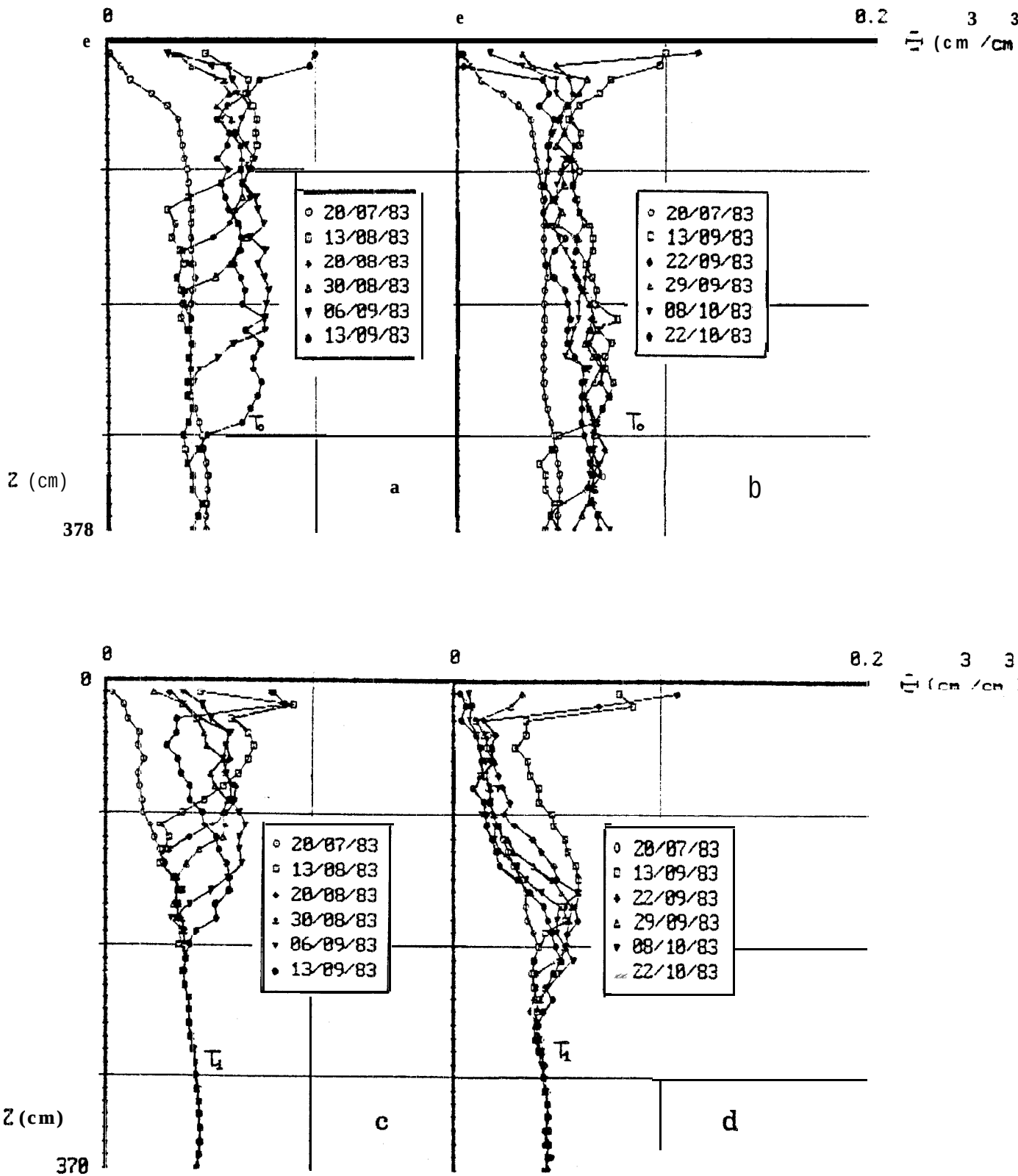
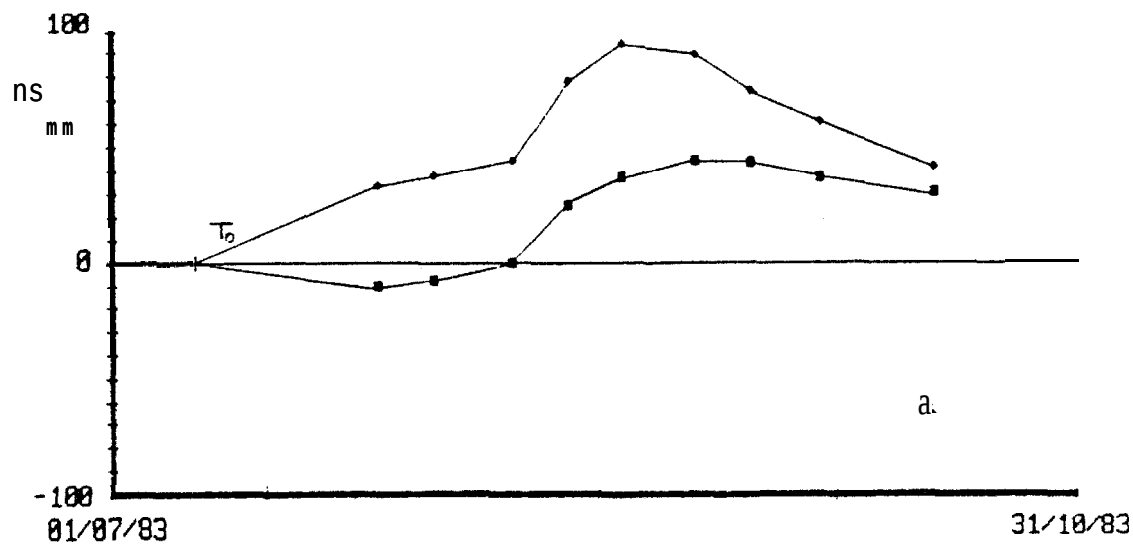


Figure 12 : Profils hydriques mesurés sur les traitements BVI-To (a et b) et BIV-T1 (c et d) en 1983



■ 150 - 378 cm
• 0 - 370 cm

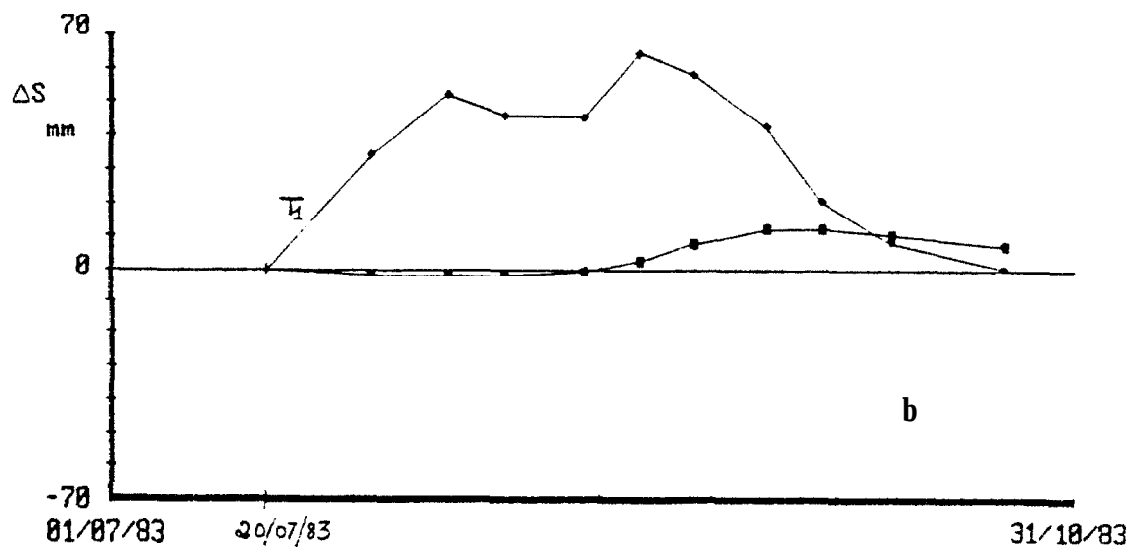


Figure 13 : Variations du stock hydrique entre différentes côtes du sol sur les traitements BVI- T_0 (a) et BIV- T_1 (b) en 1983

T0											
0- Z(m)	20/7	3/8	13/8	20/8	30/8	6/9	13/9	22/9	29/9	8/10	22/10
0.0-1.5	42.6	75.4	86.3	86.3	85.2	94.0	96.0	86.7	71.3	65.0	53.3
1.5-3.7	101.0	90.9	91.5	94.1	102.5	126.8	138.8	145.5	*	*	*
0.0-3.7	143.6	166.3	177.9	181.0	187.7	220.8	234.8	232.2	*	*	*
T1											
0.0-1.5	25.3	60.2	72.7	72.7	71.2	86.1	71.1	52.3	31.8	23.0	18.7
1.5-3.7	95.6	94.9	95.0	94.9	95.3	99.8	105.3	109.0	109.0	106.1	102.9
0.0-3.7	120.9	155.1	167.7	167.6	166.5	185.9	176.4	161.3	140.8	129.1	121.6

Tableau 15-a : Stocks hydriques (mm) des couches, 0-1.5, 1.5-3.7 et 0-3.7 m du sol
sous culture d'arachide/1983
*: percolation au-delà de Z = 3.7 a

Paramètres	22 - 29/9	29 - 8/10	8 - 22/10
$\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	0.0058	0.0054	0.047
grad H	- 0.70	- 0.70	- 0.70
Q(mm/j)	0.81	0.55	0.26
D(mm)	5.70	5.00	3.90
S(mm)	- 15.640	3 - 0	- 11.70

Tableau 15-b : Valeurs des paramètres pour le calcul de l'ETR (traitement T0)
entre le 22/9 et le 22/10/1983

Période	N (j)	P (mm)	T0				T1			
			$\Delta S(\text{mm})$	ETR(mm)	ETR(mm/j)	D(mm)	$\Delta S(\text{mm})$	ETR(mm)	ETR(mm/j)	D(mm)
3-13/8	10	33.8	11.6	22.2	2.22	*	12.6	21.2	2.12	*
13-20/8	7	4.0	3.1	0.90	0.13	2.8	-0.1	3.1	0.59	*
20-30/8	10	22.2	6.7	15.5	1.55	8.4	-1.1	23.3	2.33	*
30-6/9	7	46.0	33.1	12.9	1.84	24.3	19.4	26.6	3.80	4.8
6-13/9	7	23.5	14.0	9.5	1.36	12.0	-9.5	33.0	4.71	5.5
13-22/9	9	13.0	-2.6	15.6	1.73	6.70	-15.1	28.1	3.12	3.7
22-29/9	7	3.0	-15.4	12.7	1.81	5.7*	20.5	23.5	3.36	0.0
29-8/10	9	4.5	-6.3	5.8	0.64	5.0*	11.7	16.2	1.80	-2.9
8-22/10	15	0.0	-11.7	7.8	0.52	3.9*	-7.5	7.5	0.50	-3.2

Tableau 15-c : Valeurs de l'ETR et du drainage (arachide/1983)
n = nombre de jours de la période
p = pluviométrie de la période
S = variation du stock hydrique au cours de la période
D = drainage au cours de la période à la cote z = 1.50m
semis: 3/8/1983 • Récolte 29/10/1983
* valeur calculée par la loi de Darcy avec grad H = -0.7
(voir tableau 15-b)

Pour le traitement T1, le calcul de l'ETR et du drainage se fait par la méthode exposée au paragraphe 51 (1er cas). Pour le traitement T0, les deux cas présentés ci-dessus se produisent respectivement entre le semis (3/8) et le 22/9/1983 (1er cas) et entre le 22/9 et le 22/10/1983 (2eme cas). Malheureusement, pour l'année 1983, on n'avait pas installé de tensiomètres sur les traitements.

En se basant sur les valeurs du gradient de charge hydraulique à la cote $Z = 1.5$ m obtenues sur la série 1 (traitement T0) sous arachide en 1985 (valeurs présentées au paragraphe 523) et qui montrent que $\text{grad } H = -0.7 \text{ à } 0.1$ on a calculé les pertes hydriques pour la période allant du 22/9 au 22/10/1983.

Les paramètres nécessaires au calcul de l'ETR pendant les périodes de percolations hydriques à la base du tube d'accès pour l'humidimètre sont présentés au tableau 15-b.

Les lames d'eau évapotranspirées calculées du 3/08/1983 au 22/10/1983 sont présentées au tableau 15-c. Sur le traitement T0, elles s'élèvent à 102.9 mm tandis que sur T1 elles sont de 183.5 mm.

La figure 13-a montre enfin que l'arachide sur le traitement T0, ne consomme pas toute la pluie tombée entre le semis et la récolte (le stock hydrique au 22/10 est supérieur à celui du 20/07/1983) alors que c'est le contraire sur le traitement T1, puisque la variation du stock hydrique entre 0 et Z_f (figure 13-b) cumulée entre le semis et la récolte est nulle.

Les pertes hydriques par drainage au-delà de la cote $Z = 1.5$ m sont également présentées au tableau 15-c. Sous le traitement T0, le drainage cumulé est de 69 mm tandis que sous T1 il n'est que de 8 mm.

2.2 - Année 1984 (culture de mil ; pluviométrie totale = 279 mm)

Les figures 14-a et 14-c représentent les profils hydriques initial (01/07/1984) et ceux mesurés jusqu'au maximum du stock hydrique (19/09/1984) et aux figures 14-b et 14-d sont présentés les profils hydriques à partir du 19/09/1984 jusqu'à la récolte (23/10/1984).

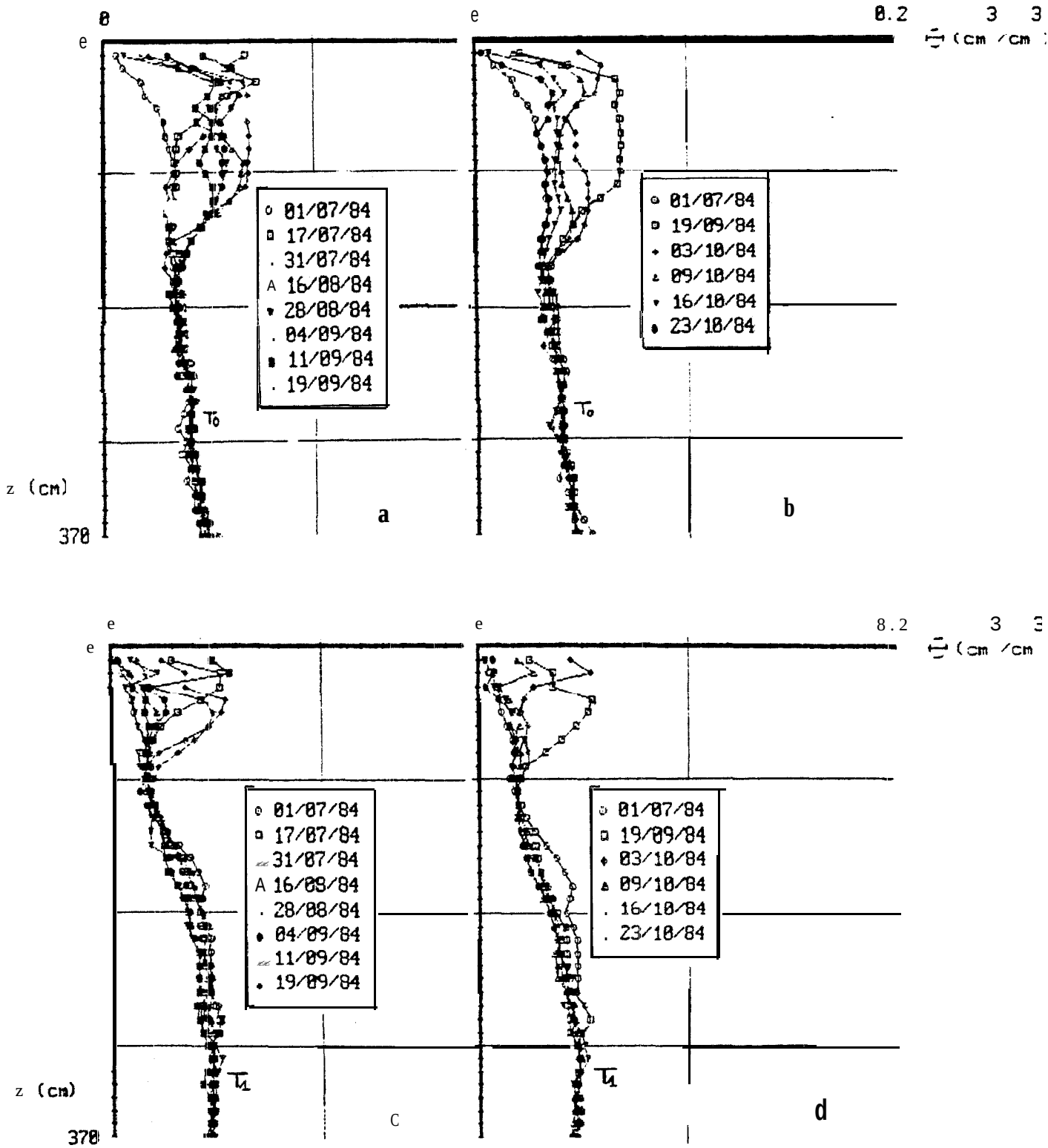
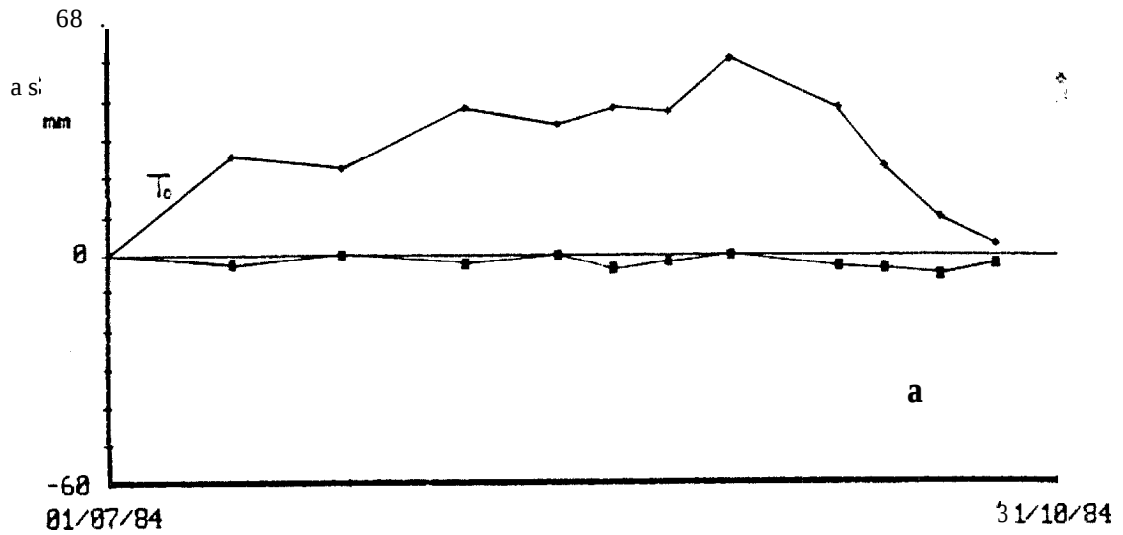


Figure 14 : Profils hydriques mesurés sur les traitements BVI-To (a et b) et BIV-T1 (c et d) en 1984



■ iae = 378 cm'
 --- 0 ---

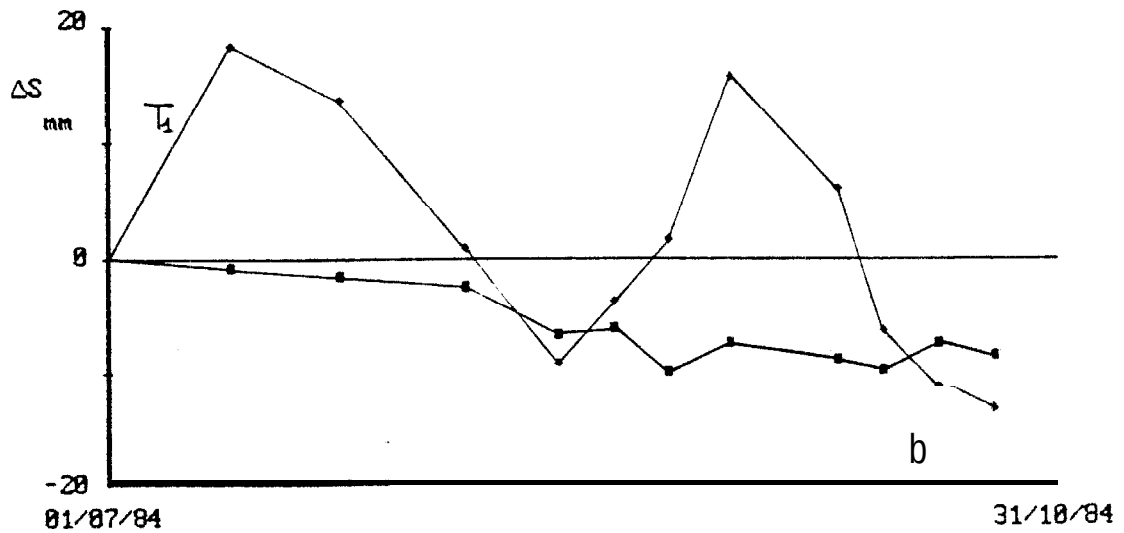


Figure 15 : Variations du stock hydrique entre différentes côtes du sol sur les traitements BVI-To (a) et RIV-T1 (b) en 1984

T0												
0-Z(m)	1/7	17/7	31/7	16/8	28/8	4/9	11/9	19/9	3/10	9/10	16/10	23/10
0.0-1.8	47.9	76.1	71.0	88.4	81.8	89.8	85.5	99.4	88.3	74.1	62.9	53.2
1.8-3.7	82.9	80.5	82.5	80.3	82.8	79.2	81.0	82.2	79.7	79.3	77.4	80.3
0.0-3.7	130.8	156.6	153.5	168.7	164.6	169.0	166.5	181.6	168.0	153.4	140.3	133.5
T1												
0-Z(m)												
0.0-1.8	32.1	51.2	47.3	33.4	28.7	35.0	42.0	55.3	45.6	35.0	28.9	27.5
1.8-3.7	93.5	92.3	91.6	90.9	86.4	87.0	82.8	85.4	84.2	83.0	85.3	84.3
0.0-3.7	125.6	143.5	138.9	124.3	115.1	122.0	124.8	140.7	129.8	118.0	114.2	111.8

Tableau 16-a : Stocks hydriques dans les couches 0-1.8 ; 1.8-3.7 et 0-3.7 m
du sol sous culture de mil/1984

Période	n (j)	P (mm)	T0				T1			
			ΔS(mm)	ETR(mm)	ETR(mm/j)	D(mm)	ΔS(mm)	ETR(mm)	ETR(mm/j)	D(mm)
10-17/7	7	25.0	n.d	10.5	1.50	0.0	n.d	10.5	1.50	0.0
17-31/7	14	19.2	-3.1	22.3	1.59	0.0	-4.6	23.8	1.70	0.0
31-16/8	16	31.0	15.2	15.8	0.99	0.0	-14.6	45.6	2.85	0.0
16-28/8	12	20.5	-4.1	24.6	2.05	0.0	-9.2	29.7	2.48	0.0
28-4/9	7	30.0	4.4	25.6	3.66	0.0	6.9	23.1	3.30	0.0
4-11/9	7	17.5	-2.5	20.0	2.86	0.0	2.8	14.7	2.10	0.0
11-19/9	8	51.5	15.1	36.4	4.55	0.0	15.9	35.6	4.45	0.0
19-3/10	14	24.6	-13.6	38.2	2.73	0.0	-10.9	35.5	2.54	0.0
3-9/10	6	5.0	-14.6	19.6	3.27	0.0	-11.8	16.8	2.80	0.0
9-16/10	7	0.0	-13.1	13.1	1.87	0.0	-3.8	3.8	0.54	0.0
16-23/10	8	0.0	-6.8	6.8	0.85	0.0	-2.4	2.4	0.30	0.0

Tableau 16-g : Valeurs de l'ETR et du drainage à Z = 1.80m Mil/1984

n = nombre de jours de la période

p = pluviométrie de la période

AS = variation du stock hydrique entre 0 et 3.7 m au cours de la période

D = drainage au cours de la période

semis = 10/7/1986 - Récolte : 23/10/84

n.d : non déterminée

Comme pour l'arachide en 1983, on peut observer que sous TO le front d'humectation descend plus profondément (profil du 19/09/1984). En effet au maximum du stock hydrique du sol, sous le traitement TO, le sol a été humidifié jusqu'à 1.70 m alors que sous T1 le front d'humectation est à 1 m de profondeur.

On observe par ailleurs, d'après les profils hydriques, que la teneur en eau à $Z = 3.7\text{m}$ est très faible ($0.04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ environ) et constante dans le temps. On peut donc considérer, puisque K est de l'ordre de 0.1 mm/j , qu'il n'y a pratiquement pas sur les deux traitements, de percolation hydrique à la base des tubes d'accès.

Les valeurs des stocks hydriques des couches du sol 0-1.8m, 1.8-3.7 m et 0-3.7 m sont présentées au tableau 16-a. Les variations du stock hydrique entre Z_r (1.8 m) et Z_f (3.7 m) et entre 0 et Z_f sont représentées aux figures 15-a et 15-b. Ces variations sont toujours calculées entre le profil initial et celui mesuré à une date donnée. On peut observer à la figure 15-a que sous TO il n'y a pas de drainage au-delà de 1.8 m et que toute la pluie utile (semis-récolte) est consommée (le stock total à la récolte est égal à celui du 1/7/1984).

Sous le traitement T1, on observe que le mil a consommé en plus de la pluie utile, une partie des réserves hydriques du sol, le stock hydrique au 23/10/1984 est en effet inférieur de 13 mm environ à celui du 1/07/1984.

Les valeurs de l'ETR et du drainage sont présentées au tableau 16-b. Pour la période du 10 au 17/7/1984, puisqu'on a pas mesuré de profil hydrique au semis (le 10/7/1984) on a émis l'hypothèse que l'ETR est la même sur les deux traitements et s'élève à 1.5 mm/j . Les consommations hydriques du mil, sous les deux traitements TO et T1 sont respectivement de 232.9 et 241.5 mm.

2.3- Année 1985 (culture d'arachide ; pluviométrie
totale = 347 mm)

On présente aux figures 16-a et 16-d les profils hydriques mesurés sous arachide. Bien que le front d'humectation descende plus rapidement sous le traitement TO, on observe sur les deux traitements, du fait

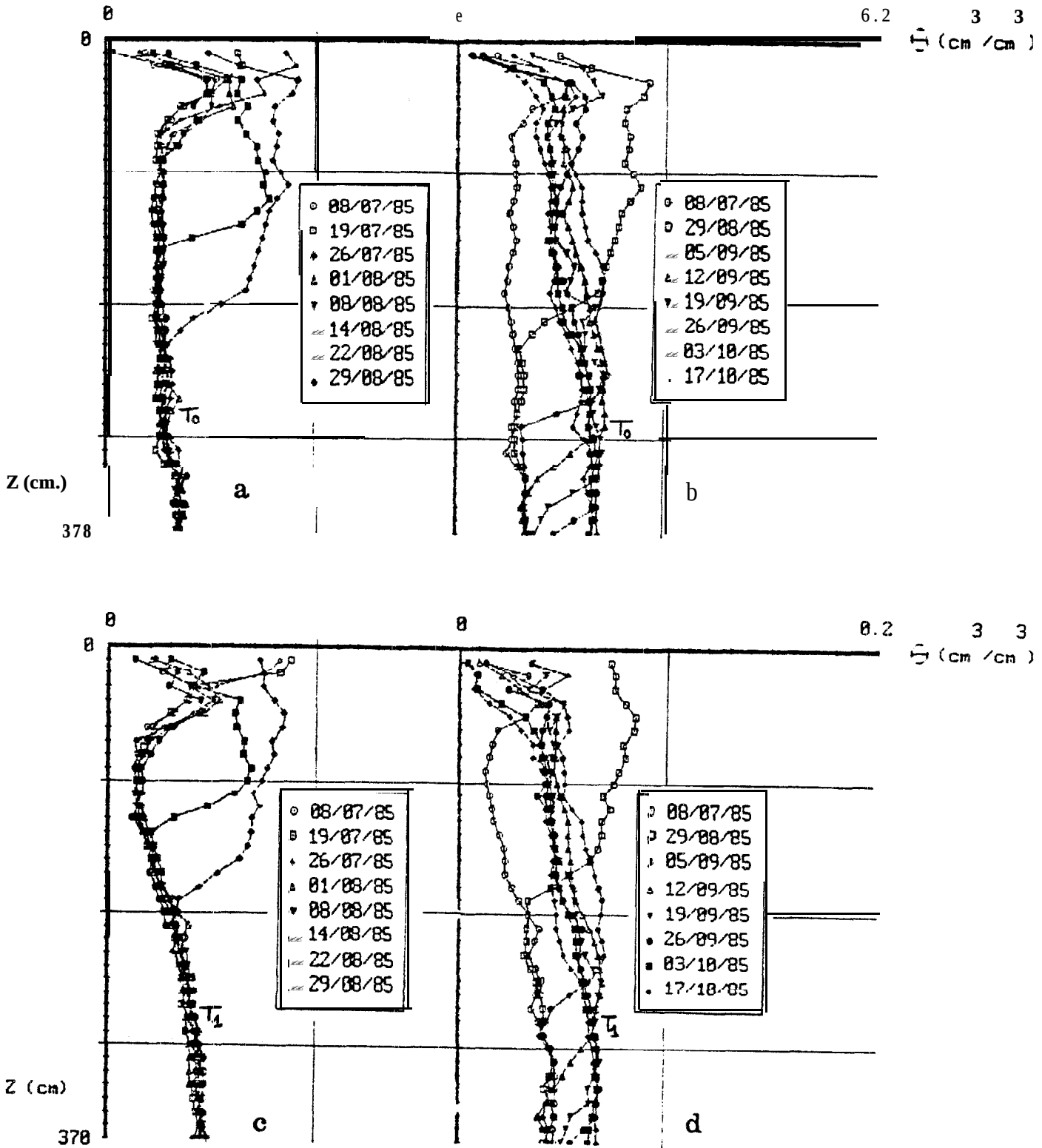


Figure 16 : Profils hydriques mesurés sur les traitements BVI-To (a et b) et BIV-T1 (c et d) en 1985

de la pluviométrie importante des percolations hydriques au-delà de la dernière côte de mesure (fig. 16-b et 16-d). Celles-ci ont eu lieu, dans les deux cas, à partir du 26/9/1985.

Les valeurs des stocks hydriques des couches du sol 0-1.5 m, 1.5-3.7 m et 0-3.7 m sont présentées au tableau 17-a. Les variations du stock hydrique entre Z_p (1.5m) et Z_f (3.7m) et entre 0 et Z_f sont représentées aux figures 17-a et 17-b. Ces figures montrent un comportement analogue entre les 2 traitements. En outre toute la pluie utile n'a pas été consommée par l'arachide puisque il reste après la récolte environ 75 mm d'eau dans le profil du sol sous T0, et à 60 mm sous T1.

Les profils de charge hydraulique mesurés entre le 19/9/1985 et le 17/10/1985 sont présentés aux figures 18-a et 18-b.

Les valeurs des paramètres nécessaires au calcul de l'ETR pendant les périodes où des percolations hydriques ont lieu à la base du tube sont données au tableau 17-b où cette fois le gradient de charge est issu des profils tensiométriques (fig. 18)

Les valeurs de l'ETR calculées du semis (19/7/1985) à la récolte (17/10/1985) sont présentées au tableau 18. Les consommations hydriques de l'arachide sur les deux traitements T0 et T1 s'élèvent respectivement à 225 mm et à 247 mm. Le drainage cumulé est de 74 mm sous le traitement T0 et de 57 mm sous T1.

v.3 - ESTIMATION DES BILANS HYDRIQUES SOUS CULTURE.

Les deux grandeurs, ETR et D, précédentes n'étant relatives qu'à un seul bloc par traitement et étant calculées pour exposer la méthode de calcul utilisée, nous allons maintenant procéder à l'estimation des bilans hydriques sous culture en considérant toutes les mesures réalisées sur chacun des traitements, de 1983 à 1985. On trouvera dans l'annexe II toutes les mesures de profils hydrique faites. Et à l'exception de l'année 1983, on ne présentera dans cette partie que les profils mesurés au maximum du stock

0-z m)	To															
	8/7	19/7	26/7	1/8	8/8	14/8	22/8	29/8	5/9	12/9	19/9	26/9	3/10	10/10	17/10	
0.0-1.5	45.5	53.7	67.0	53.1	47.1	48.2	93.6	115.4	75.8	69.2	73.1	70.8	58.9	54.9	52.7	
1.5-3.7	65.1	62.7	67.0	67.8	65.8	66.2	65.2	95.7	121.8	130.3	135.0	*	*	*	*	
0.0-3.7	110.6	116.4	134.9	120.9	112.9	114.4	58.8	211.1	197.2	199.5	208.1	*	*	*	*	
0-Z(m)	T1															
0.0-1.5	31.4	45.2	47.5	38.6	35.2	36.2	75.5	110.1	72.4	59.6	61.8	54.4	45.6	42.6	40.7	
1.5-3.7	81.8	81.9	83.8	83.1	86.5	82.6	85.7	98.4	126.9	131.7	135.2	*	*	*	*	
0.0-3.7	113.2	127.1	131.3	121.7	121.7	118.8	161.2	208.5	199.3	191.3	197.0	*	*	*	*	

Tableau 17-a : stocks hydriques (mm) des couches 0-1.5, 1.5-3.7 et 0-3.7 m du sol sous culture d'arachide/1985 - * : percolation au delà de Z = 3.7 m

Paramètres	To				T1			
	19-26/9	26-3/10	3-10/10	10-17/10	19-26/9	26-3/10	3-10/10	10-17/10
$\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	0.046	0.044	0.043	0.043	0.046	0.046	0.045	0.045
grad H	-0.73	-0.74	0.75	-0.60	-0.74	-0.63	-0.60	-0.61
q(mm/j)	0.24	0.20	0.17	0.14	0.25	0.21	0.18	0.18
D(mm)	1.68	1.40	1.14	1.12	1.75	1.47	1.26	1.44

Tableau 17-b : Valeurs des paramètres pour le calcul de l'ETR entre le 19 et le 17/10/1985.

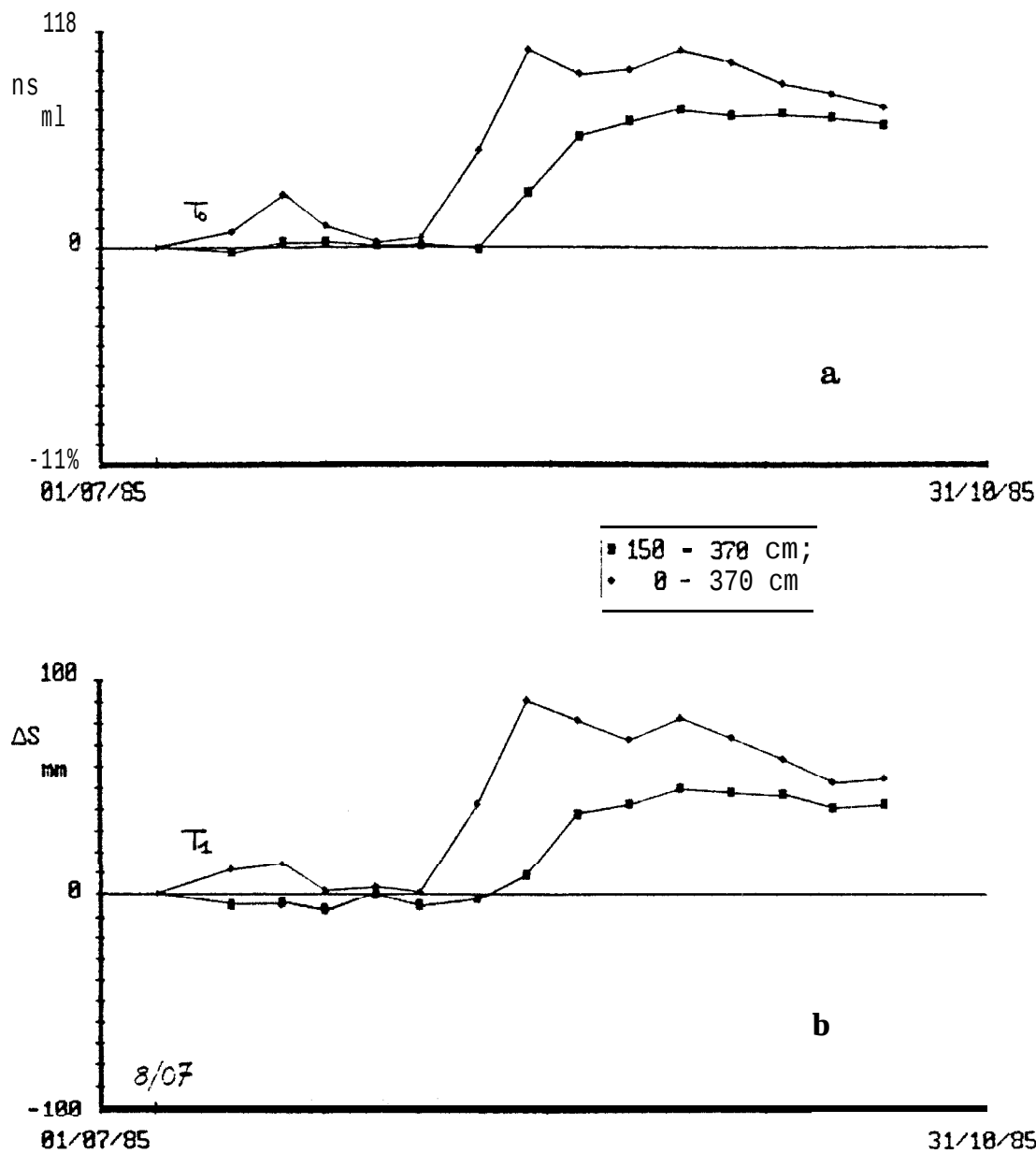


Figure 17 : Variations du stock hydrique entre différentes côtes du sol, sur les traitements BVI-T0 (a) et BIV-T1 (b) en 1985

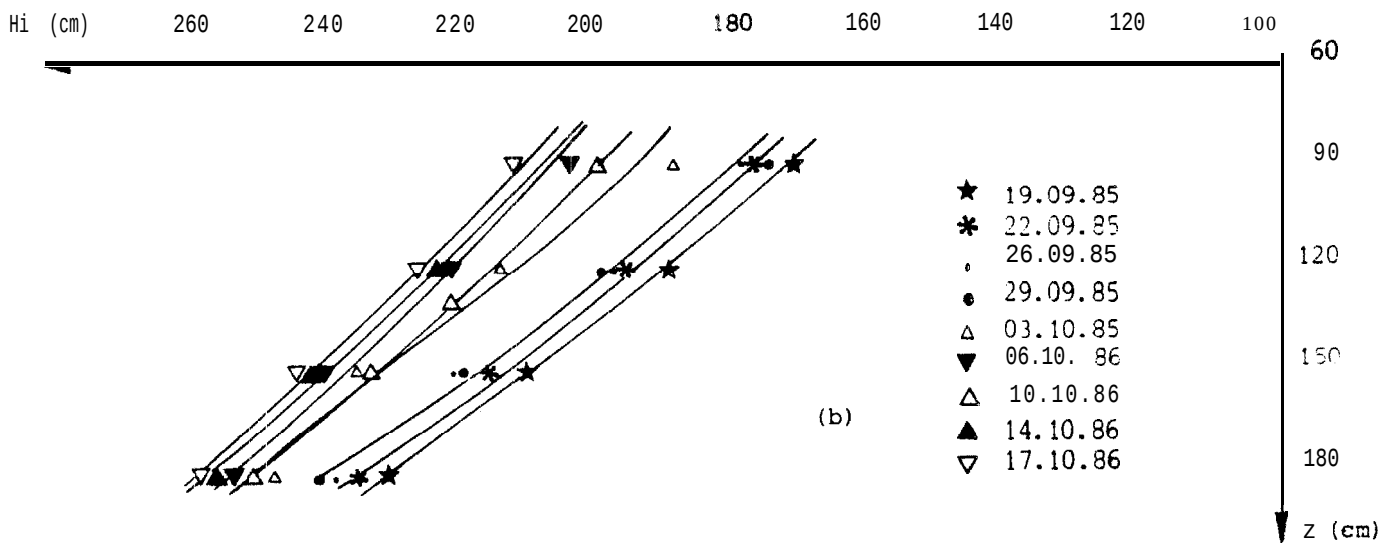
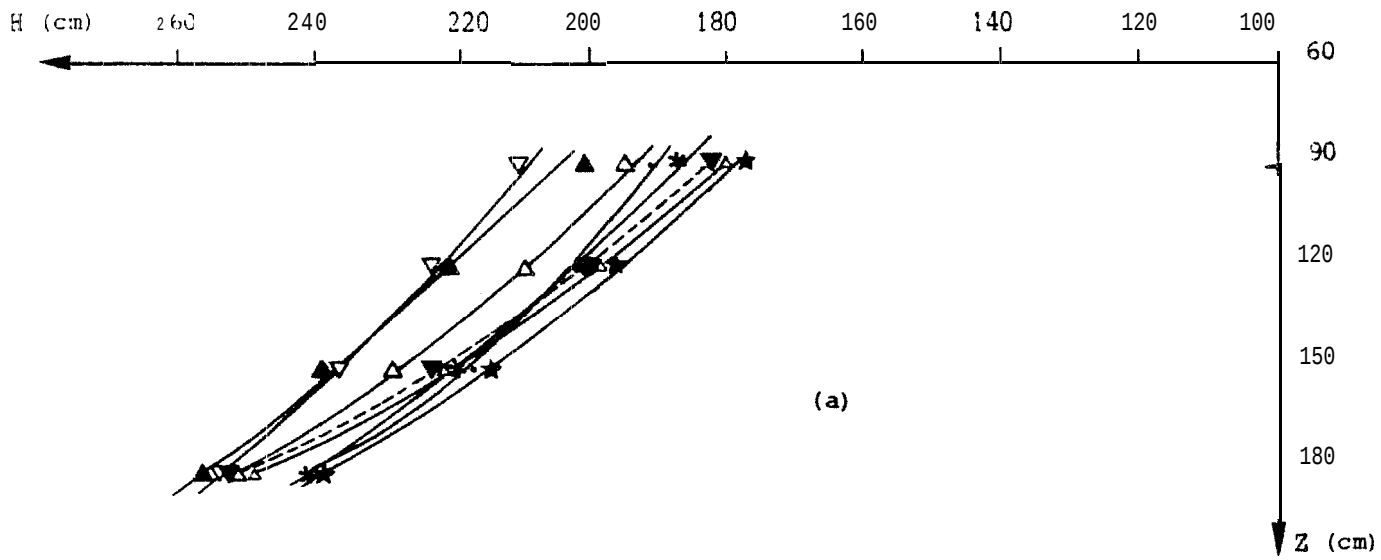


FIGURE 18 :: PROFILS DE CHARGE HYDRAULIQUE ENTRE LE 19.09.85 ET LE 17.10.85

(a) : T_0

(b) : T_1

ARACHIDE 1985

Semis : 19/7/1985 - Récolte : 17/10/1985

Période	n (j)	P (mm)	Γ _p				T _i			
			ΔS(mm)	ETR(mm)	ETR(mm/j)	D(mm)	ΔS(mm)	ETR(mm)	ETR(mm/j)	D(mm)
19-26/7	7	23.5	18.5	5.0	0.71		4.2	19.3	2.76	
26-1/8	6	0.0	-14.0	14.0	2.33		-9.6	9.6	1.60	
1-8/8	7	1.0	-8.0	9.0	1.29		0.0	1.0	0.14	
8-14/8	6	13.5	1.5	12.0	2.00		-2.9	16.4	2.73	
14-22/8	8	78.5	44.4	34.1	4.26		42.4	36.1	4.51	
22-29/8	7	97.5	52.3	39.2	5.60	19.8	47.3	44.2	6.31	14.5
29-5/9	7	12.3	-13.9	26.2	3.74	16.2	-9.2	21.5	3.07	28.5
5-12/9	7	21.2	2.3	18.9	2.70	8.4	-8.0	29.2	4.17	4.8
12-19/9	7	31.9	8.6	23.3	3.33	4.7	5.7	26.2	3.74	3.5
19-26/9	7	19.5	-2.3	20.1	2.87	1.7	-7.4	25.2	3.60	1.8
26-3/10	7	1.6	-11.9	12.1	1.73	1.4	-8.8	8.9	1.27	1.5
3-10/10	7	7.4	-4.0	10.2	1.46	1.2	-3.0	9.1	1.30	1.3
10-17/10	8	0/0	-2.2	1.10	0.14	1.1	-1.9	0.5	0.06	1.4

Tableau 18_: Valeurs de l'ETR et du drainage à Z = 1.5 m - arachide/1985
mêmes symboles qu'au tableau 15-c

hydrique du sol sur chacune des trois répétitions. Ces profils sont donnés en guise d'illustration de l'état hydrique du sol sous les deux traitements T0 et T1 à une date très caractéristique.

3.1- Bilan hydrique sous culture d'arachide en 1983

Les profils hydriques moyens (moyennes des trois répétitions) mesurés avant le semis et à trois dates caractéristiques pendant le cycle de développement de la plante sont représentés aux figures 19-a et 19-b. Les valeurs de l'humidité moyenne sont affectées chacune de leur écart-type. L'examen de ces profils hydrique, révèle une très faible variabilité spatiale de la teneur en eau du sol. L'écart-type moyen de l'humidité du sol calculé pour chacun des horizons du sol et aux quatre dates retenues est toujours inférieur ou égal à $0.005 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. On peut également constater sur ces profils d'humidité la cinétique plus rapide de descente du front d'humidité sur le traitement T0. L'avancée de ce front en fonction du temps a été représentée à la figure 1. Vers la fin du cycle végétatif, il se produit sur T0 des percolations hydriques à la base des trois tubes.

Les consommations; journalières (ETR (mm/j)) et cumulées (ETR (mm)) obtenues bloc par bloc puis moyennées sont respectivement représentées aux figures 20-a et 20-b. On observe, à la figure 20-a, que pendant les 15 jours suivant le semis (du 3/8 au 20/8/1983) les consommations hydriques journalières sont équivalentes sur les deux traitements T0 et T1 et s'élèvent en moyenne à 125 mm/j . Pendant la période allant du 17e au 50e jour après le semis, les consommations hydriques journalières de l'arachide se développant sur le traitement avec matière organique sont plus élevées comme on peut le noter par ailleurs au tableau 19 où sont reportées également les valeurs de t, test de student effectuée sur les consommations hydriques journalières. En moyenne, elles sont supérieures de 1.6 mm/j entre le 17e et le 30e jour après le semis et de 2.4 mm/j entre le 30e et le 50e jour après le semis. Vers la fin du cycle végétatif, à partir du 65e jour après le semis, la consommation hydrique, sur le traitement T0, est légèrement supérieure à celle observée sur T1 (plus de 0.6 mm/j en moyenne) mais les différences observées ne sont pas statistiquement significatives.

Les consommations lhydriques de l'arachide s'élèvent à $125.8 \pm 16.9 \text{ mm}$ et à $173.7 \pm 4.2 \text{ mm}$ respectivement sur les traitements T0 et T1 soit une différence d'environ 40% en faveur du traitement avec matière organique.

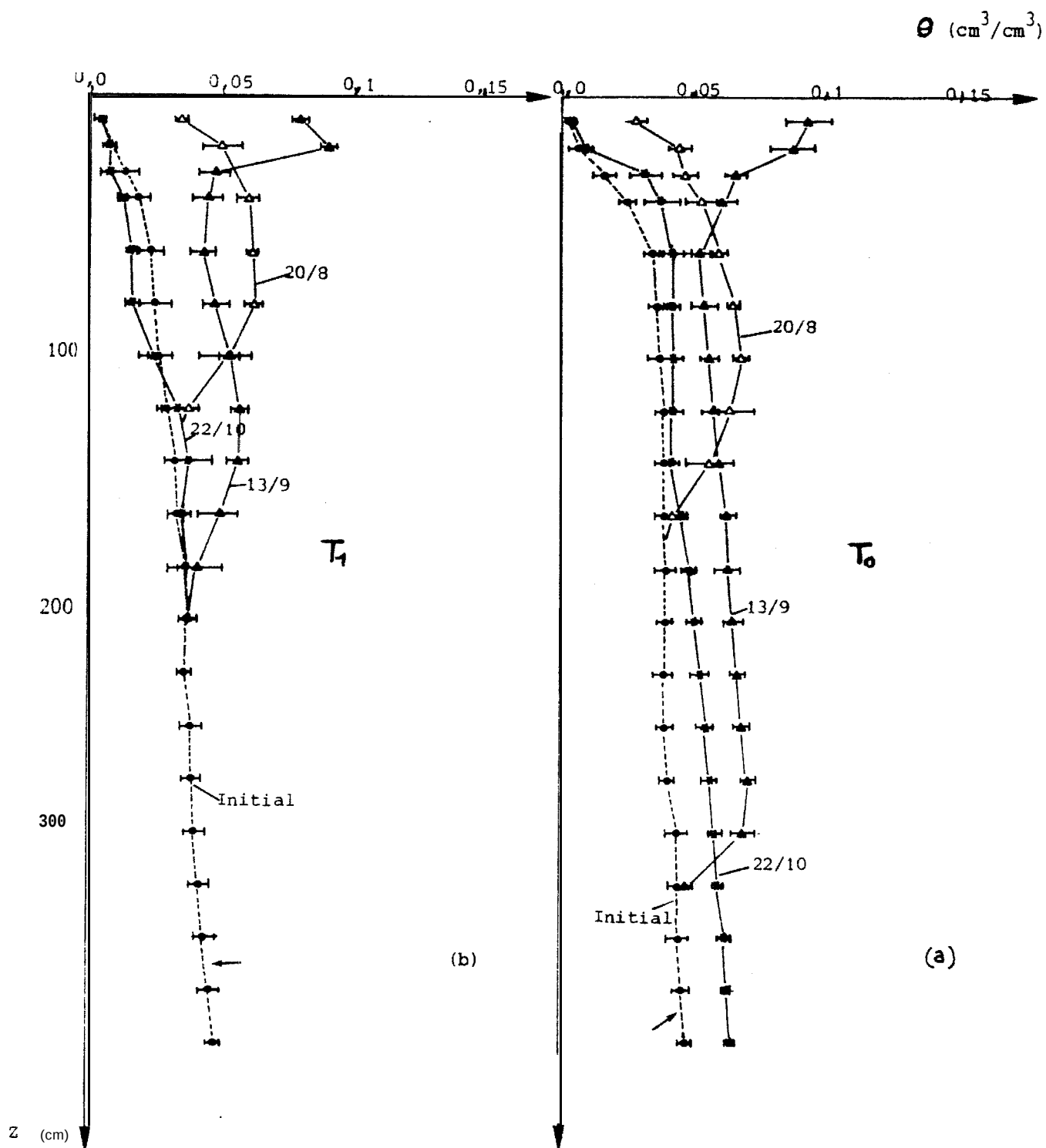


FIGURE 19 : PROFILS HYDRIQUES MOYENS MESURES AVANT SEMIS (Initial), 2 SEMAINES APRES SEMIS (20/8/1983), AU MAXIMUM DU STOCK HYDRIQUE (13/9) ET A UNE SEMAINE DES RECOLTES (22/10/1983)

(a) : T_0 ; (b) : T_1

— : Ecart-type.

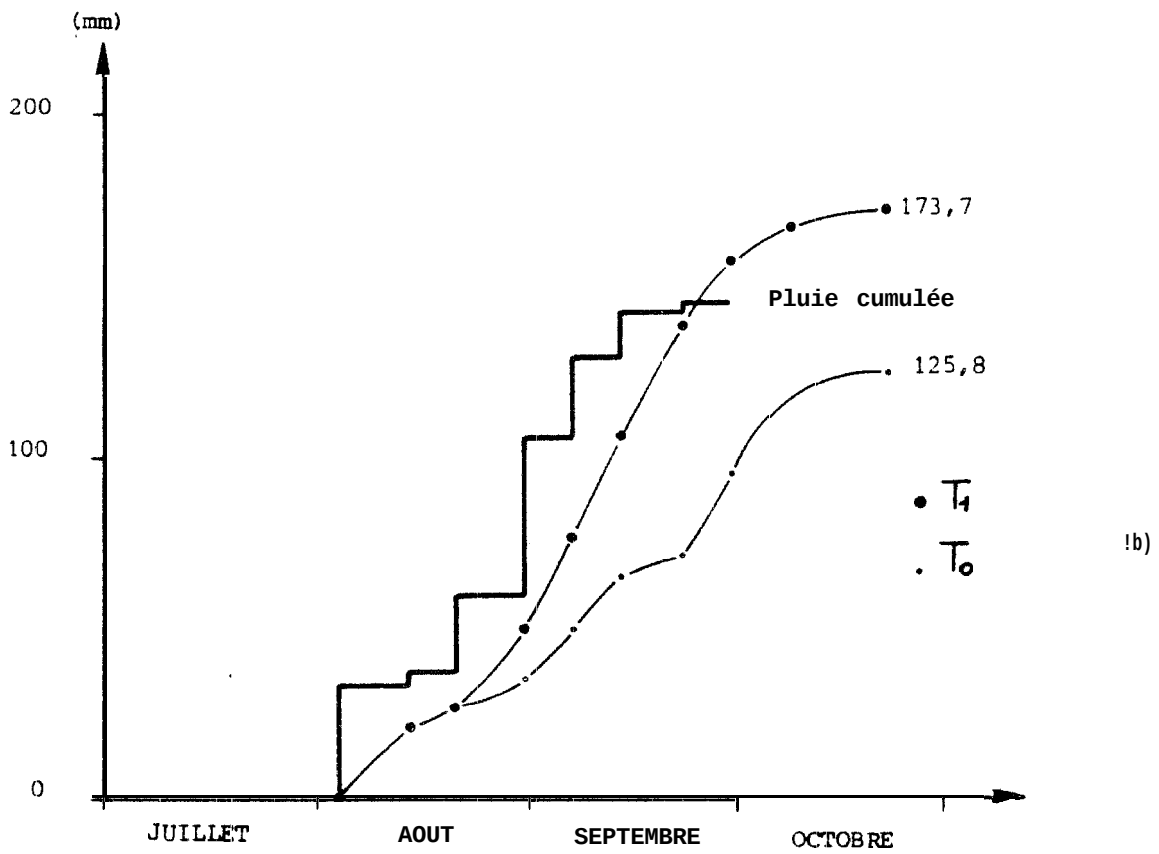
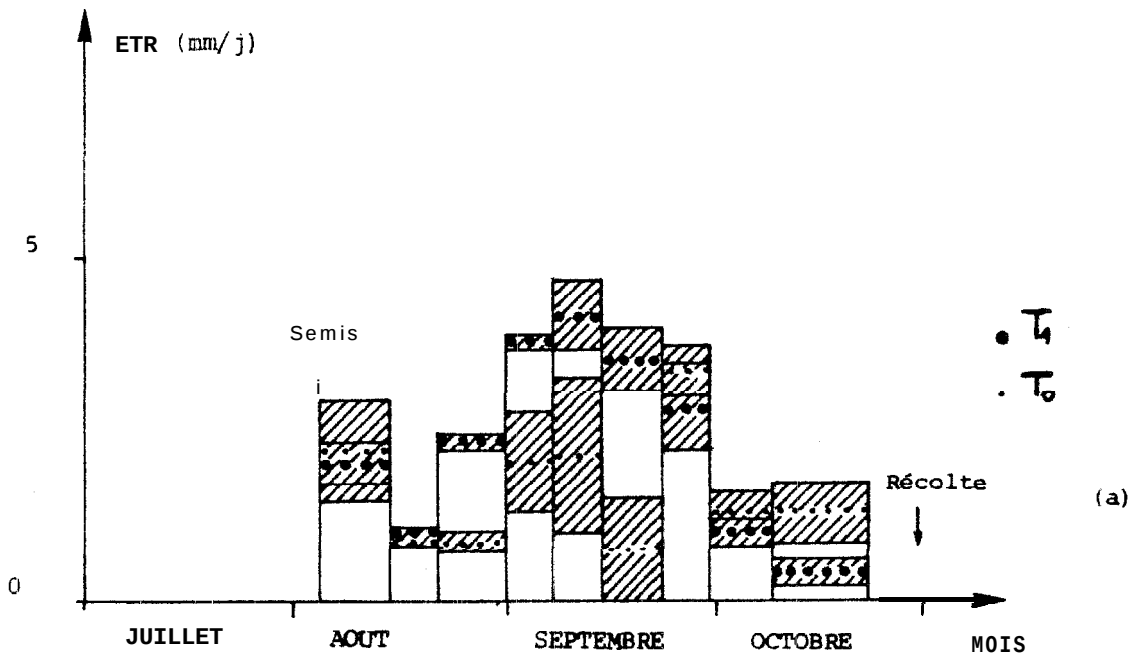


FIGURE 20 : CONSOMMATIONS HYDRIQUES JOURNALIERES (20-a) ET CUMULEES (20-b) DE L'ARACHIDE -- 1983 - • = T₀ ; ● = T₁

PERIODE (J.A.S)	ETM (mm/j)	To		Tl		Valeurs de t
		ETR(mm/j)	$\frac{ETR}{ETM} (\%)$	ETR(mm/j)	$\frac{ETR}{ETM} (\%)$	
0 - 10	3.32	2.10 ± 0.75	63	2.02 ± 0.30	61	0.14 (NS)
10 - 17	3.31	0.91 ± 0.11	27	1.09 ± 0.07	33	2.00 (NS)
17 - 27	4.22	0.91 ± 0.11	22	2.33 ± 0.02	55	18.11 (HS)
27 - 34	5.31	2.03 ± 0.77	38	3.77 ± 0.09	71	3.17"
34 - 41	5.81	2.15 ± 1.09	37	4.20 CO.46	72	2.45 (NS)
41 - 50	6.26	0.71 ± 0.90	11	3.54 ± 0.45	57	3.98*
50 - 57	5.02	3.40f0.35	68	2.80 f0.57	56	1.27 (NS)
57 - 65	4.66	1.30 ± 0.43	28	1.07 ± 0.21	23	0.68 (NS)
65 - 79	5.32	1.30 ± 0.43	24	0.41 ± 0.16	8	2.74 (NS)
Cycle (semis- récolte)	ETM(mm) 384.3	ETR (mm) 125.8 416.9	33	ETR(mm) 173.744.2	45	8.02**

Tableau 19 : Consommations hydriques journalières (mm/j) et cumulées (mm)

et taux de satisfaction (%) des besoins en eau de l'arachide

1983 - semis : 3/8/1983 - récolte : 29/10/1983

t (variable de student) = 2.776 à P = 0.05, 4.604 à P = 0.01

NS : non significatif à P = 0.05 - * : significatif à P = 0.05

HS : hautement significatif

DATES	To	Tl	Valeurs de t
20/08	3.3 ± 0.7		
30/08	12.0 ± 2.5		
6/09	33.5 ± 6.8	3.0 ± 1.6	6.17**
13/09	44.8 ± 3.9	6.8 ± 4.4	9.14**
22/09	52.4 ± 7.8	8.9 ± 7.0	5.87**
29/09	56.4 ± 8.5	9.5 ± 6.4	6.23**
8/10	60.6 ± 8.8	8.8 16.1	6.84**
22/10	64.6 ± 8.8	7.2 ± 5.0	8.02**

Tableau 20 : Drainage cumulé au-delà de 1.5 m sous culture d'arachide 1983.

Pluviométrie utile (semis-récolte) = 145 mm

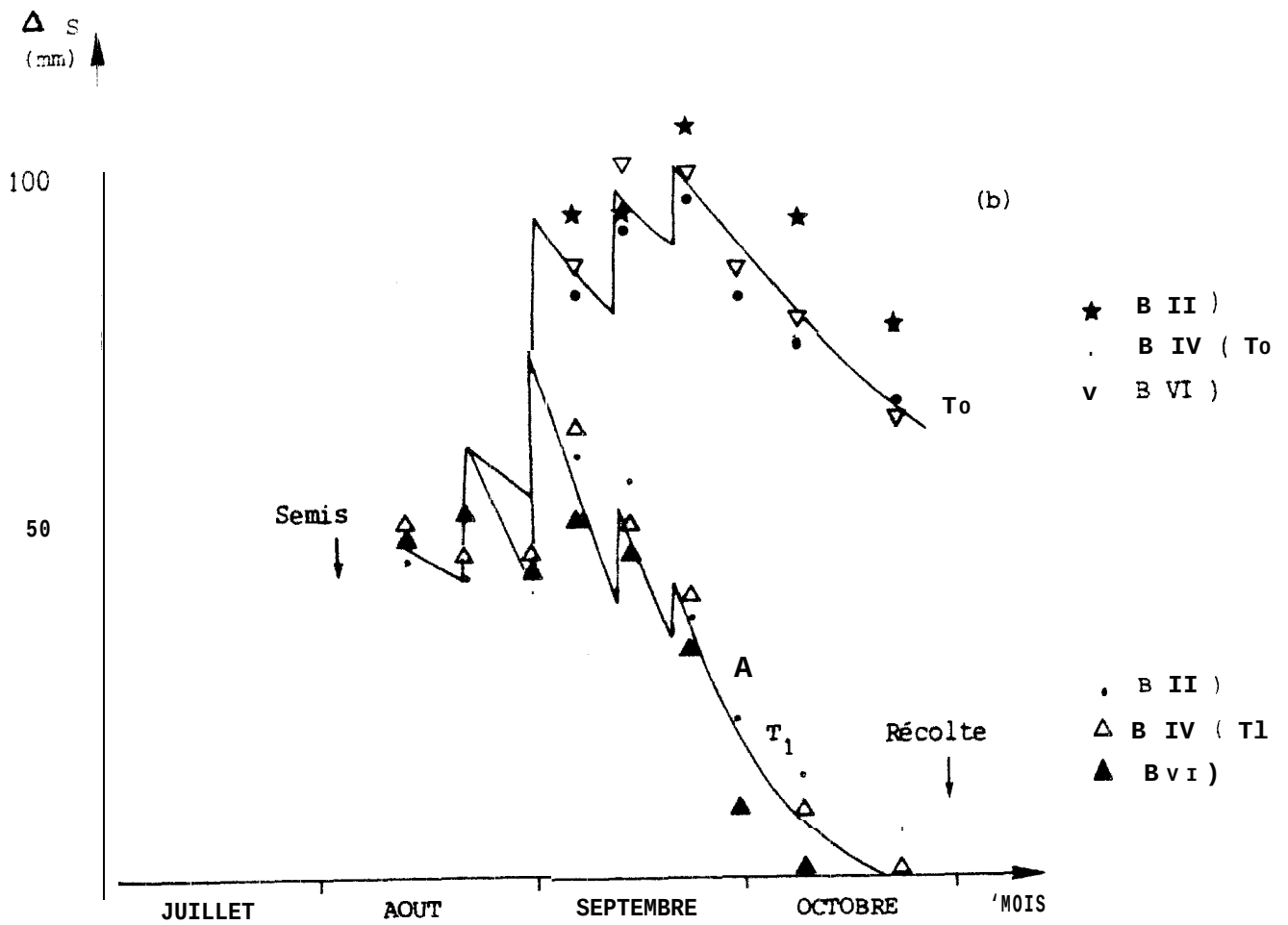
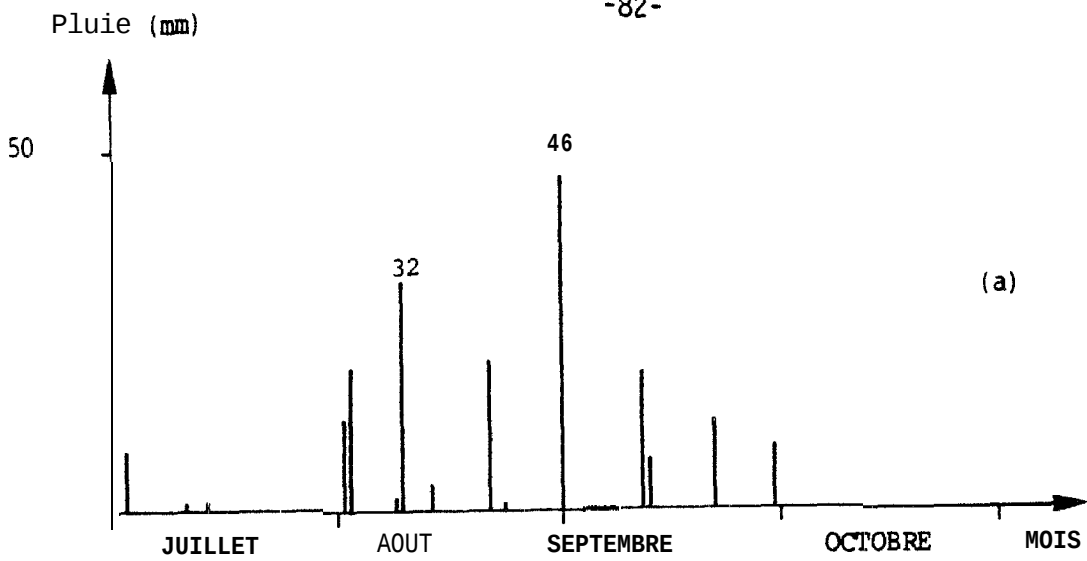


FIGURE 21 : PLUVIOMETRIE (21-a) ET VARIATIONS DU STOCK HYDRIQUE TOTAL DU SOL (21-b) ENTRE LE SEMIS ET LA RECOLTE. 1983

Ces valeurs de consommation hydrique globale sont très inférieures aux besoins hydriques de la plante estimées à 380 mm environ. Le calcul des taux de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) dont les résultats sont présentés au tableau 19 montre qu'à aucune période du cycle de développement de l'arachide, les besoins en eau de la plante ne sont totalement satisfaits. Les valeurs de l'ETM figurant au tableau 19 ont été obtenus en multipliant la valeur de l'évaporation bac de la période considérée par le coefficient **cultural** de la plante estimé pour cette même période. Du fait qu'on ne dispose pas de bac à **Tnilmakha**, l'évaporation est estimée à partir des valeurs mesurées à Bambey et auxquelles on a affecté un facteur correctif multiplicatif égal à 1.04 et qui est tiré des travaux de **Dancette (1984)**.

Les valeurs du drainage cumulé au-delà du front racinaire ($Z_r = 1.5 \text{ m}$) mesurées aux différentes dates sont présentées au tableau '20. Sous le traitement sans matière organique les pertes hydriques par drainage s'élèvent à environ 65 mm tandis que sur le traitement matière organique elles ne sont que de 7 mm. Ces pertes hydriques sous les traitements T0 et T1 représentent respectivement 45 à 5% de la pluviométrie utile (semis-récolte). Ces valeurs montrent une réduction importante des pertes hydriques par drainage sous le traitement matière organique.

La pluviométrie enregistrée entre les mois de juillet et d'octobre ainsi que les variations du stock hydrique total du sol issues de toutes les mesures sont représentées aux figures 21-a et 21-b. Malgré une **quantité** d'eau totale tombée (200 mm environ) très inférieure aux besoins en eau de l'arachide on observe à la figure 21-b, sur le traitement sur T0, un stock d'eau résiduel de 65 mm. Il y a eu donc une très mauvaise utilisation de l'eau sous ce traitement. Par contre, sous **le** traitement avec matière organique toute l'eau tombée pendant le cycle de développement végétatif a été **consommée** par la plante ; le stock d'eau en fin de cycle étant égal à celui du sol à la veille du semis.

3.2- Bilan hydrique sous culture de mil et d'arachide en 1984

On peut observer aux figures 22-a et 22-d qu'aussi bien sur culture d'arachide que sur mil, la teneur en eau du sol dans la couche 0-2 m est plus élevée sur le traitement sans matière organique.

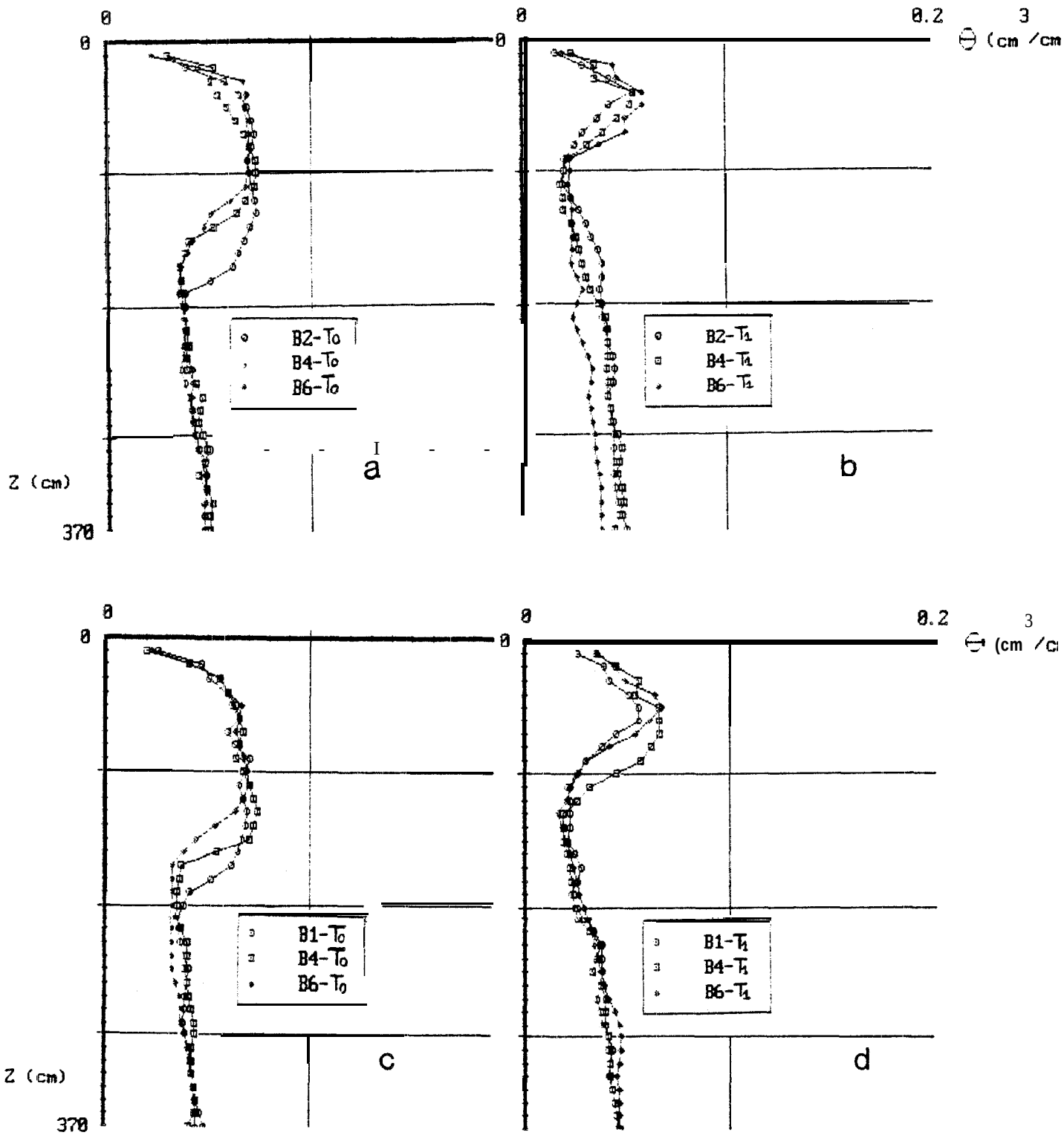


Figure 22 : Profils hydriques mesurés au maximum du stock hydrique total de sol (19/9/1984), sous mil. (a et b) et sous arachide (c et d)

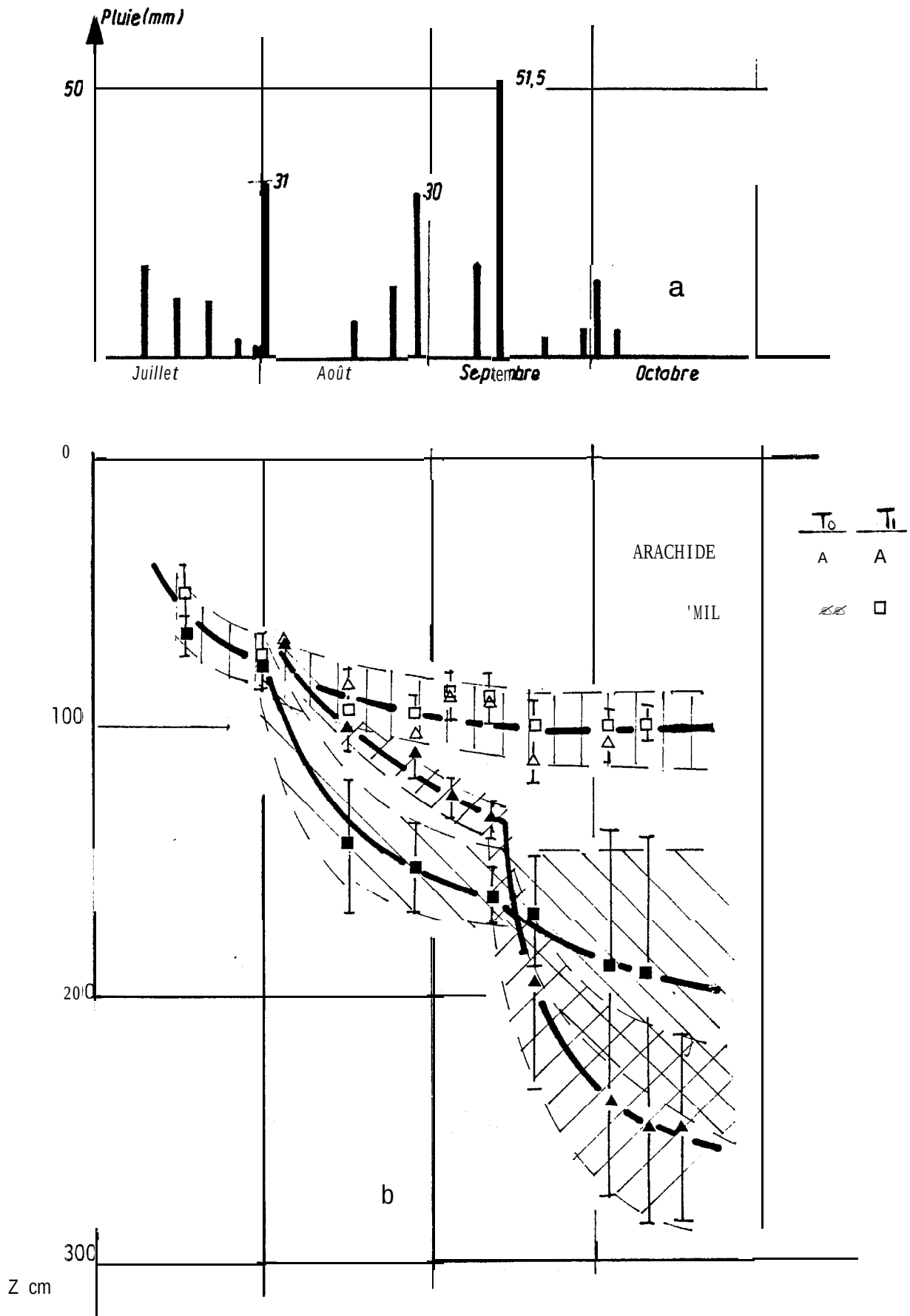


Figure 23 : Pluviométrie (a) et profils d'humectation du sol sous les deux cultures (b) en 1984

Source III

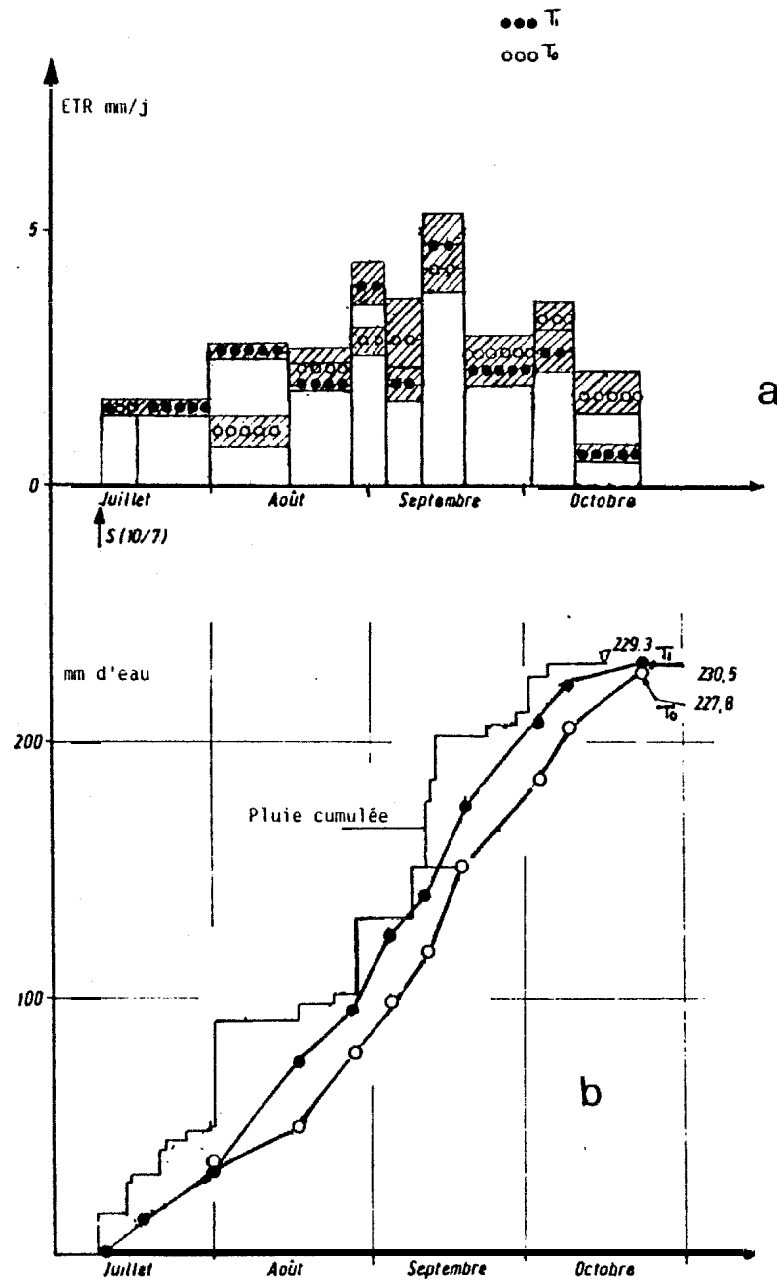
To: Labm + Publication mensuels
T₁: " + " + Pub. org.
3.

Les consommations hydriques journalières (ETR (mm/j)) et cumulées (ETR (mm)) sont respectivement représentées aux figures 24-a et 24-b. Au cours des trois premières semaines suivant le semis, les consommations hydriques journalières sur les deux traitements sont égales et s'élèvent en moyenne à 1.5 mm/j.

Pendant la période allant du 21^e au 70^e jour après le semis on observe après des pluies importantes une consommation hydrique journalière supérieure sur le traitement matière organique. Ces différences de consommation hydrique après de fortes pluies indiquent une meilleure utilisation de l'eau dans le mil se développant sur ce traitement. Vers la fin du cycle végétatif du mil, à partir du 70^e jour après le semis la consommation hydrique sur le traitement T0 est supérieure à celle du traitement T1 (tableau 21) et s'élève en moyenne à 2.3 mm/j (contre 1.5 mm/j. Cette consommation hydrique du mil sur le traitement T0 supérieure en fin de cycle s'expliquerait d'une part, par le fait que durant la période allant du 21^e au 70^e jour après le semis une bonne partie de l'eau a percolé, sur ce traitement, vers les couches de sol comprises entre 1.0 et 2.0m contrairement à ce qui s'est produit sur T1 (figure 22-a) et d'autre part, par suite très probablement d'un développement racinaire très en profondeur le mil arriverait, sur T0, à utiliser l'eau contenue dans ces couches profondes du sol.

Grâce à cette consommation hydrique plus élevée en fin de cycle, le mil, sur le traitement sans matière organique, a finalement une consommation hydrique globale égale à celle du mil se développant sur le traitement matière organique (figure 24-b). Il est cependant important de noter que si les consommations hydriques sont globalement identiques sur les deux traitements et s'élèvent en moyenne à 230 mm, le mil sur le traitement matière

MIL 1984



ARACHIDE 1984

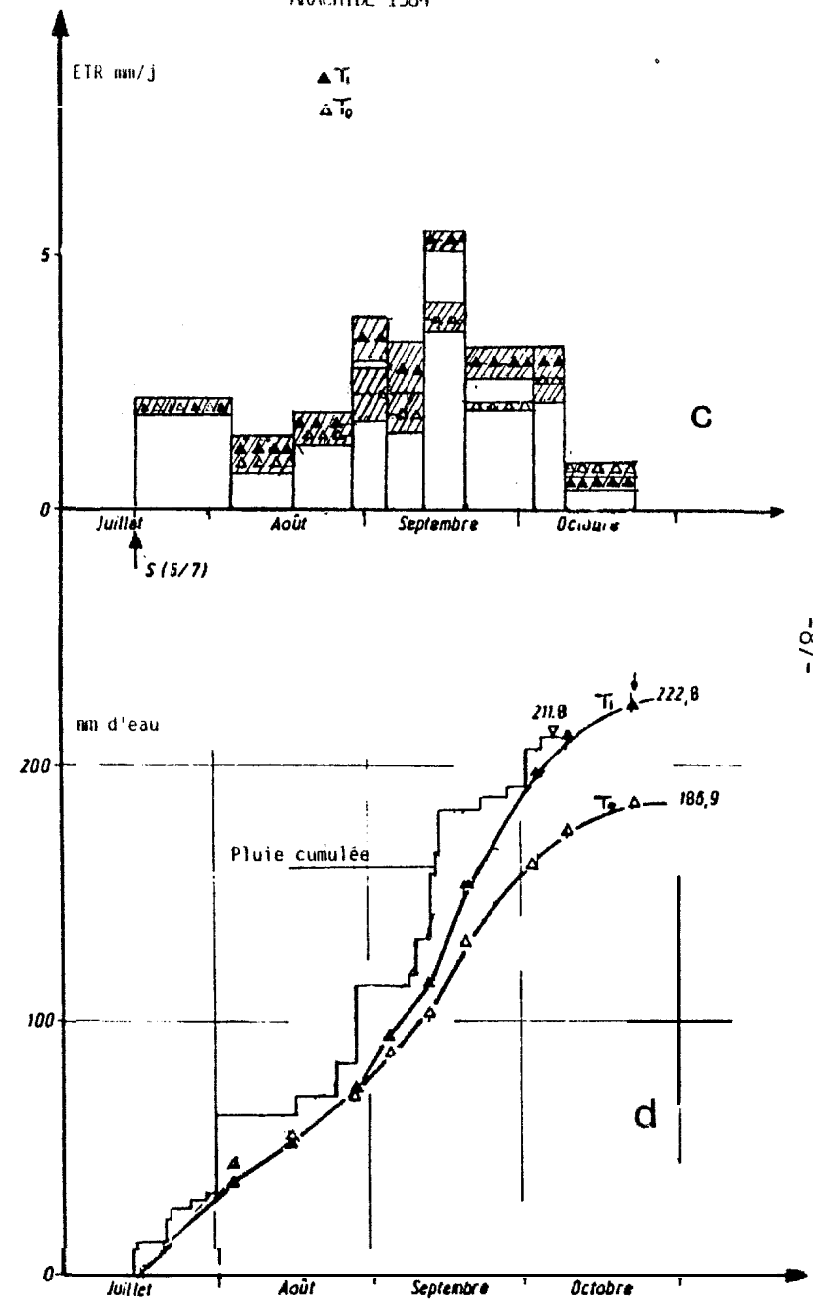


Figure 24 : Consommations hydriques journalières (a et c) et cumulées (b et d) du mil et de l'arachide en 1984

organique a, du **tallage** à la formation des grains, une meilleure alimentation **hydrique**. Toute la pluviométrie utile (semis-récolte) qui est de 226 mm est consommée par le mil comme le montrent les variations du stock hydrique total au cours du cycle de développement du mil (figure 25-b) : le stock hydrique du sol à la récolte étant égal à celui mesuré avant le semis du mil. D'une façon globale, pour des besoins en eau estimés à 530 mm environ, la consommation hydrique du mil sur les deux traitements accuse un déficit très important avec un taux moyen de satisfaction de ses besoins en eau de l'ordre de 40%.

3.2.2- Bilan de consommation hydrique sous culture d'arachide.

Les consommations hydriques journalières (ETR (mm/j) mesurées du semis (15/7/1984) à la récolte (23/10/1984) et cumulées sont représentées aux figures 24-c et 24-d.

Pendant environ la première moitié du cycle végétatif, les consommations hydriques journalières de l'arachide sur les deux traitements sont équivalents (tableau 22) et, en moyenne, sont de 1.5 mm/j. A partir de **la mi-cycle** et jusqu'au 80e jour **après** le semis, l'arachide se développant sur le traitement avec matière organique a une consommation hydrique journalière supérieure à **celle** du traitement sans **matière organique**. Les différences de consommation les plus importantes sont observées entre le 50e et le 80e jour après le semis. Durant cette période, les **consommations** hydriques journalières de l'arachide sur le traitement **matière organique**, **sont** en moyenne de 40% plus élevées que celles mesurées sur le traitement TO. Vers la fin du cycle, à partir du 80e jour après le semis, les consommations hydriques journalières sont identiques sur les deux traitements.

Les **consommations** hydriques cumulées (figure 24-d) sont respectivement de 187 ± 6 mm et 223 ± 3 mm sur les traitements TO et T1, pour une pluviométrie utile (semis-récolte) égale à 212mm. Pratiquement toute la quantité d'eau tombée entre le semis et la récolte a été consommée par l'arachide sur le traitement matière organique pour lequel on peut observer à **la figure 25-c**, que le stock hydrique total final (à la récolte) est égal à celui mesuré avant le semis. Par contre, sur le traitement sans matière organique, il reste à la récolte un stock d'eau de 30mm environ.

PERIODE (J.A.S)	ETM (mm/j)	To		T1		Valeur de t
		ETR(mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}(\%)$	ETR(mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}(\%)$	
0 - 7	1.85	1.50 ± 0.10	81	1.50 ± 0.10	81	0.0 (NS)
7 - 21	2.77	1.54 ± 0.10	56	1.53 ± 0.12	55	0.1 (NS)
21 - 37	4.69	1.00 ± 0.30	21	2.60 ± 0.15	55	6.73 (S)
37 - 49	7.92	2.30 ± 0.20	29	2.20 ± 0.16	28	0.55 (NS)
49 - 56	8.36	2.80 ± 0.40	33	3.90 ± 0.45	47	2.58 (NS)
56 - 63	5.70	2.80 ± 0.80	49	2.00 ± 0.40	35	1.26 (NS)
63 - 71	6.71	4.20 ± 0.50	65	4.70 ± 0.55	72	0.95 (NS)
71 - 85	4.56	2.50 ± 0.25	55	2.25 ± 0.40	49	0.75 (NS)
85 - 91	4.07	3.25 ± 0.50	80	2.60 ± 0.40	64	1.43 (NS)
91 - 98	4.68	1.73 ± 0.47	37	0.72 ± 0.13	15	2.43"
98 - 105	4.94	1.71 ± 0.30	35	0.47 ± 0.30	10	4.13*
Cycle (semis- récolte)	ETM(mm) 527.9	ETR(mm) 227.8 ± 8.0	43	ETR(mm) 230.5 ± 3.0	44	0.49 (NS)

Tableau 21 : Consommations hydriques journalières (mm/j) et cumulées (mm) et taux de satisfaction (%) des besoins en eau du mil-1984- J.A.S : Jour après semis - semis : 10/7/1984 - récolte : 23/10/1984

Période (J.A.S)	ETM (mm/j)	To		T1		Valeur de t
		ETR (mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}(\%)$	ETR (mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}(\%)$	
0 - 20	3.67	2.20 ± 0.05	60	2.00 ± 0.15	55	2.25 (NS)
20 - 32	5.81	0.97 ± 0.03	17	1.07 ± 0.31	18	0.45 (NS)
32 - 44	6.12	1.43 ± 0.22	23	1.68 ± 0.16	27	1.30 (NS)
44 - 51	6.08	2.34 ± 0.28	38	3.40 ± 0.35	56	3.35*
51 - 58	4.56	1.89 ± 0.43	42	2.80 ± 0.53	61	1.89 (NS)
58 - 66	5.25	3.83 ± 0.32	72	5.30 ± 0.07	100	6.36**
66 - 80	3.50	2.05 ± 0.04	59	2.90 ± 0.32	83	3.73*
80 - 86	3.58	2.53 ± 0.40	70	3.00 ± 0.43	84	1.13 (NS)
86 - 93	4.68	0.71 ± 0.44	15	0.36 ± 0.10	14	1.10 (NS)
93 - 100	4.94	0.74 ± 0.36	15	0.76 ± 0.14	15	0.07 (NS)
Cycle (semis- récolte)	ETM(mm/j) 470.9	ETR(mm) 186.9 ± 6.5	40	ETR(mm) 222.6 ± 3.0	47	7.05 (S)

Tableau 22-a : Consommations hydriques journalières (mm/j) et cumulées (mm) et taux de satisfaction (%) des besoins en eau de l'arachide - 1984 - semis : 15/7/1984 - Récolte : 22/10/1984 J.A.S. : Jour après semis - t (variable de student) = 2.776 à P = 0.05 et 4.604 à P = 0.01 NS : non significatif à P = 0.05 - * : significatif à P = 0.05 ** : significatif à P = 0.01

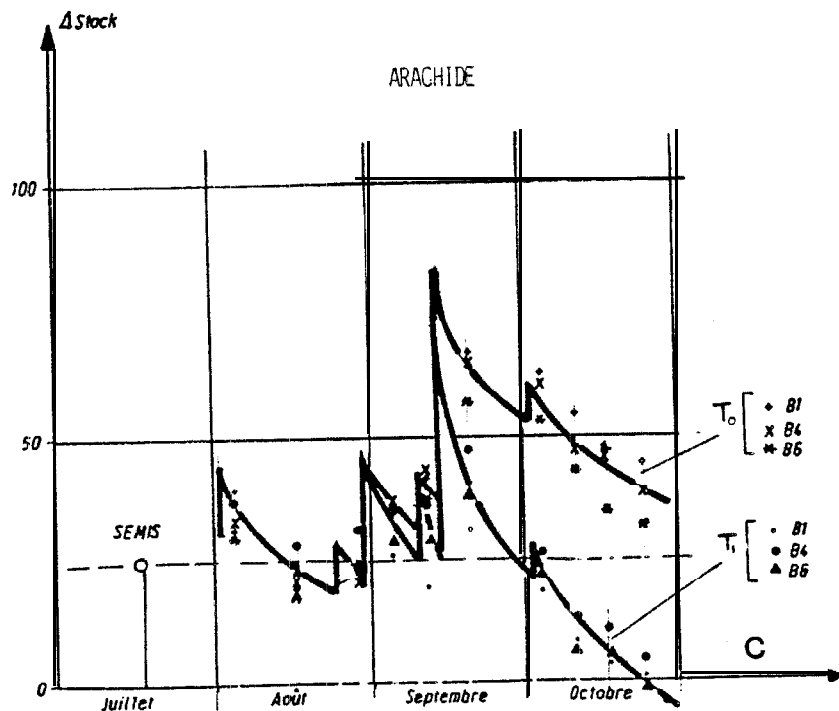
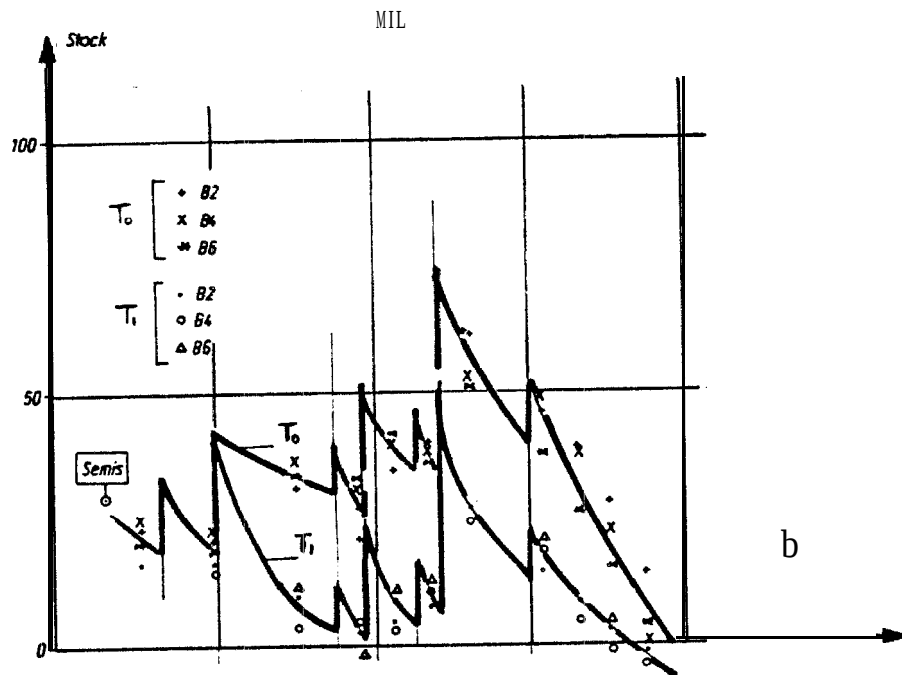
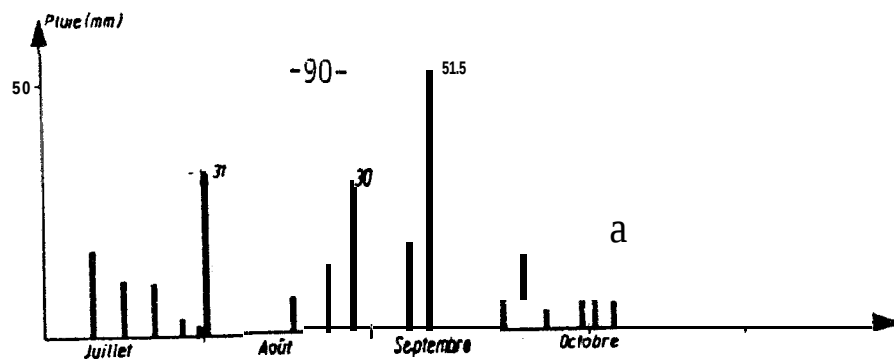


Figure 25 : Pluviométrie (a) et variations du stock hydrique total du sol entre le semis et la récolte du mil (b) et de l'arachide (c) en 1984

Contrairement au mil, la consommation hydrique globale de l'arachide, sur le traitement matière organique, est supérieure à celle du traitement sans matière organique.

Les valeurs du taux de satisfaction des besoins en eau (tableau 22) montrent, sur le traitement matière organique, une alimentation hydrique satisfaisante entre le 50e et le 85e jour après le semis (taux de satisfaction égal en moyenne à 80%) et très déficitaire dans la première moitié du cycle végétatif (taux de satisfaction égal en moyenne à 39%). Sur le traitement sans matière organique, l'alimentation hydrique de l'arachide est en général très mauvaise : en moyenne 35 et 46% de taux de satisfaction des besoins en eau respectivement au cours de la première et de la seconde moitié du cycle de la plante.

3.2.3- Estimation du drainage sous mil et sous arachide

Sous le traitement matière organique, le drainage au-delà du front racinaire est nul sous culture de mil comme sous arachide (tableau 22-b).

Dates	MIL		ARACHIDE	
	T0	T1	T0	T1
19/9	0	0	8.1 ± 6.1	0
3/10	0	0	19.6 ± 6.6	0
9/10	0	0	21.5 ± 6.2	0
16/10	0	0	22.9 ± 7.1	0
23/10	0	0	24.8 ± 6.8	0

Tableau 22-b : Drainage cumulé (mm) sous culture de mil à Z = 1.8m et d'arachide à Z = 1.5m - 1984

Sous le traitement sans matière organique, le drainage est nul sous culture de mil et il s'élève à 25mm sous culture d'arachide.

Ces résultats montrent d'une part l'effet positif de la matière organique sur les pertes hydriques par drainage au-delà du front racinaire de l'arachide et confirment ce qui a été observé en 1983, à savoir, l'absence de drainage sous le traitement T1. D'autre part, ils mettent en évidence un effet de la culture sur le drainage. En effet, sans matière organique le drainage sous arachide est plus important que celui sous mil (25mm contre 0mm sur le traitement T0).

3.3- Bilan hydrique sous culture de mil et d'arachide en 1985

Les figures 26-a à 26-d représentent les profils hydriques relevés au maximum du stock hydrique du sol (le 29/8/1985) et aux figures 27-a et 27-b sont représentées respectivement la pluviométrie enregistrée entre le semis et la récolte et les cinétiques d'humectation du sol sous les deux cultures.

On observe aux figures 26-a et 26-b une dispersion relativement importante de la teneur en eau du sol respectivement entre 1.9-2.4m et entre 1.5-2.0m. Cette dispersion est probablement liée à l'incertitude sur la mesure en présence du front d'humectation (figure 27-b). Par ailleurs les profils hydriques, au maximum du stock d'eau du sol, présentent peu de différence sous culture d'arachide contrairement à ce qu'on observe sous culture de mil. Cette remarque est bien illustrée à la figure 27-b où on peut noter qu'à cette date le front d'humectation est respectivement à 1.9 et 2.20m sous arachide sur les deux traitements TJ et TO alors que sous culture de mil le front est respectivement à 2.1 et 3.7m sur T1 et T0.

Enfin, en comparant les figures 23-b et 27-b, on constate qu'en 1985, le sol a été humidifié beaucoup plus profondément sous les deux cultures. Ceci résulterait probablement plus des différences dans la répartition pluviométrique que des pluviométries utiles enregistrées en 1984 et 1985. En effet, pendant les périodes allant du 9 au 12/9/1984 et du 19 au 29/8/1985 à la fin desquelles le maximum du stock hydrique total du sol est atteint ces deux années, les pluviométries s'élèvent respectivement à 70 et à 160 mm.

3.3.1- Bilan de consommation hydrique sous culture de mil

Les consommations hydriques journalières (mm/j) et cumulées mesurées entre le semis et la récolte sont représentées aux figures 28-a et 28-b. Sous le traitement sans matière organique, il se produit des

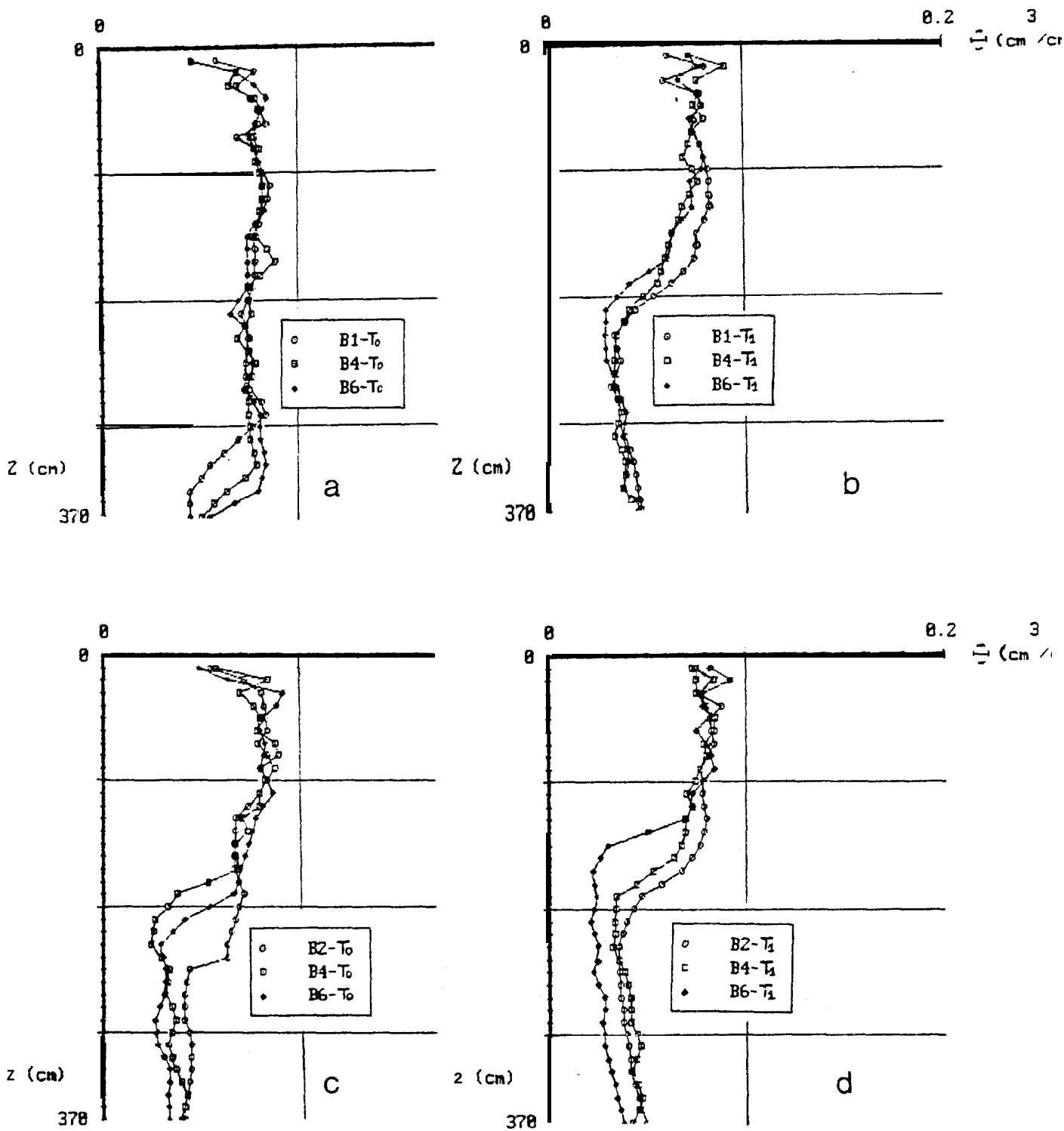


Figure 26 : Profils hydriques mesurés au maximum du stock hydrique du sol (20/8/1985) sous mil (a et b) et sous arachide (c et d)

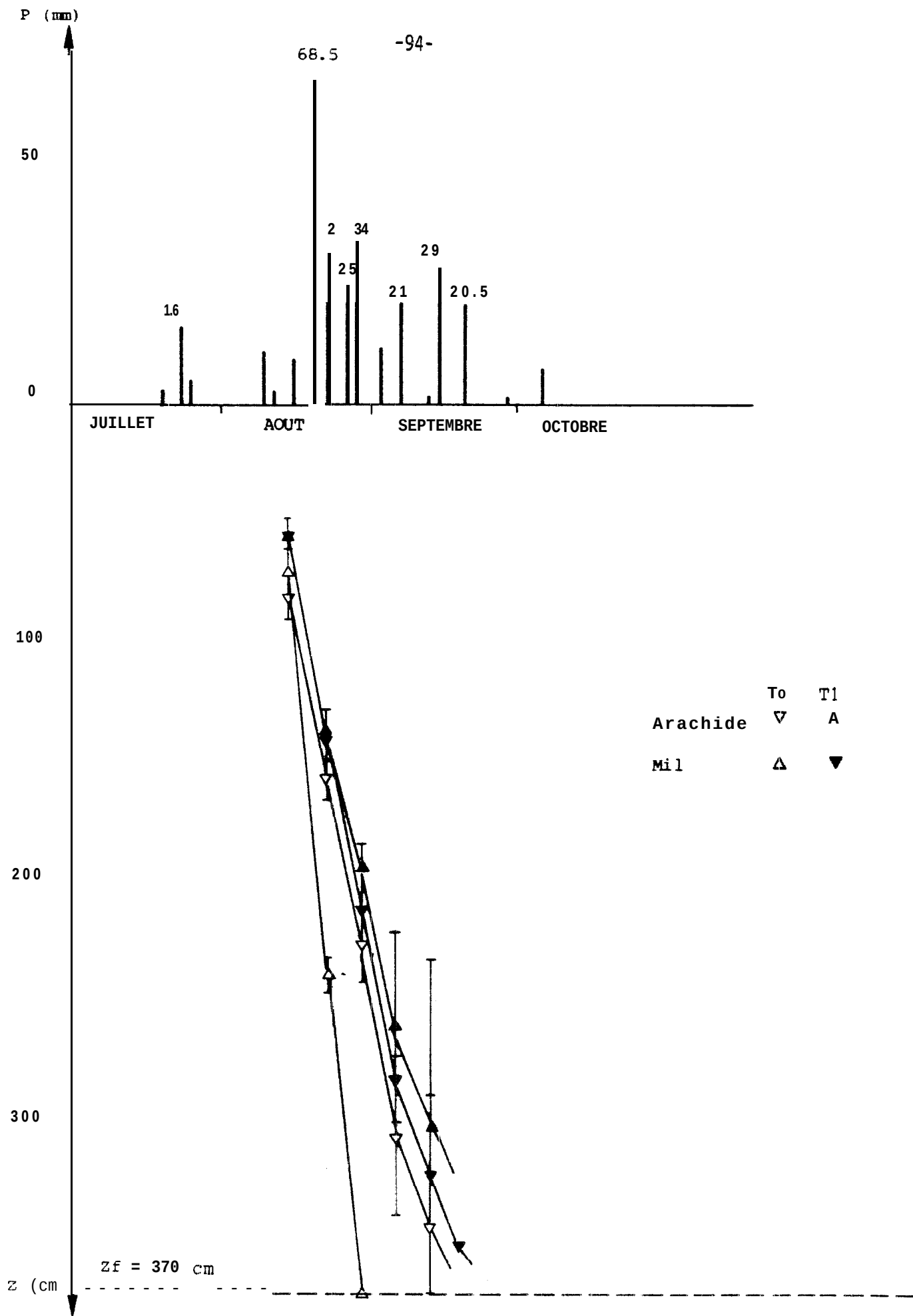


Figure 27 : Pluviométrie (a) et profils d'humectation du sol (b) sous les
 deux cultures en 1994

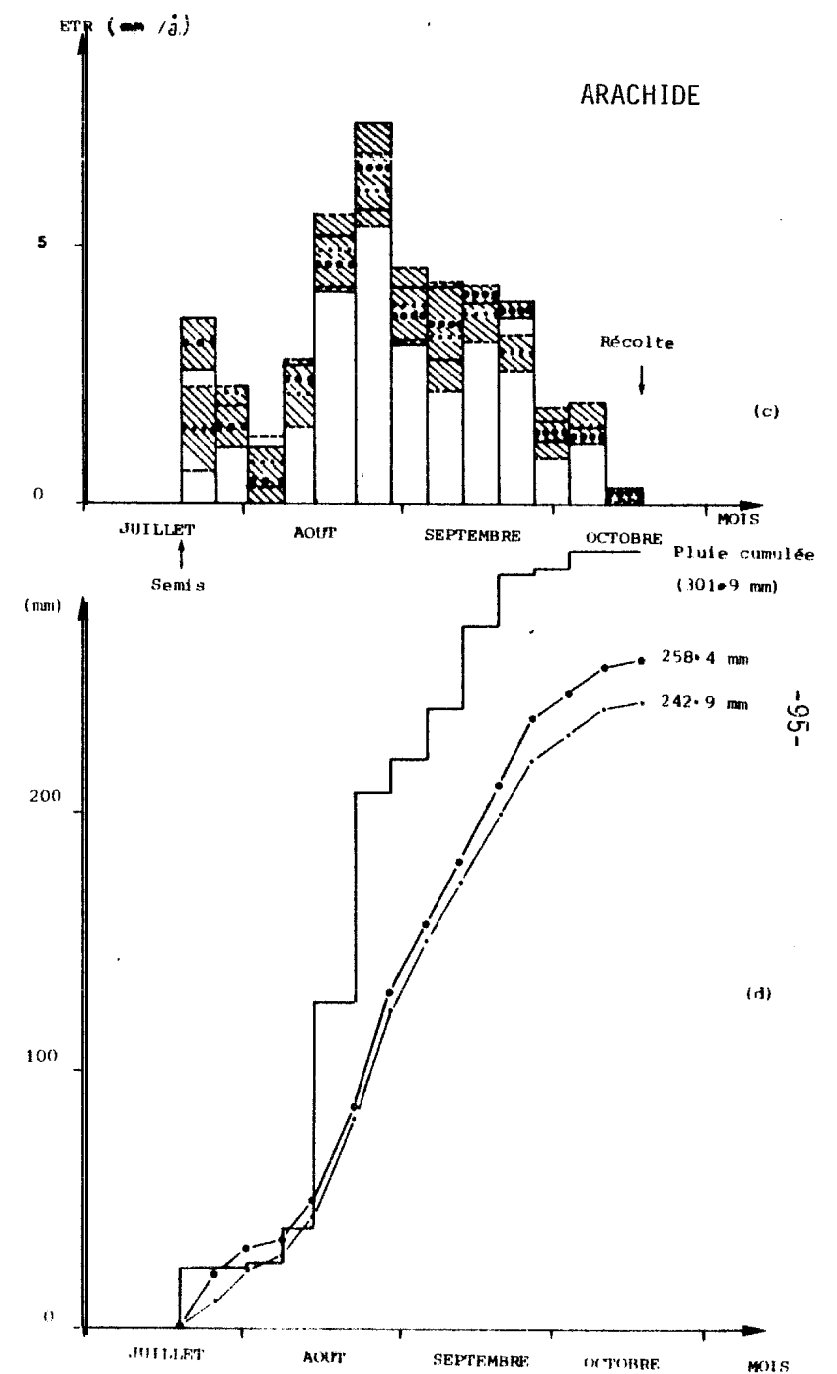
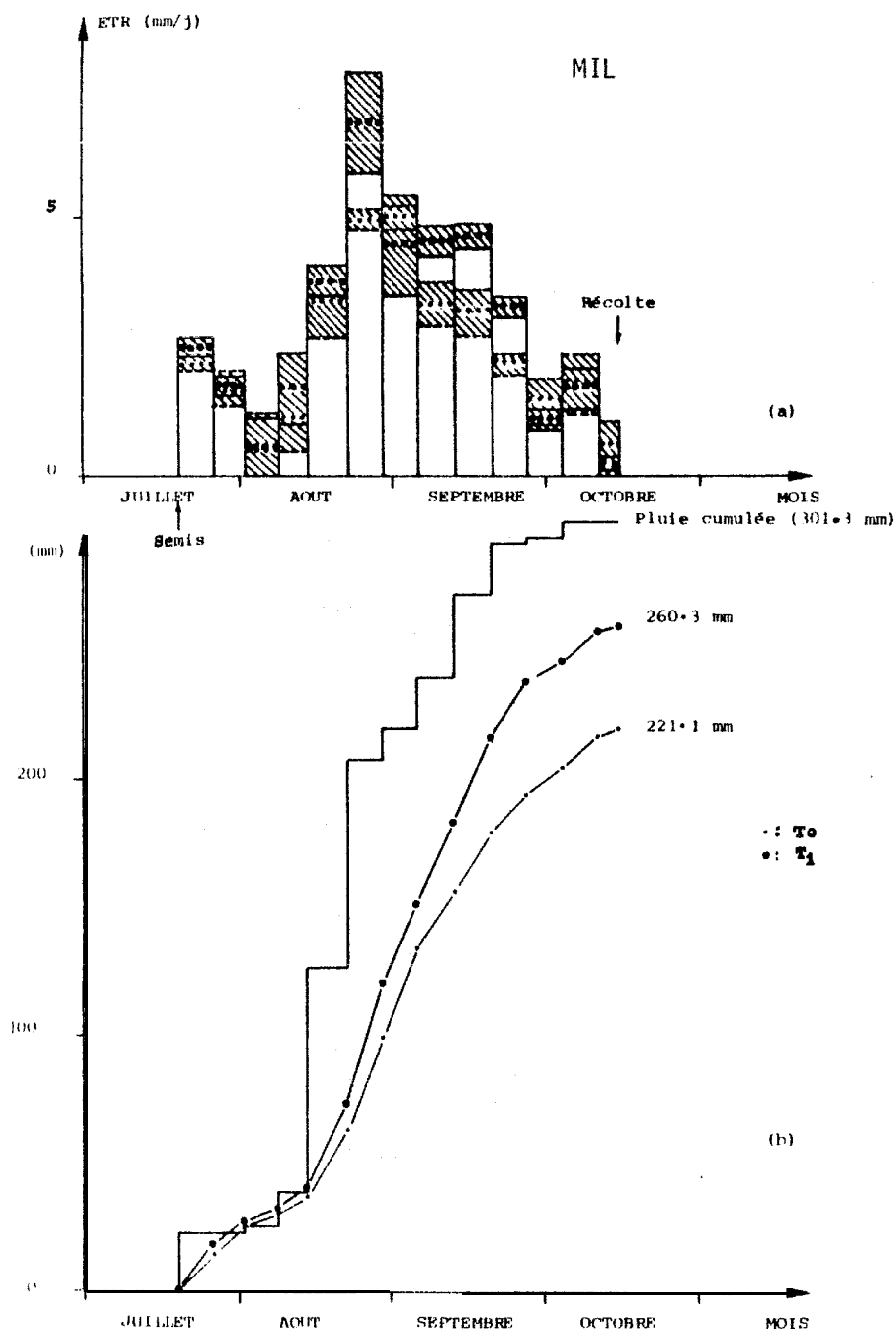


FIGURE 28 : CONFORMATIONS HYDRIQUES JOURNALIÈRES (28-a, 28-c) ET CUMULÉES (28-b, 28-d) du MIL et de l'arachide - 1985

percolations hydriques à la base de tube d'accès à partir du 22/8/1985. Celles-ci n'interviennent, sur le traitement T1 qu'à partir du 12/9/85. Les valeurs moyennes du gradient de charge hydraulique à $Z = 1.8m$ calculées à partir du 22/8/85 sont reportées au tableau 24. Elles ont été utilisées pour le calcul du drainage à la cote $Z = 1.8m$ pendant les périodes de percolations hydriques à la base des tubes d'accès.

On peut observer au tableau 23 (où figurent les valeurs de l'ETM et des taux de satisfaction des besoins en eau) que les consommations hydriques (mm/j) calculées pendant les périodes 0-7e jour après semis sur les deux traitements et 34-41e jour après semis sur le traitement 7'1 sont supérieures aux valeurs de l'ETM. Ces valeurs de l'ETR sont donc surestimées. Cela pourrait résulter d'une part, d'une sous-estimation de l'ETM qui, rappelons-le est calculé à partir des valeurs de demande évaporative mesurées à Bambey et corrigées par un facteur multiplicatif, (c'est probablement le cas pour la période 0-7 jours après le semis où la pluviométrie n'est que de 23.5 mm). D'autre part, pour la période 34-41e jour après le semis où la pluviométrie est de 91.5mm, la surestimation de l'ETR pourrait résulter d'un ruissellement localisé autour des tubes d'accès qui ferait que la quantité d'eau réellement infiltrée dans le sol est inférieure à 91.5mm, valeur prise pour le calcul de l'ETR.

La comparaison des valeurs des consommations hydriques journalières (tableau 23) montre des différences significatives entre le 48e et le 69e jour après le semis ; cette période correspond à la floraison et au début de formation des grains. Pendant la phase végétative (levée-épiaison), on n'observe pas entre les deux traitements de différence significative sur les consommations hydriques journalières de la plante.

Sur les deux traitements, entre 13e et le 26e jour après le semis, l'alimentation hydrique du mil accuse un déficit important, le taux de satisfaction de ces besoins en eau n'est en moyenne que de 27 et 36% respectivement sur les traitements T0 et T1. A partir du 69e jour après le semis, on observe également de très faibles taux de satisfaction des besoins en eau du mil.

D'une façon globale, alors que les besoins en eau sont estimés à 403 mm environ (tableau 23), les consommations globales ne s'élèvent, respectivement sur les deux traitements T0 et T1, qu'à 221 et 260mm, soit des taux moyens de satisfaction respectivement égaux à 55 et 65%. Bien que sur le

Période (J.A.S.)	ETM (mm/j)	To		T1		Valeur de t
		ETR (mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}(\%)$	ETR (mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}(\%)$	
0 - 7	1.69	2.22f0.14	100	2.46 CO.26	100	1.15 (NS)
-7 - 13	2.07	1.69 ± 0.35	82	1.73 ± 0.19	84	0.14 (NS)
13 - 20	3.00	0.51 ± 0.70	17	0.57 ± 0.53	19	0.10 (NS)
20 - 26	3.22	1.18 f0.63	37	1.71 ± 0.73	53	0.78 (NS)
26 - 34	4.10	3.41 ± 0.67	83	3.79 ± 0.34	92	0.71 (NS)
34 - 41	5.82	5.04t0.21	87	6.90 ± 1.05	100	2.46 (NS)
41 - 48	5.12	5.06 f1.24	99	4.52 ± 1.12	88	0.46 (NS)
48 - 55	5.39	3.35 ± 0.39	62	4.58 ± 0.29	85	3.58*
55 - 62	6.88	3.20 ± 0.46	47	4.67 ± 0.24	68	4.00*
62 - 69	4.83	2.20 ± 0.20	46	3.26 ± 0.22	67	5.05**
69 - 76	5.34	1.46 ± 0.48	27	1.09 t0.20	20	1.00 (NS)
76 - 83	6.00	1.74 ± 0.63	29	1.73 '0.35	29	0.02 (NS)
83 - 88	5.89	0.62 ± 0.55	11	0.17 '0.17	3	1.11 (NS)
Cycle (semis- récolte)	ETM(mm) 402.5	ETR(mm) 221.1 ± 14.1	55	ETR(mm) 260.3 ± 13.3	65	2.86*

Tableau 23 : Consommations hydriques journalières (mm/j) et cumulées (mm) et taux de satisfaction (en %) des besoins en eau du mil-1985-
J.A.S : jour après semis - t (variable de student) = 2.776
à P = 0.05 et 4.604 à P = 0.01
NS : non significatif à P = 0.05 - * : significatif à P = 0.05
** : significatif à P = 0.01
semis : 19/7/1985 - Récolte : 14/10/1985

PERIODE	To			T1		
	BI	BIV	BVI	BI	BIV	BVI
22 - 29/8			- 0.89			-
29 - 5/9	- 0.78	- 0.76	- 0.84	- 0.95	- 0.90	- 0.86
5 - 12/9	- 0.81	- 0.78	- 0.82	- 0.67	- 0.77	- 0.70
12 - 19/9	- 0.84	- 0.98	- 0.88	- 0.67	- 0.79	- 0.70
19 - 26/9	- 1.05	- 0.98	- 1.07	- 0.74	- 0.80	- 0.60
26 - 3/10	- 1.25	- 1.09	- 1.01	- 0.61	- 0.91	- 0.58
3 - 10/10	- 1.52	- 1.21	- 0.85	- 0.70	- 0.93	- 0.72
10 - 14/10	- 1.36	- 1.14	- 0.83	- 0.84	- 0.90	- 0.78

Tableau 24 : Gradient de charge hydraulique à Z = 1.80 m sous culture de mil- pendant les périodes de percolation hydrique à la base du tube d'accès - 1985.

traitement **matière** organique, la consommation hydrique est significativement **supérieure** à celle mesurée sur le traitement TO, l'alimentation hydrique du mil sur le traitement Tl accuse un déficit important par rapport à l'optimum.

A la récolte on note (figure 29-b) un stock d'eau résiduel dans tout le profil de sol d'environ **100mm** sous le traitement TO et **50mm** sous Tl.

3.3.2- Bilan de consommation hydrique sous culture d'arachide

Les consommations hydriques journalières et cumulées sont représentées aux figures 28-c et 28-d.

Sous les deux traitements se sont produites (sauf sur BVI-Tl) des percolations hydriques à la base des tubes d'accès, à partir du **12/9/85**. Les valeurs du gradient de charge hydraulique à **Z = 1.50 m**, calculées à partir de cette date jusqu'à la récolte sont présentées au tableau 26.

On observe au tableau 25, comme dans le cas du mil,, des périodes où l'ETR est supérieur à l'ETM ; entre le 26e et le 34e jour après semis et entre le 34e et le 41e jour après le semis où les pluviométries enregistrées sont respectivement de 78.5 et **91.5mm**, il y a eu probablement du ruissellement localisé autour des tubes d'accès. Entre le 62e et le 69e jour après semis, période où la pluviométrie est de 19.5 mm et où l'ETR calculé sur Tl est supérieur à l'ETM, on peut penser que l'évapotranspiration maximale est très légèrement sous estimée,

Entre les deux traitements les consommations hydriques journalières calculées ne présentent pas en général de différences significatives (tableau 25).

Les taux de satisfaction des besoins en eau montrent deux périodes où l'alimentation hydrique de l'arachide est insuffisante ; en début de cycle, entre le 7e et le 26e jour après semis, où le taux de satisfaction des besoins en eau est en moyenne de 44 et 37% respectivement sur TO et Tl et en fin de cycle, à partir du 69e jour après semis où ce taux est environ de 20% sur les deux traitements. En dehors de ces deux périodes, le taux de satisfaction des besoins en eau de l'arachide est en moyenne supérieur à 80%.

PERIODE (J.A.S)	ETM (mm/j)	T0		T1		Valeur de t
		ETR (mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}$ (%)	ETR (mm/j)	$\frac{ETR}{ETM}$ (%)	
0 • 7	2.48	1.48 ± 0.78	60	3.10 ± 0.49	100	2.49 (NS)
7 • 13	3.45	2.11 ca.19	61	1.49ro.42	43	1.90 (NS)
13 • 20	4.54	0.85 ± 0.51	19	0.45 ± 0.59	10	0.73 (NS)
20 • 26	4.13	2.17 CO.59	53	2.40 '0.31	58	0.49 (NS)
26 • 34	4.68	4.92 ± 0.57	100	4.67 -0.47	100	0.48 (NS)
34 • 41	4.80	6.10 ± 0.71	100	6.54 '0.83	100	0.57 (NS)
41 • 48	3.81	3.89 ± 0.71	100	3.67-0.62	96	0.33 (NS)
48 • 55	3.92	3.25 ± 1.18	a3	3.50 ± 0.68	a9	0.26 (NS)
55 • 62	5.11	3.70 ± 0.55	72	4.10 ± 0.18	80	0.98 (NS)
62 • 69	3.52	2.98 ± 0.33	a5	4.79 ± 0.15	100	3.16*
69 • 76	3.95	1.41 CO.52	36	1.46x0.17	37	0.13 (NS)
76 • 83	4.76	1.58 ± 0.41	33	1.35 ± 0.14	28	0.75 (NS)
a3 • 91	5.17	0.15 ± 0.01	3	0.22 ± 0.14	b	0.71 (NS)
Cycle (semis- récolte)	ETM(mm)	ETR(mm)		ETR(mm)		
	382.5	242.9 ± 27.3	64	258.4 ± 13.4	68	0.72 (NS)

Tableau 25 : Consommations hydriques journalières (mm/j) et cumulées (mm)
et taux de satisfaction (%) des besoins en eau de l'arachide • 1985 •
J.A.S : jour après semis • t(variable de student) = 2.776 à P = 0.05
et 4.604 à P = 0.01
NS : non significatif à P = 0.05 * : significatif à P = 0.05
Semis : 19/7/1985 • Récolte : 17/10/1985

PERIODE	T0			T1		
	BII	BIV	BVI	BII	BIV	BVI
12 • 12/9	- 0.86	• 0.54	• 0.70	- 0.56	- 0.93	n.d
19 • 26/9	- 0.88	• 0.41	• 0.73	- 0.55	- 0.74	n.d
26 • 3/10	- 0.88	- 0.48	- 0.74	• 0.57	- 0.63	n.d
3 - 10/10	- 0.91	- 0.46	- 0.63	• 0.53	• 0.65	n.d
10 - 17/10	- 0.94	- 0.48	- 0.60	- 0.51	- 0.61	n.d

Tableau 26 : Gradient de charge hydraulique à Z = 1.50 m sous culture
d'arachide pendant les périodes de percolation hydrique à la
base du tube d'accès • 1985 •
n.d : non déterminé (pas de percolation à la base du tube d'accès)

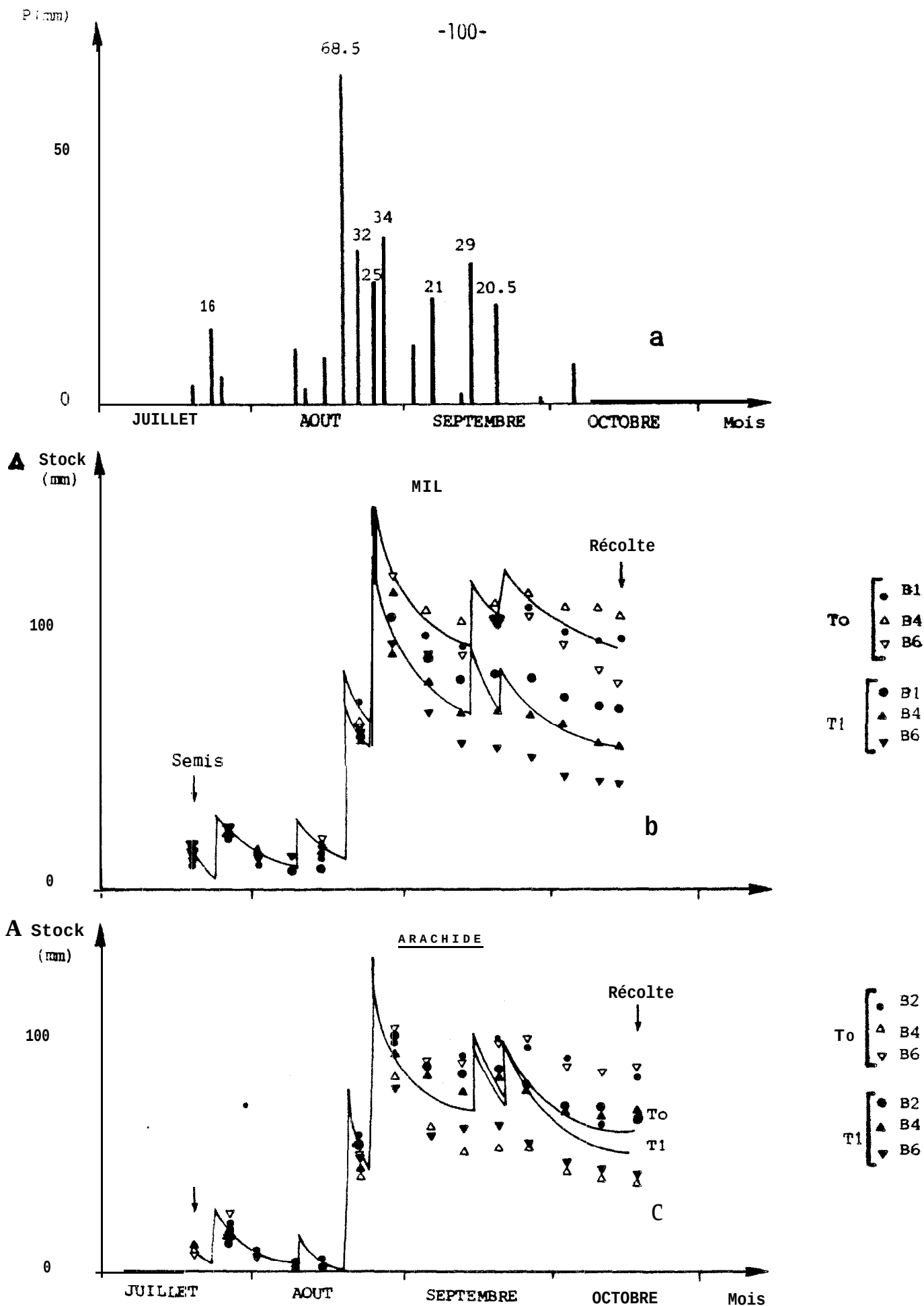


Figure 29 : Pluviométrie (a) et variations du stock hydrique total du sol entre le semis et la récolte du mil (b) et de l'arachide (c)

Pour des besoins en eau estimés à 380mm environ et une pluviométrie utile (semis-récolte) de 300mm, les consommations hydriques de l'arachide sur les deux traitements TO et T1 sont égales et s'élèvent respectivement à 243 et 258mm. Les variations du stock hydrique total du sol (figure 29-c) montrent un stock d'eau résiduel, sous les deux traitements, d'environ 60mm.

3.3.3- Estimation du drainage sous mil et arachide

Les valeurs du drainage cumulé obtenues sous culture de mil et d'arachide sont présentées aux tableaux 27 et 28.

Sous culture de mil, contrairement à ce qu'on avait observé en 1984, le drainage au-delà du front racinaire est relativement important. Il s'élève environ à 40mm sous T1 et à 90mm sous TO ce qui représente respectivement 17 et 21% de la pluviométrie enregistrée entre le semis et la récolte du mil. On observe cependant une réduction importante des pertes hydriques par drainage due à la matière organique.

Sous culture d'arachide, les pertes hydriques par drainage s'élèvent environ à 50mm et à 60mm respectivement sous les traitements TO et T1 ce qui représente 17 et 21% de la pluviométrie utile. Entre les deux traitements, il n'y a pas de différence significative sur les pertes hydriques par drainage.

L'importance du drainage observée cette année résulte de la répartition pluviométrique. En effet, la moitié de la pluviométrie utile est tombée entre le 14 et le 29/8/85 et le drainage, sous les deux cultures et sous les deux traitements, a commencé dans cette période. Au 5/9/85 sa valeur cumulée représente 75% du drainage total mesuré sous les cultures.

DATES	To	T1	t
22/8	17 ± 3.7	0.73 ± 1.3	5.87**
29/8	47.8 ± 1.9	9.4 ± 3.2	14.59**
5/9	69.9 ± 8.7	33.1 ± 8.2	4.35*
12/9	76.9 ± 8.9	37.9 ± 10.4	4.03"
19/9	80.8 ± 8.4	39.8 ± 6.9	5.33**
26/9	84.2 ± 7.4	40.7 ± 7.9	5.68**
3/10	88.2 ± 6.3	41.1 ± 8.4	6.34**
10/10	92.3 ± 6.8	41.5 ± 8.8	6.46**
14/10	94.4 ± 7.2	41.7 ± 8.9	6.51**

Tableau 27 : Drainage cumulé à la côte Z = 1.8 m sous culture de mil - 1985 - t (variable de student) = 2.776 à P = 0.05 ; et 4.604 à P = 0.01
 * : significatif à P = 0.05
 ** : significatif à P = 0.01

DATES	To	T1	t
29/8	23.7 ± 9.2	11.6 ± 10.3	1.24 (NS)
5/9	50.2 ± 9.9	35.8 ± 18.2	0.98 (NS)
12/9	57.3 ± 10.2	44.3 ± 16.3	0.96 (NS)
19/9	60.3 ± 12.1	46.0 ± 18.1	0.93 (NS)
26/9	61.4 ± 13.6	47.7 ± 17.7	0.87 (NS)
3/10	62.2 ± 15.5	48.4 ± 18.7	0.80 (NS)
10/10	63.4 ± 16.2	50.0 ± 17.7	0.79 (NS)
17/10	64.4 ± 16.6	50.5 ± 18.4	0.80 (NS)

Tableau 28 : Drainage cumulé à la côte Z = 1.5 m sous culture d'arachide 1985
 t (variable de student) = 2.776 à P = 0.05, et 4.604 à P = 0.01
 NS : non significatif à P = 0.05

CHAPITRE VI

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES PERTES MINÉRALES PAR LIXIVIATION ET LES BILANS MINÉRAUX SOUS CULTURE

La lixiviation, au-delà du front racinaire des plantes des **éléments** minéraux du sol ou de ceux apportés sous forme d'engrais revêt une grande importance du fait des conséquences agronomiques qu'elle peut engendrer. En effet, cette lixiviation est une source de perte d'**éléments fertilisants** pour les plantes ; elle peut donc constituer une limitation pour l'alimentation minérale des plantes et représenter en outre une composante importante du bilan minéral sous culture.

L'entraînement en profondeur des **cations** et en particulier du calcium et du magnésium peut induire une désaturation du complexe d'échange des horizons supérieurs du sol et partant une acidification du sol. Les effets néfastes de cette acidification sur le développement des plantes ont été soulignés par divers auteurs et notamment par C. **PIERI** (1974, 1976).

Les premières études sur les pertes minérales par lixiviation ont été menées au Sénégal par CHARREAU, CHAUVEL et VIDAL (1969). Ces auteurs ont estimé, à l'aide de cases lysimétriques, les pertes minérales par lixiviation sous sol nul et sous culture d'arachide et de mil dans la zone Centre-Nord du Sénégal. Ils ont mis en évidence sous culture d'arachide, des pertes relativement élevées en azote, calcium et magnésium. **PIERI** (1979) a testé à partir de 1977 l'utilisation des cellules de prélèvements de solution du sol dans les conditions pédoclimatiques du Centre-Nord du **Sénégal** et sous culture de mil et d'arachide. Il a conclu au terme de ses travaux que ces cellules étaient des outils assez bien adaptés pour l'estimation des pertes minérales par lixiviation dans les sols sableux de cette zone.

Dans l'étude comparative des deux traitements suivis, on s'est intéressé, d'une part, à l'estimation des pertes minérales par lixiviation **au-**delà des systèmes racinaires du mil et de l'arachide et d'autre part, à

l'évolution comparée de la composition minérale de la solution prélevée à différentes dates au cours du cycle de développement des plantes. Les pertes minérales estimées, sont par ailleurs utilisées pour l'établissement du bilan minéral de la rotation arachide-mil. Ce bilan est, classiquement calculé par la formule.

$$B = A - (E + Q)$$

où B = bilan minéral

A = apports minéraux (engrais, fixation symbiotique, etc...)

E = exportations par les récoltes

Q = pertes minérales par lixiviation

VI.1 • ELEMENTS MINÉRAUX ANALYSES ET ETUDIÉS.

Les solutés qui prédominent, de par leur concentration dans la solution extraite sous culture sont les anions : NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{--} , Cl^- , SO_4^{--} et les cations : Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} , K^+ , Si^{4+} , Fe^{3+} , Al^{3+} . On trouve également des éléments tracés comme le Mn^{++} , le Zn^{++} , le Mo^+ , le Cu^{++} , etc... Parmi les anions, ce sont les nitrates qui présentent les teneurs les plus élevées, 20 à 50 ppm en moyenne, mais on peut observer parfois des teneurs égales ou supérieures à 100 ppm.

La concentration du calcium est la plus élevée (30 à 100 ppm) parmi les cations, celle en sodium est en moyenne de 40 ppm et elle est plus élevée que celle en potassium et en magnésium. Les concentrations en Si, Fe et en Al varient en moyenne respectivement entre 1-4 ppm ; 1-3 ppm et 0.02-0.3 ppm.

Si tous les ions peuvent avoir une importance pour l'étude des cycles géochimiques, seuls les éléments azote - nitrate, potassium, calcium et magnésium ont été l'objet d'un suivi analytique. Ce choix s'explique par l'effet plus important de ces éléments appelés majeurs sur les rendements du mil et de l'arachide. Le phosphore n'a pas été étudié dans la mesure où c'est un élément très peu ou pas lixivié, il est essentiellement confiné dans la couche 0-0.30 mm du sol. Par ailleurs sa concentration est en général inférieure à 0.02 ppm (PIERI, 1979).

VI.2 - VARIATIONS DE LA CONCENTRATION EN ELEMENTS MINERAUX
DE LA SOLUTION PRELEVEE EN COURS DE CYCLE VEGETATIF

Les plantes s'alimentant essentiellement à partir des éléments minéraux en solution dans le sol, on a tenté de suivre, pendant le cycle de développement des plantes, les variations de la concentration en azote-nitrate, calcium, potassium et magnésium de la solution prélevée à différentes côtes dans les zones d'enracinement du mil et de l'arachide. L'analyse et le suivi de ces éléments minéraux ont été faits en 1984 dans le but de mettre en évidence un éventuel effet des traitements sur les teneurs minérales de la solution du sol.

2.1 - Variations des teneurs minérales de la solution du sol
sous culture de mil

L'évolution des concentrations moyennes en azote-nitrate, magnésium, calcium et potassium mesurées aux côtes 0.3, 0.6 et 0.9 m sous le traitement To sont représentées à la figure 30. On n'a pas pu extraire de la solution à la côte Z = 1.8 m car comme le montre la figure 23-b, cette côte n'est atteinte par le front d'humidité qu'en fin de cycle.

Les teneurs minérales décroissent très fortement à partir de la fin du mois d'août, vers le 50^e jour après la levée du mil. Cette baisse est particulièrement importante pour l'azote dont la teneur passe de 30 ppm environ à moins de 5 pptn.

les teneurs en calcium sont toujours plus élevées que celles des autres éléments et elles varient entre 50 et 5 ppm.

Les teneurs en K et en Mg sont en général beaucoup moins variables que celles des deux autres éléments. Les teneurs en K varient entre 20 et 2 ppm ; celles en Mg entre 10 et 1 ppm.

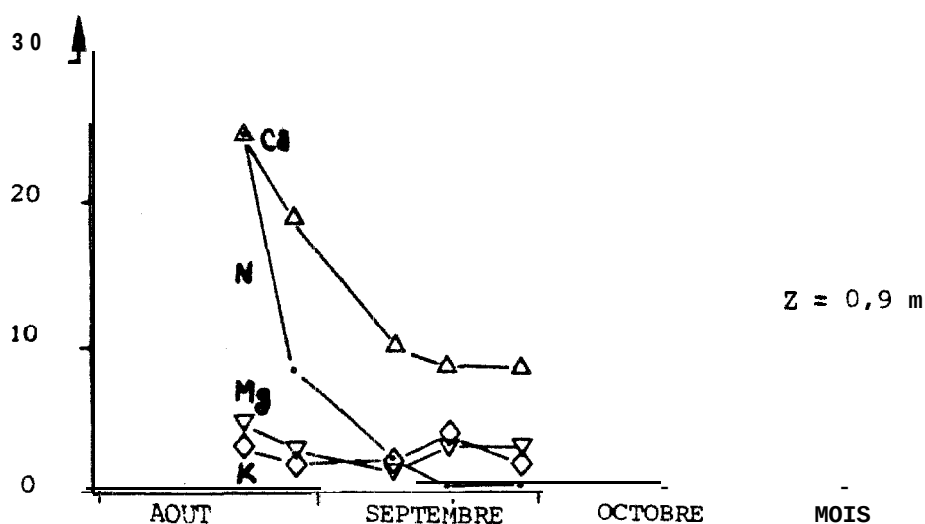
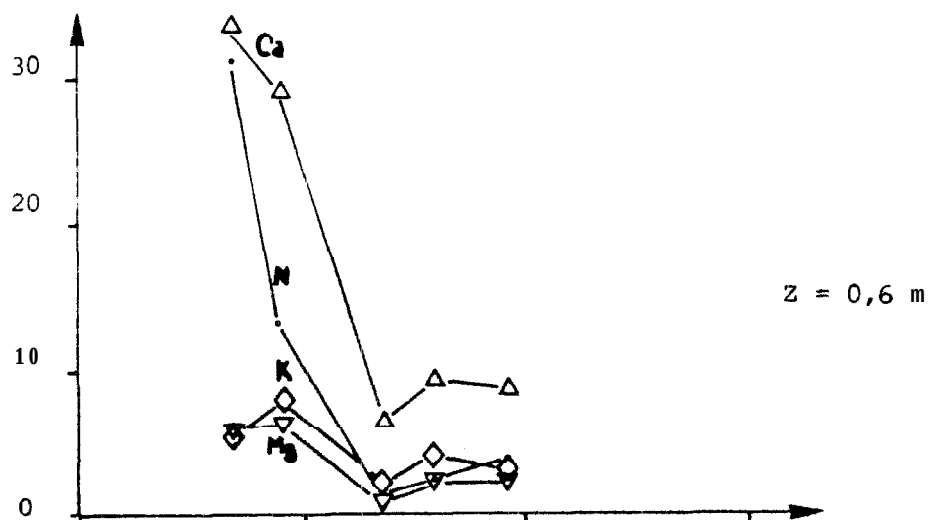
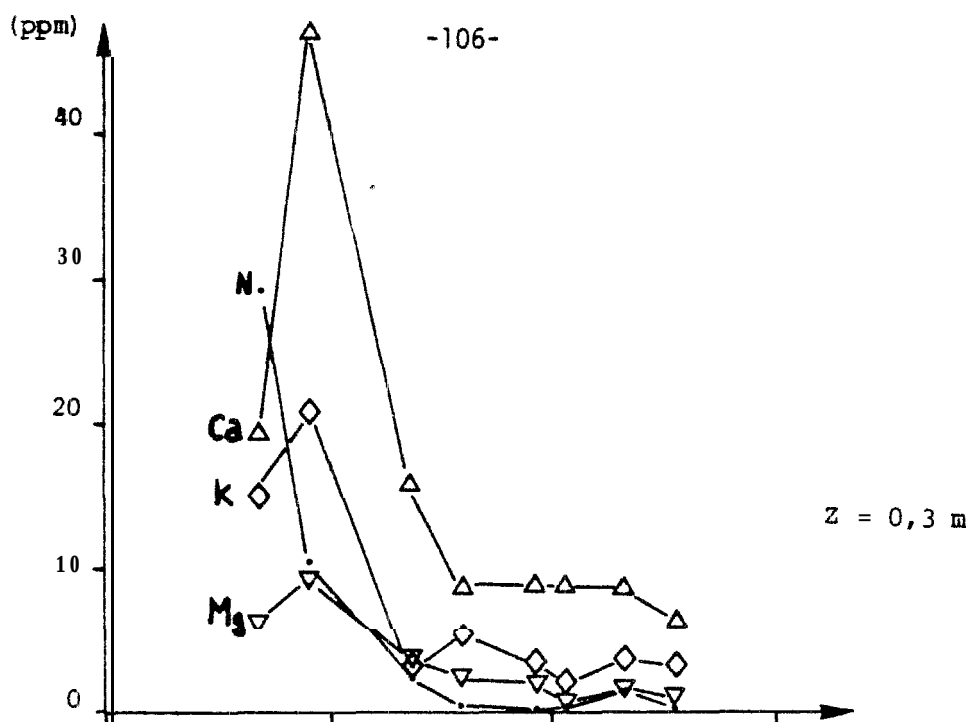


FIGURE 30 : VARIATIONS DE LA CONCENTRATION EN AZOTE (●), Calcium (▲), Magnésium (▼) et potassium (◆) en cours de cycle sous culture de mi l.
Traitement : T0

Sous le traitement avec matière organique, contrairement à ce qui a été observé sous le traitement T0, on n'a pratiquement pas extrait de la solution pendant le cycle de la plante sauf vers le maximum du stock hydrique du sol. Ceci s'expliquerait par la très faible variation sous le traitement T1 de la teneur en eau dans la couche 0-1 m du sol (cf. figure 22-b) qui résulte probablement d'une activité racinaire plus importante sous ce traitement.

2.2 - Variations des teneurs minérales de la solution du sol
sous culture d'arachide

Les variations des concentrations moyennes des mêmes éléments de la solution du sol aux côtes 0.3, 0.6, 0.9 et 1.5 m sont représentées à la figure 31-a. Pour le traitement T1, à partir du 19/9/1984, il n'y a pas de valeurs représentées aux différentes côtes de mesures. Ceci s'explique, à notre avis, pour les côtes 0.9 et 1.5 m, par le fait que sous ce traitement le front d'humectation n'est pas descendu au-delà de la côte 1 m (figure 23-b) ce qui en conséquence n'a pas rendu possible des extractions de solution. Pour les côtes 0.3 et 0.6 m, on note que la teneur en eau du sol est à partir du 19/9/84 très faible sous T1 et nettement inférieure à celle du traitement T0 (tableau 29)

Traite- ments	19/9/84		3/10/84		9/10/84		16/10/84		23/10/84	
	0.3m	0.6m	0.3m	0.6m	0.3m	0.6m	0.3m	0.6m	0.3m	0.6m
T0	5.5±0.3	6.6±0.0	5.2±0.2	4.0±0.4	4.2±0.1	3.9±0.4	2.6±0.2	3.7±0.5	1.8±0.2	3.3±0
T1	4.9±0.7	6.1±0.5	2.4±0.5	2.4±0.3	1.3±0.2	2.2±0.1	0.8±0.1	2.0±0.2	0.5±0.06	1.8±0

Tableau 29 : Teneurs en eau (en %) aux côtes Z = 0.3 et 0.6 m sous les traitements T0 et T1 à partir du 19/9/1984 jusqu'à la récolte (23/10/1984)

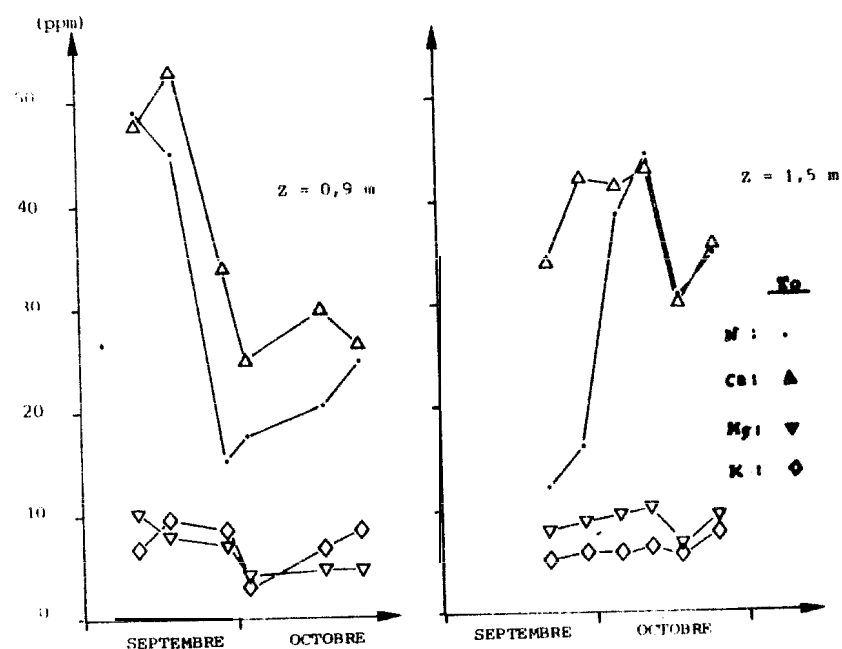
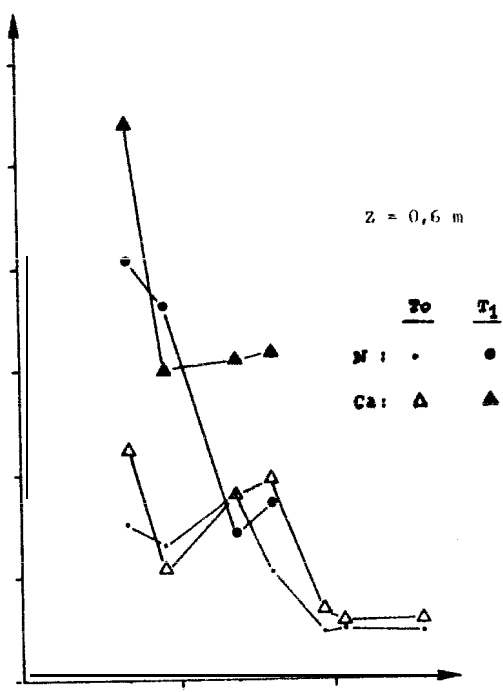
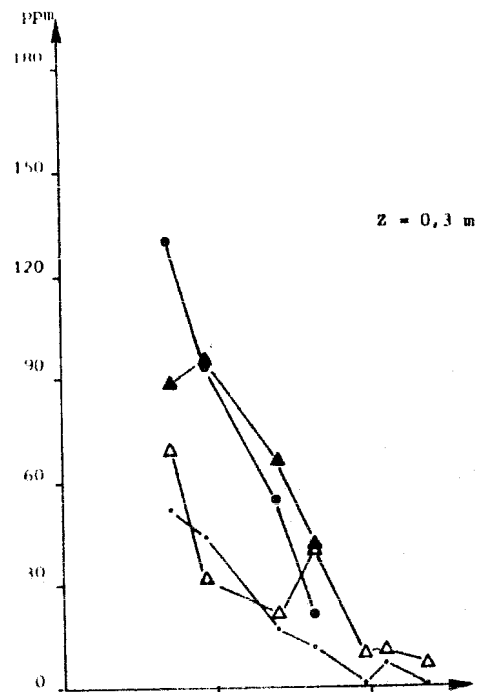


FIGURE 31-a - VARIATIONS DE LA CONCENTRATION EN AZOTE, CALCIUM, MAGNESIUM ET POTASSIUM EN COURS DE CYCLE SOUS CULTURE D'ARACHIDE.

To : N (•) - Ca (▲) - Mg (▼) - K (◆)
T₁ : N (●) - Ca (▲) - Mg (▼) - K (◆)

-103-

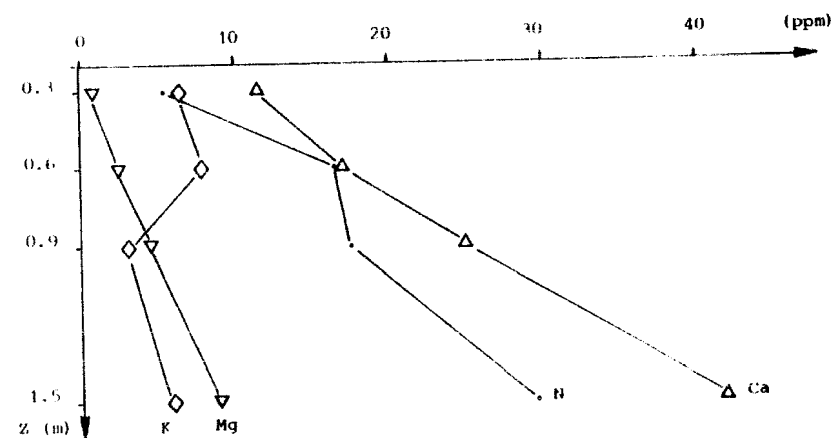
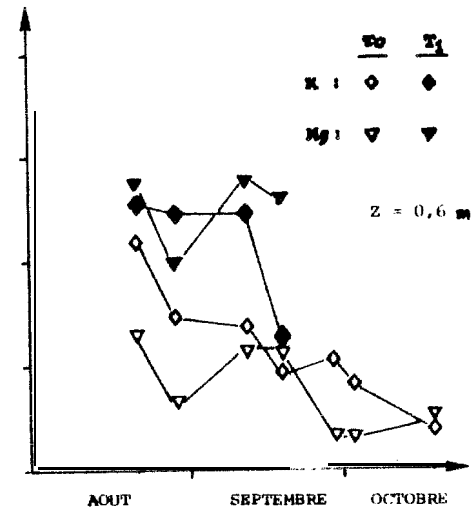
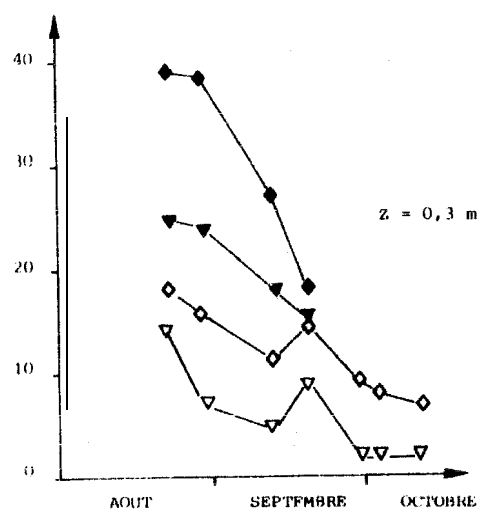


FIGURE 31-b - PROFILS DE CONCENTRATION EN AZOTE, CALCIUM, MAGNESIUM ET POTASSIUM MESURES LE 02.10.84 SOUS CULTURE D'ARACHIDE ET SOUS LE TRAITEMENT To.

Et c'est probablement ces très faibles humidités du sol sous T1 qui expliqueraient qu'on n'ait pas pu extraire à partir du 19/9/1984 de la solution, à ces deux côtes, sous ce traitement.

A la figure 31-a, on peut observer qu'entre le 35e (le 21/8/1984) et le 60e jour après la levée (le 15/9/1984) les teneurs minérales de la solution du sol sous le traitement matière organique aux côtes $Z = 0.3$ et $Z = 0.6$ m sont plus élevées que celles mesurées sous le traitement T0.

Au 35e jour après la levée, les teneurs moyennes en N, Ca, Mg et K à $Z = 0.3$ m sous le traitement T1 sont respectivement de 130, 88, 25 et 39 ppm alors qu'elles ne sont que de 53, 69, 14 et 18 ppm sous le traitement sans matière organique. A la côte $Z = 0.6$ m ces teneurs s'élèvent sous T1 à 122, 162, 28 et 25 ppm contre 46, 67, 13 et 22 ppm sous le traitement T0. A mi-cycle de développement végétatif (45 jours après la levée), les teneurs en N, Ca, Mg et K aux deux côtes 0.3 et 0.6 m diminuent sensiblement sous les deux traitements mais celles mesurées sous T1 sont toujours plus élevées et sont respectivement à $Z = 0.3$ m de 36, 54, 16 et 22 ppm sous T1, contre 13, 32, 7 et 13 ppm sous T0, et à $Z = 0.6$ m, de 48, 94, 27 et 18 ppm contre 41, 56, 11 et 10 ppm.

Au 60e jour après la levée (c'est à dire au maximum de production de matière sèche) les différences de teneurs minérales sont encore très importantes à $Z = 0.3$ m et sont en moyenne deux fois plus élevées sous le traitement T1. A 0.6 m de profondeur, par rapport à T0, le traitement T1 a une teneur en Mg deux fois plus élevée et des teneurs en N, Ca et K respectivement supérieures de 18 et 70%.

A partir de la mi-septembre on observe comme dans le cas du mil, une baisse très importante des teneurs minérales de la solution à $Z = 0.3$ et $Z = 0.6$ m. Vers cette période (le 11/9/1984) le front d'humectation est environ à 1.2 m de profondeur, la pluviométrie cumulée est de 198 mm et les premiers extraits de solution à $Z = 0.9$ m sont obtenus. Les teneurs minérales à cette côte, surtout celles en N et en Ca diminuent assez rapidement à partir du 20/09/1984 par suite probablement d'une migration plus profonde de ces éléments minéraux. En même temps pratiquement, avec l'arrivée du front d'humectation, les premières mesures de teneurs minérales sont obtenues

à $Z = 1.5$ m. A cette profondeur, on observe une faible variation des teneurs en potassium et en magnésium, par contre,, celles en calcium et en azote présentent de fortes variations.

Les profils de concentration représentés à la figure 30-b montrent une accumulation en profondeur très importante de l'azote et du calcium, faible pour le magnésium et nulle pour le potassium. Ce dernier élément reste essentiellement confiné dans la couche 0-0.6 m du sol. Ces profils permettent de constater que la lixiviation de l'azote nitrate entraînerait principalement celle du calcium et, dans une moindre mesure, celle du magnésium.

J VI.3 • ESTIMATION DES PERTES MINÉRALES PAR LIXIVIATION SOUS CULTIURE

Toutes les valeurs de concentrations en azote, calcium, magnésium et potassium mesurées et utilisées pour le calcul des pertes par lixiviation sont données en annexe III. La quantité lixiviée d'un élément minéral X à travers la côte Zr ($Zr = 1.5$ m sous arachide, 1.8 m sous mil) au cours d'un intervalle de temps t est estimée par :

$$Q_x = D \cdot C_x$$

Q_x , D et C_x représentent respectivement la quantité lixiviée, la lame d'eau drainée au-delà de Zr et la concentration moyenne de l'élément x à la côte Zr pendant la période t . Pour exprimer les pertes minérales en Kg/ha, D et C_x sont respectivement converties en M^3/ha et kg/m^3 . L'intervalle de temps Δt est en général pris égal à celui qui sépare la mesure de deux profils hydriques. Dans le but de montrer comment est effectué le calcul des pertes minérales par lixiviation au cours des différentes périodes où se produisent ces pertes sous culture, on a présenté aux tableaux 30-a et 30-b les périodes de mesures, les valeurs du drainage, les concentrations moyennes en $N-NO_3$, Ca, Mg et K ainsi que les quantités minérales respectives lixiviées sous arachide en 1983 sur les sites BVI-To et BIV-Tl. dans ces deux tableaux, pour des raisons pratiques, D est exprimé en mm et C en ppm, 10 kg/m^3 . Les données présentées dans ces deux tableaux montrent que les flux hydriques à travers la côte 1.5 m sont, sous le traitement matière organique, plus faibles par contre les concentrations minérales, sous ce traitement, sont plus élevées.

Les pertes minérales cumulées mesurées sous culture d'arachide et de mil de 1983 à 1985 sont présentées aux tableaux 31-a et 31-b. Les figures 32 et 33 représentent en fonction du temps les pertes cumulées en eau

PERIODE	N-NO3			Ca		Mg		K	
	D(mm)	C(ppm)	q(Kg/ha)	C(ppm)	q(Kg/ha)	C(ppm)	q(Kg/ha)	C(ppm)	q(Kg/ha)
30/8-6/9	24.3	14.0	3.4	15.7	3.8	4.2	1.0	4.4	1.1
6 -13/9	12.0	33.4	4.0	37.2	4.5	11.2	1.4	4.7	0.6
73 -22/9	6.7	49.8	3.3	30.8	2.1	13.4	1.4	6.0	0.4
22 -29/9	5.7	19.4	1.1	42.4	2.4	11.4	0.7	5.1	0.3
29 -8/10	5.0	37.6	1.9	36.4	1.8	9.7	0.5	6.0	0.3
8 -22/10	3.9	30.2	1.2	38.2	1.5	8.4	0.3	4.8	0.2

Tableau 30-a : Drainage (D, mm), concentrations minérales (C,ppm) et pertes par lixiviation (q,Kg/ha) sous culture d'arachide en 1983 (BVI-To) à la côte Z= 1.5m

PERIODE	N-NO3			Ca		Mg		K	
	D(mm)	C(ppm)	q(Kg/ha)	C(ppm)	q(Kg/ha)	C(ppm)	q(Kg/ha)	C(ppm)	q(Kg/ha)
6/9-13/9	5.5	53.2	2.9	89.9	4.9	29.2	1.6	14.1	0.8
13-22/9	4.3	49.3	2.1	71.5	3.1	21.6	0.9	7.9	0.3
22-29/9	-	51.2	-	61.3	-	24.1	-	12.1	-
29-8/10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8-22/10	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 30-b : Drainage (D,mm), concentrations minérales (C,ppm) et pertes par lixiviation (q,Kg/ha) sous culture d'arachide en 1983 (BIV-T1) à la côte Z= 1.5m

ELEMENTS	ARACHIDE 1983		ARACHIDE 1984		ARACHIDE 1985	
	To	Tl	To	Tl	To	Tl
eau (mm)	64.6±8.8	7.2±5.0	24.8±6.8	-	64.4±16.6	50.6±18.2
N(Kg/ha)	15.8±1.3	3.2±2.4	2.9±2.1	-	7.2±2.0	13.2±5.3
Ca(Kg/ha)	17.0±1.3	5.7±4.6	4.9±3.8	-	7.9±1.4	7.2±4.7
Mg(Kg/ha)	4.3±0.6	1.7±1.3	1.0±0.8	-	4.2±3.2	5.9±3.0
K(Kg/ha)	2.8±0.8	0.9±0.7	0.7±0.6	-	1.6±0.9	2.3±0.9

Tableau 31-a : Pertes moyennes en eau et en éléments minéraux sous culture d'arachide à la côte Z = 1.5 m

ELEMENTS	MIL 1984		MIL 1985	
	To	Tl	To	Tl
eau(mm)		-	94.4±7.2	41.7±8.9
N(kg/ha)		-	2.8±1.1	ε
Ca(Kg/ha)		-	4.9±1.3	ε
Mg(Kg/ha)		-	0.5±0.6	ε
K(Kg/ha)		-	0.7±0.7	ε

Tableau 31-b : Pertes moyennes en eau et en éléments minéraux sous culture de mil à la côte Z = 1.8 m

ε : quantité inférieure à 0.5 Kg/ha

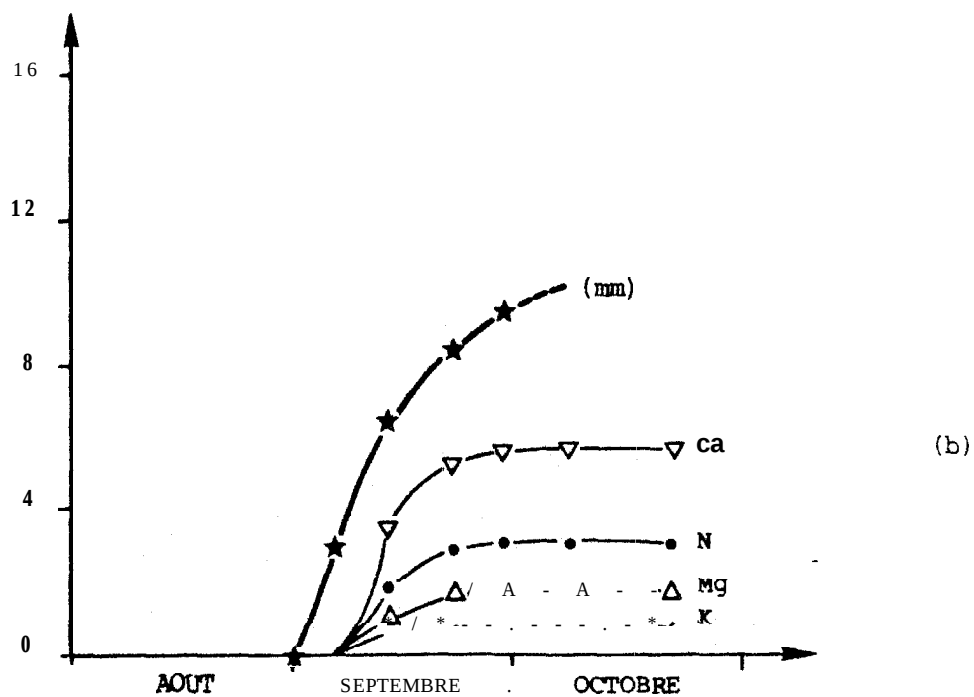
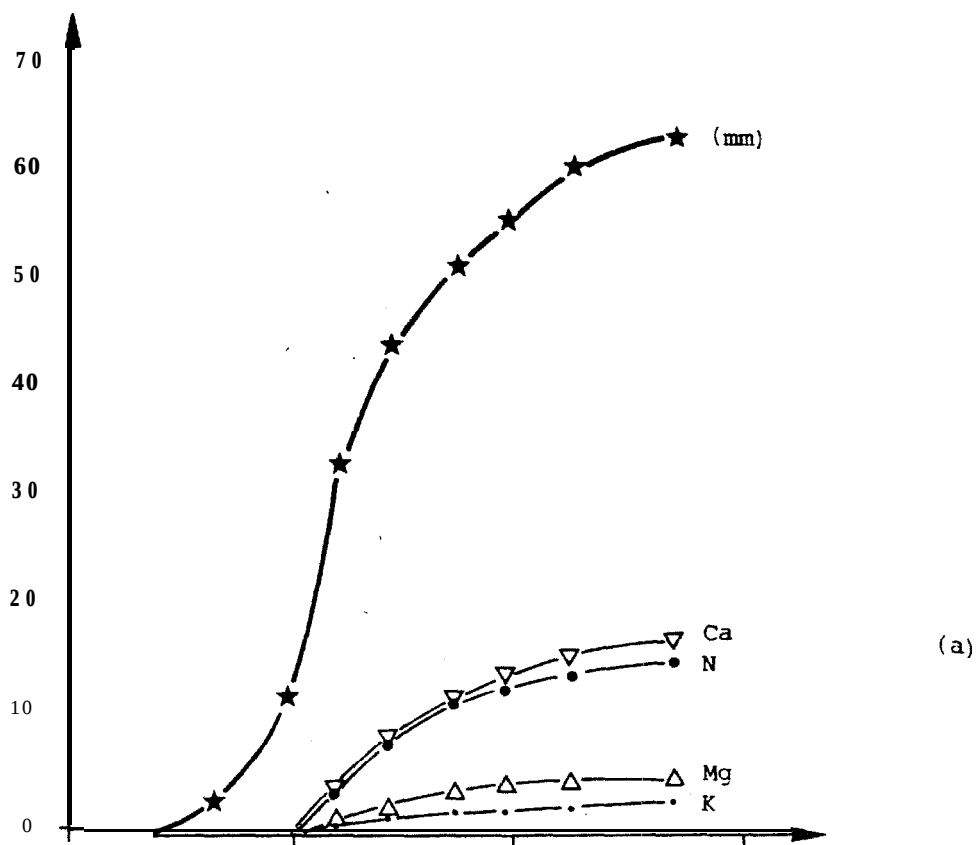


FIGURE 34 : PERTES MOYENNES CUMULEES EN EAU (mm) ET EN ELEMENTS MINERAUX (Kg/ha) EN FONCTION DU TEMPS A Z = 1.5 M SOUS CULTURE D'ARACHIDE - 1983 - (a) : T₀ ; (b) : T₁

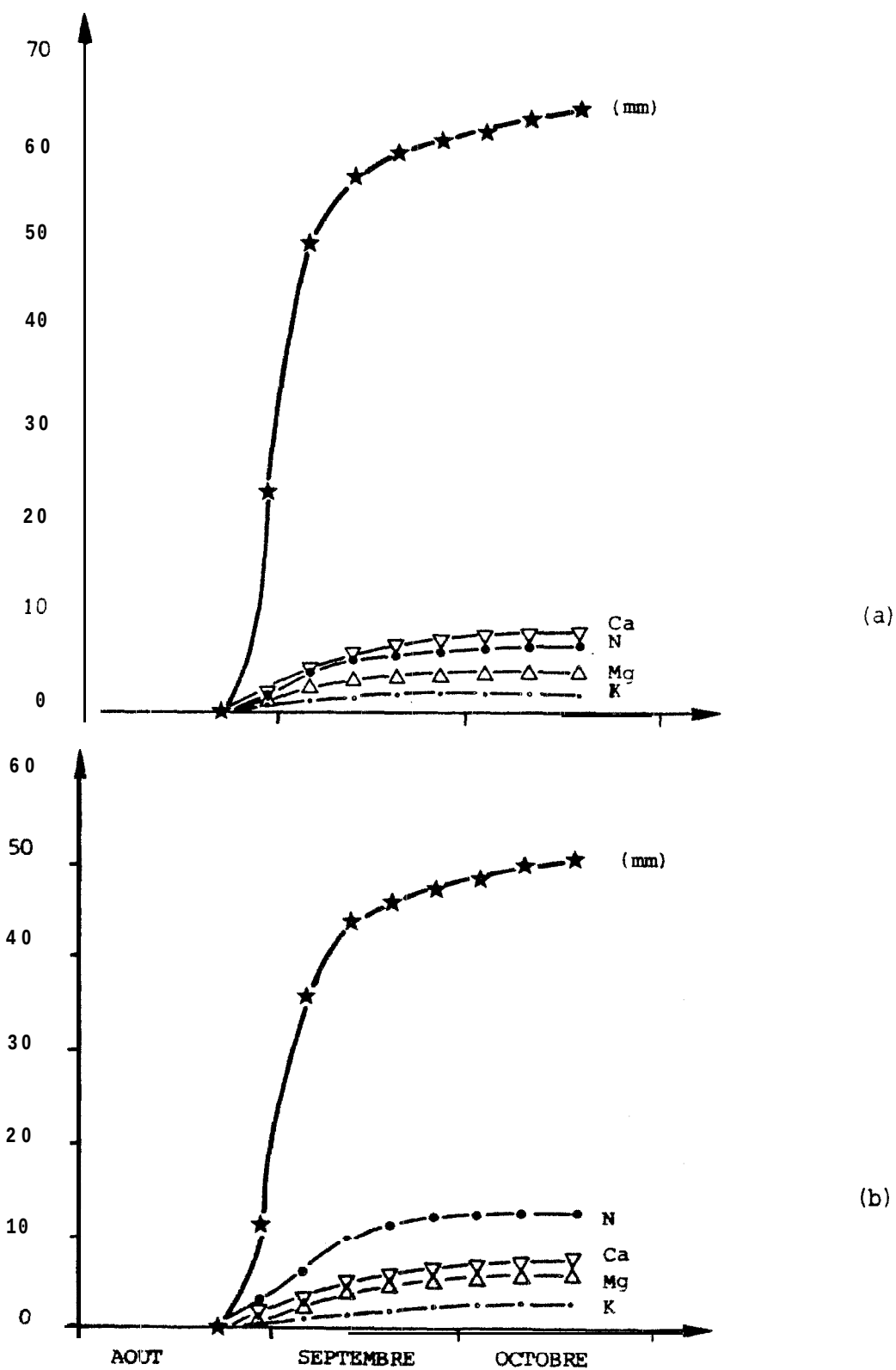


FIGURE 33 : PERTES MOYENNES CUMULEES EN EAU (mm) ET EN ELEMENTS MINERAUX (Kg/ha) EN FONCTION DU TEMPS AZ = 1.5 M SOUS CULTURE D'ARACHIDE - 1985 - (a) : To ; (b) : Tj

et en éléments minéraux estimées sous culture d'arachide en 1983 et 1985. A la figure 32-b, les pertes cumulées en eau à partir du 29/9/1983 ne sont pas représentées car celles-ci diminuent par suite probablement de remontées capillaires et/ou d'extraction racinaire au-delà de 1.5 m. Les pertes sous mil en 1984 et 1985 et sous arachide en 1984 ne sont pas graphiquement représentées parce qu'elles sont nulles ou très faibles.

3.1 • Estimation des pertes minérales par lixiviation sous culture d'arachide

Les pertes minérales par lixiviation (tableau 31-a) montrent que les quantités de K lixiviées sont toujours très faibles ; elles sont inférieures à 3 kg/ha/an. Cet élément, dans les sols sableux du Centre Nord du Sénégal, présente donc une migration en profondeur très limitée. En plus de l'effet de la plante, le sol joue un rôle important dans la non lixiviation du potassium. Des résultats non publiés d'étude sur colonnes de sol (Cissé et Fallavier, 1984) ont montré qu'avec des doses de KCl appliquées en surface et variant de 0 à 150 kg/ha, les quantités de K fixées par le sol, après une percolation de 600mm d'eau à travers les colonnes, représentaient 90% du potassium apporté.

Les pertes en magnésium, bien que supérieures à celles du potassium sont aussi faibles. Elles varient, sous le traitement matière organique entre 0 et 6 kg/ha/an et entre 1 et 4 kg/ha/an sous T0.

Les pertes minérales les plus importantes sont celles en azote et en calcium. Les pertes en azote varient de 3 à 16 kg/ha/an et de 0 à 13 kg/ha/an respectivement sous les traitements sans et avec matière organique. En 1983 et 1984 elles sont plus élevées sous le traitement T0 avec des valeurs respectives de 16 et 3 kg/ha/an. En 1985 par contre, on observe des pertes de 13 kg/ha sous T1 et de 7 kg/ha sous T0. La faible différence entre les flux hydriques à travers la côte 1.5 m et les concentrations plus élevées sous T1 (tableaux 30-a et 30-b) expliqueraient les pertes en azote supérieures sous T1. Les pertes en Ca varient de 5 à 17 kg/ha/an sous T0 et de 0 à 7 kg/ha/an sous T1. Elles sont en général, plus élevées sous T0. Les différences les plus importantes sont observées en 1983 et en 1984 où ces pertes sont respectivement de 17 et 5 kg/ha sous T0 et de 6 et 0 kg/ha sous T1.

3.2 - Estimation des pertes minérales par lixiviation sous culture de mil

La même méthode appliquée montre que sous culture de mil, les pertes minérales par lixiviation sont nulles ou très faibles. Cette plus faible lixiviation résulte d'une part, du fait que les pertes hydriques par drainage au-delà du système racinaire du mil sont beaucoup plus réduites que celles de l'**arachide** et d'autre part que les concentrations de la solution du sol en éléments minéraux sont plus faibles sous mil (figures 30 et 30-a). Il est probable que ces différences soient induites par celles existants entre les systèmes racinaires des deux plantes. En effet, l'enracinement du mil est plus ramifié que celui de l'arachide dans les couches **supérieures** du sol, ce qui pourrait lui assurer une plus grande **capacité** d'utilisation de l'eau et des éléments minéraux.

Du fait de l'absence ou des très faibles pertes minérales sous mil, il n'est pas possible de mettre en évidence un éventuel effet de la matière organique sur ces pertes,, alors que, sous culture d'arachide, en année de faible pluviométrie (200 à 300 mm), les pertes minérales par lixiviation sont réduites par l'apport de matière organique. Cette réduction est naturellement consécutive à celle des flux **hydriques** au-delà du système racinaire de la plante.

VI.4 - EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE BILAN MINERAL DE LA ROTATION ARACHIDE-MIL

Les rendements des cultures obtenus de 1983 à 1985 et discutés en dernière partie ainsi que les teneurs minérales du mil et de l'arachide mesurées à la récolte sont donnés dans l'annexe I.

Les deux séries de l'expérimentation étant conduites de la même façon, on s'est limité à la série I pour **apprécier** les effets des traitements sur le bilan minéral. Par ailleurs, la matière organique étant appliquée pour la rotation arachide-mil, on a d'abord analysé la rotation

arachide (1983) - mil souna (1984), et après la succession mil (1984) - arachide (1985). Les données nécessaires pour les calculs ainsi que les bilans minéraux calculés sont présentés au tableau 32.

4.1- Bilans de l'azote et du phosphore

Sur les deux traitements les bilans de l'azote et du phosphore sont positifs. Pour le traitement sans matière organique, ces bilans positifs résultent des très faibles exportations minérales des cultures qui sont consécutives des rendements très bas de ce traitement. Pour des apports en azote et en phosphore de 77 et 17 Kg/ha, les exportations cumulées des 2 récoltes ne s'élèvent sur ce traitement qu'à 31 et 6 Kg/ha respectivement. Sur le traitement matière organique les exportations en azote et en phosphore sont supérieures ou égales aux apports de ces deux éléments par les engrais minéraux (tableau 32). Ce sont donc les apports en azote et en phosphore du fumier qui permettent d'avoir sur ce traitement, des bilans positifs pour ces deux éléments.

4.2- Bilan du potassium

Il est négatif sur les deux traitements. Le bilan du potassium est plus déficitaire sur le traitement matière organique, où il s'élève à -61 Kg/ha contre -31 Kg/ha sur le traitement sans matière organique. Les pertes par lixiviation et les exportations par l'arachide étant assez faibles (tableau 32), le bilan déficitaire du potassium résulte essentiellement des exportations très élevées de cet élément par le mil et surtout par les pailles de cette culture.

4.3- Bilans du calcium et du magnésium

Le calcium et le magnésium accusent sur le traitement sans matière organique, un bilan cumulé déficitaire de 46 Kg/ha. Par contre, sur le traitement avec matière organique, le bilan cumulé de ces deux éléments est positif et s'élève à 84 Kg/ha. Les pertes par lixiviation sous culture d'arachide représentent près de 50% du déficit cumulé du bilan du calcium et du magnésium observé sur le traitement sans matière organique. Sur le traitement matière organique, les apports en Ca (109 Kg/ha) et en Mg

	Arachide 1983					Mil 1984					Arachide 1985				
To	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Apt-engrai	12	11.8	33.6	0	0	67	5.3	5.3	0	0	12	11.8	33.6	0	0
Q.F	6.2	0	0	0	0	-	-	-	-	-	23	0	0	0	0
Q.L	15.8	0	2.8	17.4	4.31	0	0	0	0	0	7.2	0	1	1.6	7.9
Q.E	9.3	1.0	4.5	5.8	1.7	22.1	5.0	68.7	10.1	6.3	34.3	2.8	15.3	12.7	4.3
Tl															
Apt-engrai	12	11.8	33.6	0	0	67	5.3	5.3	0	0	12	11.8	33.6	0	0
Apt-fumier	12.5	31.5	92.7	108.9	42.8	-	-	-	-	-	131.4	30.4	162.9	140.4	60.
Q.F	26.2	0	0	0	0	-	-	-	-	-	46.8	0	0	0	0
Q.L	3.2	0	0	9	5.7	1.71	-	-	-	-	13.2	0	2.3	7.2	5.
Q.E	35.1	3.7	20.7	21.0	6.9	60.4	1	3.2	171.7	17.7	14.9	62.7	5.5	46.4	22.4
Tl															

Bilan minéral arachide (1983)- mil (1984)

	To	Tl
N(kg/ha)	+ 38.0	+ 119
P(Kg/ha)	+ 11.1	+ 31.7
K(Kg/ha)	- 37.1	- 61.2
Ca(Kg/ha)	- 33.3	+ 64.5
Mg(Kg/ha)	- 12.3	+ 19.3

Bilan minéral mil (1984) - arachide (1985)

	To	Tl
N(kg/ha)	+ 38.4	+121
P(Kg/ha)	+ 9.3	+ 28.8
K(Kg/ha)	- 46.7	- 18.1
Ca(Kg/ha)	- 30.7	+ 93.1
Mg(Kg/ha)	- 14.8	+ 30.3

Tableau 32 : Eléments du bilan (apports et exportations par les récoltes).
Bilan minéral de la rotation arachide (1983) - mil (1984)
et de la succession mil (1984) - arachide (1985).
Q.F : quantité fixée - Q.L : quantité lixiviée
Q.E : quantité exportée,

(43 Kg/ha) par la matière organique compensent les pertes par lixiviation et les exportations de ces éléments par le mil et l'arachide et permettent d'avoir un bilan positif pour ces deux traitements.

Les rendements en arachide particulièrement faibles en 1983 pouvaient éventuellement influencer favorablement le bilan minéral de la rotation arachide-mil, on a donc envisagé de voir si dans des conditions moins favorables, celui-ci ne serait pas modifié de manière importante. Pour cela, on a considéré la succession mil (1984) - arachide (1985) pour laquelle on peut noter que les rendements en gousses et en fanes de l'arachide sont, pour les deux traitements T0 et T1, nettement plus élevés que ceux de l'arachide en 1983. En outre, pour rappel-, les pertes minérales par lixiviation sous arachide en 1985 sont, par rapport à celles mesurées en 1983, plus élevées sous T1 et plus faibles sous T0.

L'azote fixée par l'arachide n'ayant pas été quantifiée en 1985, on a admis que celui-ci représentait sur T0 et T1, par rapport à l'azote total mobilisé par la plante, les mêmes pourcentages que ceux déterminés en 1983 sur ces mêmes traitements et qui s'élevaient à 67.1% sur T0 et à 74.6% sur T1.

Le bilan de la succession mil (1984) - arachide (1985) calculé est également présenté au tableau 32. On note que par rapport à la rotation arachide (1983) - mil (1984) bien que les termes du bilan soient très différents, notamment en ce qui concerne l'azote et le potassium, celui-ci ne présente que de très faibles différences. Les conclusions tirées de l'analyse du bilan minéral de la rotation arachide-mil sont donc, en général, valables pour celui de la succession mil-arachide.

4.4- Variations de la teneur sol en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium au cours de la rotation arachide-mil

L'analyse du bilan minéral de la rotation arachide-mil fait apparaître, pour certains éléments, un déficit et pour d'autre un état excédentaire. Pour voir si on peut accorder ou non une certaine fiabilité aux conclusions tirées de ce bilan, on a estimé, à partir des analyses de sol faites en 1983, avant le semis de l'arachide et les apports d'engrais et de

matière organique, et, en 1984 après la récolte du mil, les variations de la teneur du sol en azote total, phosphore assimilable et en potassium, calcium et magnésium échangeables. L'analyse des effets des deux traitements sur les caractéristiques chimiques du sol ayant montré que c'est essentiellement l'horizon 0-0.1m du sol qui présentait les différences les plus notables, on a supposé que ces variations ne concerneraient que cet horizon.

Les valeurs moyennes de la teneur du sol en ces éléments mesurées en 1983 et en 1984 ainsi que les variations de ces teneurs pendant cette période sont rapportées au tableau 33-a. En considérant la couche de sol 0-0.1 m qui a une densité de 1.45 g/cm^3 , on peut exprimer en ppm les valeurs du bilan minéral. Les résultats du bilan exprimés en ppm sont comparés au tableau 33-b aux variations de la teneur de l'horizon 0-0.1 m du sol en azote total, phosphore assimilable et en potassium, calcium et magnésium échangeables.

On peut observer au tableau 33-b, un assez bon accord entre les résultats du bilan minéral en N, P, Ca et Mg et les variations de la teneur du sol en ces éléments. Par contre,, pour le potassium on observe un désaccord entre les variations de la teneur du sol qui montrent un accroissement du potassium échangeable et le bilan minéral qui indique qu'il devrait produire une diminution des réserves potassiques du sol. Il est possible que devant d'une part la forte demande en K du mil, qui en exporte toujours plus que les apports par les engrais minéraux, et d'autre part, de la faiblesse des réserves du sol en potassium échangeable, ' des formes de potassium non échangeables passent en cours de culture sous forme échangeables. Par conséquent la comparaison des stocks en potassium échangeable avant et après la rotation arachide * mil ne permet pas d'apprécier correctement le statut potassique du sol en fin de rotation.

VI.5 - DISCUSSION

L'étude des effets des traitements sur les teneurs minérales de la solution du sol et sur les pertes minérales par lixiviation 'nous a conduit à utiliser des cellules de prélèvement de solution du sol. L'utilisation de ces cellules comme moyen d'extraction de la solution du sol

Eléments (ppm)	To			T1		
	1983	1984	ΔX_s	1983	1984	ΔX_s
N	113.3±11.5	146.6±15	+33.3	160.0'20	223.3128	+63.3
P	19.8±2.8	27.0±3.6	+7.2	21.9±4.3	51.3±14.5	+29.4
K	15.3-0.9	22.4±2.5	+7.1	17.0±1.3	32.8±1.21	+15.8
Ca	48.0±19	28.0±4.0	-20	89.3-124.4	115.3±31	+26.0
Mg	8.9±2.8	7.7±2.5	-1.2	18.6±1.8	30.4±7.5	+11.8

Tableau 33-a : Valeurs moyennes de la teneur du sol (horizon 0-0.1m) en azote total, phosphore assimilable, potassium, calcium et magnésium échangeables et variations de ces teneurs (ΔX_s entre 1983 et 1984.

Eléments (ppm)	To		T1	
	ΔX	ΔX_s	ΔX	ΔX_s
N	+ 26.2	+ 33.3	+ 82.0	+ 63.3
P	+ 7.7	+ 7.2	+ 21.9	+ 29.4
K	- 25.5	+ 7.1	- 42.2	+ 15.8
Ca	- 22.9	- 20.0	+ 44.5	+ 26.0
Mg	- 8.5	- 1.2	+ 13.3	+ 11.8

Tableau 33-b : Comparaison entre les résultats du bilan minéral exprimés en ppm (ΔX) et les variations de la teneur de l'horizon 0-0.1 m du sol en N total, Pass et en K, Ca, Mg échangeables (ΔX_s , en ppm).

pose cependant un certain nombre de problèmes, **notamment** la représentativité de la solution prélevée. Ce problème a été l'objet de plusieurs travaux. LEVIN et JACKSON (1977) ont comparé trois méthodes d'extraction de la solution du sol : bougie poreuse, fibre creuse et percolation simple. L'analyse de la concentration en N-NO₃, P-PO₄, Ca et Mg des solutions prélevées avec ces trois **méthodes leur** a permis de conclure que les bougies poreuses permettaient de recueillir des solutions dont les teneurs en Ca et en Mg sont représentatives de la solution du sol. En ce qui concerne l'azote, ils ont observé un biais qui résulterait, d'après eux, d'un tamisage qu'opéreraient les **bougies** poreuses vis-a-vis de cet élément. HANSEN et HARRIS (1975) ont étudié les facteurs physiques (conductivité hydraulique, tamisage, colmatage des pores et diffusion) et chimiques (sorption, libération **d'ions** par les bougies) qui . pourraient affecter le volume et la concentration de la solution prélevée à l'aide des cellules de prélèvements. Ils ont **montré** que le colmatage des pores qui réduit très significativement la vitesse d'entrée de l'eau dans les bougies est une importante source de variation de la concentration de la solution recueillie. Le tamisage et surtout la sorption affecteraient, selon eux, la concentration en phosphore ; celle-ci serait plus faible que la teneur en phosphore de la solution ambiante. Pour l'azote, ils n'ont observé aucun biais significatif.

TALSMA et al (1979) ont montré que le volume d'eau recueilli **a** partir des bougies poreuses pouvait être beaucoup plus faible que celui que la conductivité hydraulique des bougies et les paramètres de transferts hydriques du sol **permettraient** de recueillir. Cette réduction du volume prélevé proviendrait de la diminution de la conductivité hydraulique du sol le long des parois des bougies poreuses qui serait consécutive au compactage du sol, au voisinage immédiat des bougies lors de leur installation. Ils ont **également** mis en évidence après un séjour de 8 semaines dans le sol, une forte décroissance de la **conductivité** hydraulique des bougies poreuses par suite d'un important phénomène de colmatage des pores.

Il est probable que le colmatage des pores soit surtout important dans des sols à teneurs en éléments fins assez élevées ; ce qui n'est pas le cas du type de sol étudié dont le taux d'argile + limon est de l'ordre de 3%. Le prétrempage réalisé avant la mise en place des cellules de

prélèvements et les précautions prises lors de leur installation permettent à notre avis d'éliminer sinon de réduire de manière fort importante certains facteurs susceptibles d'affecter la représentativité de la solution prélevée.

Pendant les périodes de drainage relativement important (3 à 4 mm/j), on peut supposer que la solution recueillie provient de la lame d'eau drainante et représenterait assez bien la solution percolante. Par contre, lors des épisodes de faible drainage (moins d'un mm par jour) qui interviennent en général vers la fin du cycle de la plante, périodes où la teneur en eau du sol est en général assez faible et est de l'ordre de 0.04 à 3.05 cm³/cm³, il est probable que la dépression de 600 mbar auxquelles sont soumises les cellules de prélèvement entraîné l'extraction d'une partie de l'eau non drainante qui devrait être normalement stockée dans le système poreux du sol. L'analyse minérale de tels extraits pourrait servir à apprécier la solution à partir de laquelle s'alimentent les plantes, mais par contre l'utilisation des valeurs de cette analyse pourrait induire à des erreurs dans l'estimation des pertes par lixiviation.

Par rapport aux systèmes lysimétriques dont les inconvénients majeurs sont la forte perturbation du sol lors de leur installation et leur fonctionnement en condition de sol saturé alors qu'on n'observe jamais une saturation du sol sous culture pluviale dans la zone Centre-Nord du Sénégal, les valeurs des pertes minérales mesurées avec les cellules de prélèvement au cours de cette étude sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par CHARREAU et al et qui s'élèvent en moyenne sous arachide, à 10, 28, 10 et 8 Kg/ha respectivement pour l'azote, le calcium, le magnésium et le potassium.

Le bilan minéral de la rotation arachide - mil montre que l'apport de matière organique permet de maintenir voire d'améliorer le statut azoté, phosphaté, calcique et magnésien du 501. La valeur plus élevée du pH sur le traitement matière organique (tableau 4) résulterait très probablement du bilan positif en Ca et en Mg sous ce traitement. Par contre sans apport de matière organique, le niveau d'acidité du sol assez élevé (pH < 5.5) serait la conséquence du déficit accusé du bilan du Ca et Mg.

Dans les systèmes de culture arachide-mil du Centre-Nord du Sénégal, même avec un apport de matière organique relativement important (10/ha tous les deux ans), il n'est pas possible d'avoir un bilan équilibre en potassium si on exporte toutes les récoltes. Malgré les contraintes techniques (insuffisance de la force de traction disponible, prise en masse du sol) et de calendrier cultural (simultanéité des opérations post récoltes) que pose la restitution au sol des pailles de mil, celle-ci serait le seul moyen pour avoir un bilan potassique au moins équilibré.

TROISIEME PARTIE

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE STATUT ORGANIQUE DU SOL
ET SUR LE DEVELOPPEMENT ET L'ALIMENTATION MINERALE DES PLANTES

CHAPITRE VII

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE STATUT ORGANIQUE DU SOL

L'analyse des principales **caractéristiques** chimiques du sol (tableau 4) a montré que des différences importantes entre les deux traitements existaient essentiellement dans les horizons 0-0.1 et 0.1-0.2 m.

En conséquence la caractérisation du statut organique du sol sous les deux traitements a **été** faite dans ces deux horizons. Celle-ci a consisté en une étude de la répartition du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les **principales** fractions texturales du sol. Cette étude a été faite en 1985 sur des échantillons de sol prélevés **après** les récoltes.

Les résultats obtenus sont présentés aux tableaux 34 et 35.

Les teneurs en carbone et en azote du sol augmentent toujours des fractions grossières aux fractions fines.

L'apport de matière organique accroît très nettement les teneurs en carbone et en azote des fractions 50-200, 20-50, 2-20 et 0-2 microns. Les teneurs de la fraction 200-2000 microns sont en général identiques à celles du sol total. FELLER et al (1981) ont observé des effets similaires lors d'apports de compost de paille de mil sur un sol ferrugineux tropical peu lessivé.

Le faible poids (3 à 5%) que représente pour le sol étudié la somme des trois fractions texturales comprises entre 0 et 50 microns fait que, malgré l'augmentation importante des teneurs en carbone de ces trois fractions, celles-ci renferment globalement moins de 10% du stock total en carbone du sol. L'essentiel du carbone du sol (près de 90% du carbone total du sol) se trouve confiné dans les deux fractions texturales 50-200 et 200-2000 microns.

Les résultats obtenus après une culture d'arachide suivant l'apport de matière organique (c'est à dire un effet direct qui se superpose à un effet **residuel**) montrent que si la matière organique **accroît** la teneur en carbone des différentes fractions texturales du sol, elle ne modifie pas

	Carbone en % du poids de la fraction		Carbone dans la fraction en % du carbone total du sol		Azote en % du poids de la fraction		C/N		Carbone du sol en %	
Fractions textura- les	TO	Tl	TO	Tl	TO	Tl	TO	Tl	TO	Tl
200-2000µ	0.10	0.14	40.4	39.1	0.006	0.006	25	23	0.11	0.15
50- 200µ	0.12	0.16	56.1	57.2	0.005	0.009	24	18		
20- 50µ	0.15	0.25	1.9	0.6	0.011	0.020	14	13		
2- 20µ	0.28	0.34	0.8	0.9	0.024	0.033	12	10		
0- 2µ	0.18	0.22	2.8	2.3	0.020	0.025	9	9		

Tableau 34-a : Répartition du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les principales fractions texturales du sol de l'horizon 0-0.1 m. Analyses faites après une culture d'arachide.

	Carbone en % du poids de la fraction		Carbone dans la fraction en % du carbone total du sol		Azote en % du poids de la fraction		C/N		Carbone du sol en %	
Fractions texturales	To	Tl	To	Tl	To	Tl	To	Tl	To	Tl
200 - 2000µ	0.12	0.13	37.2	35.8	0.004	0.005	30	24	0.12	0.14
50 - 200µ	0.11	0.14	54.3	56.3	0.004	0.006	28	23		
20 - 50µ	0.19	0.21	2.5	3.3	0.010	0.016	19	13		
2 - 20µ	0.25	0.34	1.0	1.0	0.019	0.029	13	12		
0 - 2µ	0.20	0.23	4.0	3.5	0.021	0.025	10	9		

Tableau 34-b : Répartition du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les principales fractions texturales du sol de l'horizon 0.1-0.2 m. Analyses faites après une culture d'arachide.

	Carbone en % du poids de la fraction		Carbone dans la fraction en % du carbone total du sol		Azote en % du poids de la fraction		C/N		Carbone total du sol en %	
Fractions textura- les	TO	Tl	TO	Tl	TO	Tl	TO	Tl	TO	Tl
200-2000 μ	0.10	0.11	31.7	24.6	0.003	0.004	33	28	0.11	0.13
50- 200 μ	0.11	0.14	59.3	69	0.004	0.008	28	1a		
20- 50 μ	0.17	0.16	3.1	4.2	0.013	0.013	13	12		
2- 20 μ	0.20	0.24	1.1	1.1	0.018	0.021	11	11		
0- 2 μ	0.20	0.21	5.6	3.1	0.020	0.023	10	9		

Tableau 35-a : Répartition du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les principales fractions texturales du sol de l'horizon 0-0.1 m. Analyses faites après une culture de mil.

	Carbone en % du poids de la fraction		Carbone dans la fraction en % du carbone total du sol		Azote en % du poids de la fraction		C/N		Carbone du sol en %	
Fractions texturales	To	Tl	To	Tl	To	Tl	To	Tl	To	Tl
200 - 2000 μ	0.11	0.12	29.7	27.4	0.004	0.005	28	24	0.11	0.13'
50 - 200 μ	0.12	0.13	66.6	65.1	0.005	0.006	24	22		
20 - 50 μ	0.12	0.17	3.1	2.1	0.007	0.013	17	13		
2 - 20 μ	0.15	0.32	0.6	1.5	0.011	0.023	14	14		
0 - 2 μ	0.17	0.22	3.5	4.7	0.016	0.024	11	9		

Tableau 35-b : Répartition du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les principales fractions texturales du sol de l'horizon 0.1-0.2 m. Analyses faites après une culture de mil

cependant comparativement au traitement sans **matière** organique la part que représente le carbone contenu dans ces fractions par rapport au carbone total du sol.

Après une rotation arachide-mil, on observe sur le traitement matière organique une différence., par rapport au traitement sans matière organique, sur la part que représente dans l'horizon **0.0-0.1m** le carbone des fractions 200-2000 et **50-200** microns par rapport au carbone total du sol (tableau 35-a). La fraction du carbone du sol contenu dans la classe texturale **200-2000** microns ne représente plus, sur le traitement matière organique, que 25% du carbone total du sol **contre** 32% sur le traitement TO. .

Cette diminution du poids de **cette** classe texturale dans **le** stock en carbone du sol se fait au profit de la fraction texturale 50-200 microns dont la part passe de **57%**, après une culture d'arachide, à 69% après la rotation **arachide-mil**.

Les valeurs du rapport **C/N** (tableaux 34 et 35) montrent que la matière organique des fractions 200-2000 et 50-200 microns est peu humifiée (**C/N** compris entre 18 et 30). On observe cependant que sur le **traitement** matière organique ce rapport est en général plus bas. Ce fait serait peut-être le reflet d'une meilleure **activité** microbienne. En effet **l'acidité** du sol plus faible et la teneur en matière organique du sol plus élevé sur ce traitement pourraient induire, par rapport au traitement sans matière organique, comme cela a été **déjà** observé notamment par SIBAND (1975), des modifications dans la composition des microorganismes du sol. Et ces modifications se traduiraient par une amélioration de l'activité biologique du sol.

CHAPITRE VIII

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE DEVELOPPEMENT, L'ALIMENTATION MINERALE ET LES RENDEMENTS DU MIL ET DE L'ARACHIDE

Dans cette partie on s'attachera d'abord, d'une manière non exhaustive, à caractériser par des observations, des descriptions et des mesures quantitatives les principales phases végétatives et reproductives des deux cultures. L'objectif de cette caractérisation est d'apprécier les effets des traitements mis en comparaison sur un certain nombre de paramètres des plantes. Le choix de ces paramètres résulte des travaux antérieurs de GANRY (1977), DIATTA et FARDEAU (1979), PIERI (1979), CHOPART (1980), SIBAND (1981) ...etc. qui ont mis en évidence leur importance et pour ce qui concerne l'enracinement d'une hypothèse personnelle avancée selon laquelle les traitements étudiés induiraient sur les masses racinaires des différences qui expliqueraient les observations faites sur les cinétiques d'humectation du sol. Ensuite on tentera d'analyser, d'une manière globale, les effets des traitements sur les rendements des cultures.

VIII.1- EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE DEVELOPPEMENT ET L'ALIMENTATION MINERALE DU MIL.

1.1- Effets des traitements sur le tallage

Il commence sur les deux traitements, vers le 17^{ème} jour après la levée. Le nombre de talles par poquet et la vitesse d'apparition des talles (nombre de talles produites par poquet et par jour) sont présentées au tableau 36.

Le début du tallage du mil est plus vigoureux sur le traitement avec matière organique. Le nombre de talles par plante sur ce traitement est, entre le 17^e et le 45^e jour, deux fois plus élevé.

Le tallage sur le traitement matière organique s'arrête vers le 40e jour après la levée. A partir de cette date, la régression du **tallage** commence. Elle concerne essentiellement les talles nouvellement formées dont le développement est bloqué probablement par un "effet de compétition". D'abord faible entre le 40e et le 50e jour après la levée, cette régression devient forte pour aboutir, vers la **maturité**, à un nombre de talles par poquet **égal à 8**.

Sur le traitement sans matière organique, le tallage commence à **régresser** beaucoup **plus** tardivement (à partir du 70e jour après la levée). Ceci, comme on le verra plus loin, traduit une phase végétative plus longue qui s'est faite au **détriment** de la phase reproductive. En effet, la plupart des talles, sur ce traitement, n'ont pas épié.

J.A.L.	N'ombre talle/poquet		Période J.A.L.	Nombre talle/poquet/jour	
	T0	T1		T0	T1
17	1	3			
24	4	11	17 - 24	0.4	1.0
31	9	22	25 - 31	0.7	1.6
38	12	23	32 - 38	0.4	0.1
45	13	22	39 - 45	0.1	-
52	15	22	46 - 52	0.3	-
59	16	18	53 - 59	0.1	-
66	18	14	60 - 66	0.3	-
73	18	10	67 - 73	0.0	-
80	14	8	74 - 80		-

Tableau 36 : Nombre de **talles/poquet** et vitesse d'apparition des talles
J.A.L : **jour** après la levée.

1.2- Effets des traitements sur la croissance en hauteur

Les courbes de croissance en hauteur sont présentées à la figure 34. Dès le **15e** jour après la levée, la hauteur des plantes sur le traitement matière organique est supérieure à celle mesurée sur le traitement T0.

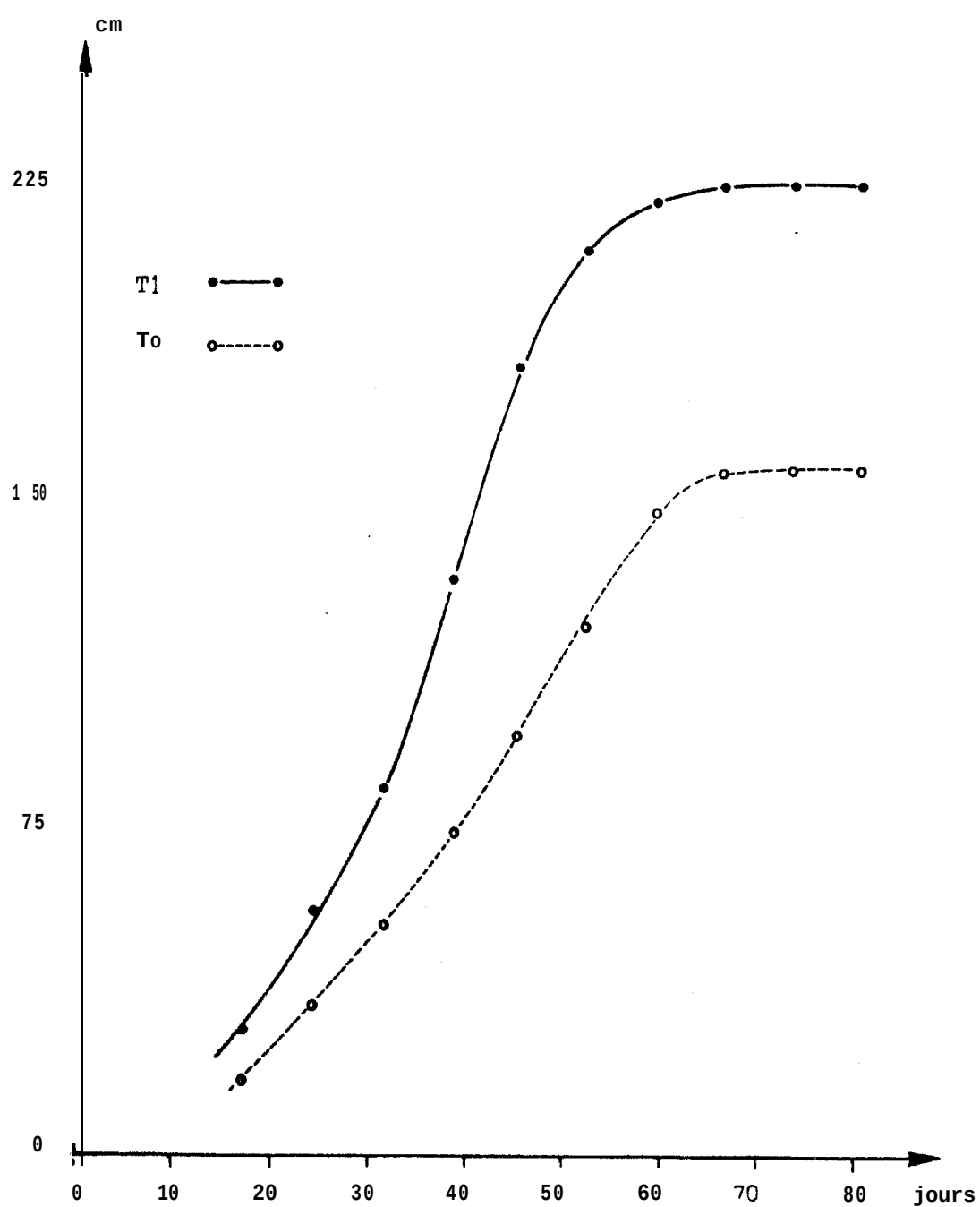


FIGURE 34 : COURBES DE CROISSANCE LINEAIRE DU MIL (V. SOUNA III)

Tout au long du cycle du développement de la plante, la croissance en hauteur du mil **sur le** traitement T1 demeure plus forte que celle sur le traitement T0. Pour les deux traitements, les plantes atteignent leur hauteur maximum vers le **65e** jour. A cette date, les plantes ont une hauteur moyenne de 2.26 m et 1.60 m, respectivement sur les traitements T1 et T0. La matière organique induit alors une augmentation de la hauteur des plantes de 40%.

1.3-Effets des traitements sur la croissance pondérale

A la figure 35 sont représentées les courbes de croissance pondérale du mil.

Quinze jours après le démariage, on observe une différence de production de matière **sèche** entre les deux traitements.

A partir de cette période, jusqu'à la maturité, cette différence de croissance pondérale se maintient. La matière sèche produite sur le traitement avec matière organique est en moyenne trois fois plus élevée.

Durant la phase de production élevée de matière sèche (partie linéaire des courbes de croissance **pondérale**), les rythmes journaliers de production de matière sèche sont de 40 et 140 kg/ha/jour, respectivement sur les traitements sans et avec matière organique.

1.4- Effets des traitements sur l'enracinement

Les masses racinaires (en g/m²) mesurées à mi-cycle de développement végétatif dans les horizons 0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3 et 0.3-0.5 m du sol et les rapports entre le poids des parties aériennes du pied de mil prélevé (P.A) et celui des racines de la couche de sol 0-0.5 m (P.R) sont présentés au tableau 37.

On observe entre les deux traitements des différences importantes, Ces différences sont beaucoup plus grandes dans les horizons 0.1 à 0.5 m où les masses racinaires du mil sur le traitement matière organique sont 3 à 6 fois plus élevées. Les profils de densité racinaire (g/m³) présentées à la figure 36 illustrent les **différences** entre les deux traitements,,

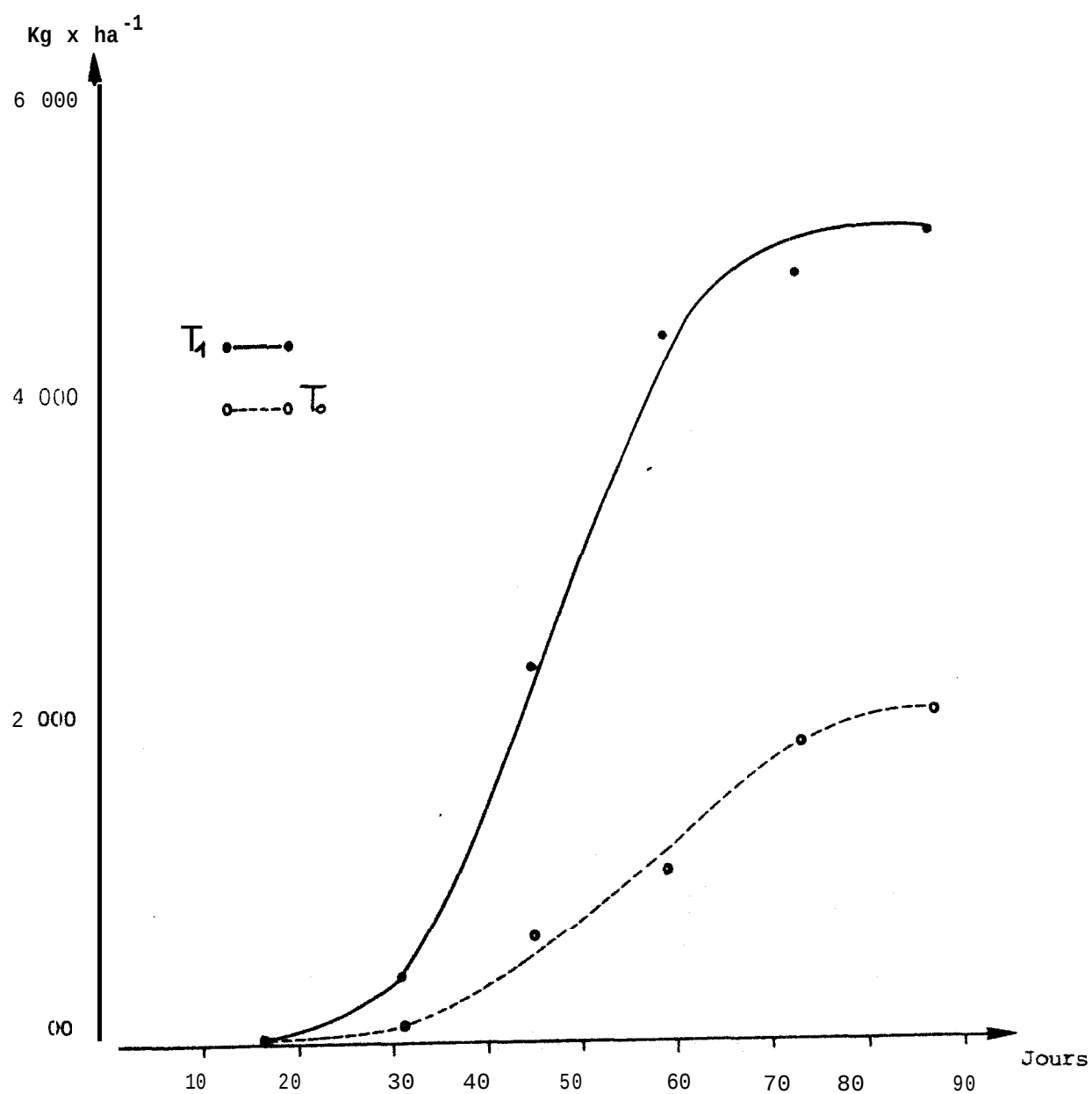


FIGURE 35 : COURBES DE CROISSANCE PONDERALE DU MIL (V. SOUNA III)

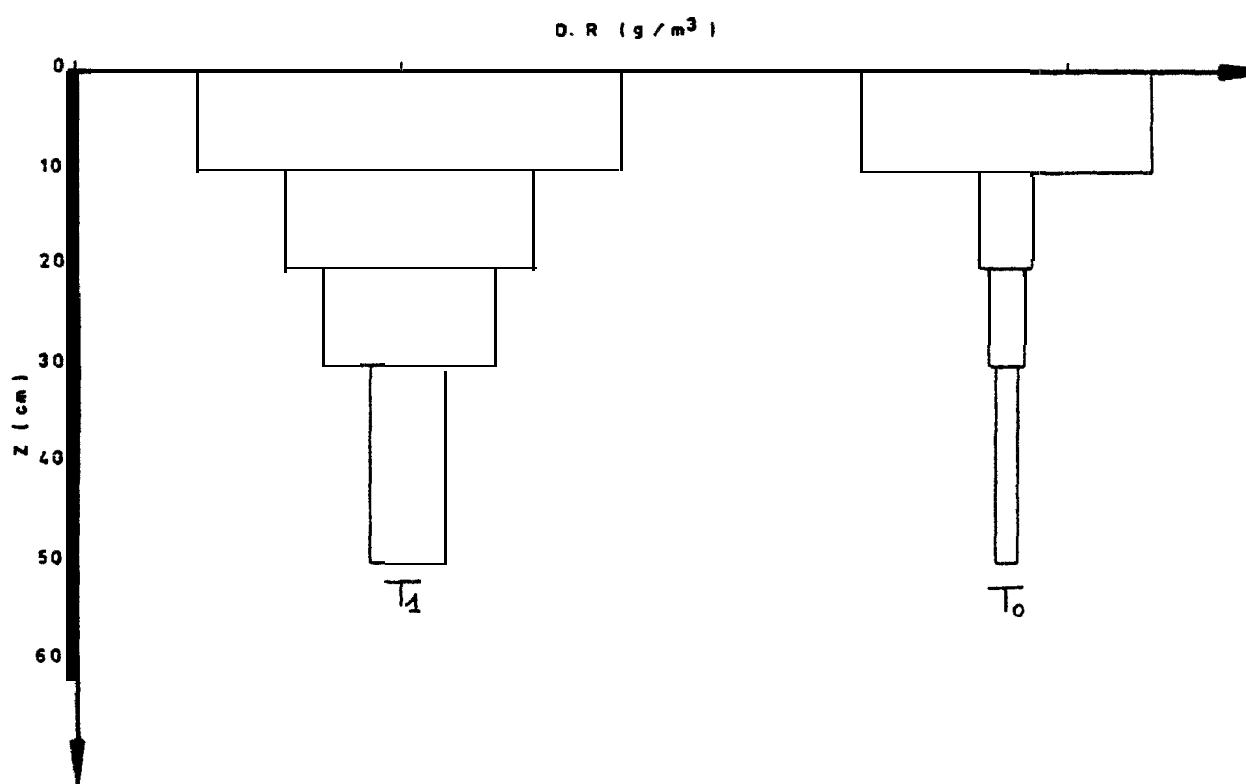


Figure 36 : Densité racinaire du mil à mi-cycle de développement végétatif horizons (0-50 cm) ~ 1984

Des corrélations significatives entre le poids des parties aériennes du pied de mil prélevé et celui de ses racines dans la couche 0 - 0.5 m ont été trouvées. Les coefficients de corrélations calculés sont reportés au tableau 37. Ces liaisons significatives mettent en évidence un effet de l'enracinement sur la production de matière **sèche** du mil.

Les observations faites sur les profils racinaires sont résumées au tableau 38. Elles montrent que dans la couche du sol comprise entre 0 et 0.5 m, l'enracinement du mil sur le traitement T1 est plus dense et présente une composante latérale plus importante. Par ailleurs, sur ce traitement les racines ne descendent pas au delà de 1.4 m, alors que sur T0 on trouve des racines jusqu'à 1.70 m.

Pour voir si les différences d'enracinement entre les deux traitements se manifestaient avant la mi-cycle, un suivi de l'évolution des masses racinaires dans les horizons 0-0.1 et 0.1 - 0.2 m a été réalisé en 1985. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 39.

Les différences au niveau de l'enracinement du mil se produisent donc assez tôt, à partir de la deuxième semaine après la levée. Elles se maintiennent par la suite jusqu'à la récolte. Il y a donc un effet précoce de la matière organique sur le développement racinaire du mil.

La recherche de corrélations entre les masses racinaires des horizons 0-0.1 et 0.1-0.2 m et les paramètres du sol mesurés dans ces mêmes horizons sur des échantillons de sol prélevés avant le semis du mil donne les valeurs des coefficients de corrélation présentées au tableau 40.

1.5- Effets des traitements sur l'épiaison et la floraison

Au tableau 41 sont présentées les périodes d'épiaison et de floraison du mil en fonction des traitements.

On observe retard très net dans l'apparition, sur le traitement sans matière organique (T0), de ces trois stades phénologiques. Ce retard est surtout très important pour la floraison de 50% des épis formés ; celui-ci est dû à une formation très étalée d'épis dont une bonne partie ne fructifiera pas.

Horizon (m)	Masses racinaires			T0	T1
	T0	T1			
0.0 - 0.1	3.10	5.10	P.A/P.R:	7.20	16.40
0.1 - 0.2	0.54	2.40			
0.2 - 0.3	0.47	2.30	r :	0.889***	0.856**
0.3 - 0.5	1.00	3.50			

Tableau 37 : Masses racinaires (en g/m²) du mil à mi-cycle.

P.A : poids des parties aériennes

P.R : poids des racines de la couche 0-0.5 m

r : coefficient de corrélation linéaire entre P.A et P.R

** : significatif à P = 0.01

*** : significatif à P = Ca.001

Période	T0		T1	
	0-0.1 m	0.1-0.2 m	0-0.1 m	0.1-0.2 m
15 J.A.L	0.04	0.02	0.05	0.02
30 J.A.L	0.33	0.06	1.41	0.19
45 J.A.L	3.30	0.47	5.90	2.70
75 J.A.L	10.50	2.20	15.30	4.20

Tableau 39 : Masses racinaires (en g/m²) du mil mesurées à différentes périodes - 1985 - J.A.L : jour après la levée.

	Carbone total %	Phosphore Total (ppm)	Phosphore Olsen (ppm)	PH eau
Masse racinaire (g/m ²)	0.797*	0.300 (NS)	0.865**0.856**	

Tableau 40 : Coefficients de corrélation linéaire (r) entre masses racinaires et paramètres du sol mesurés dans les mêmes horizons 0-0.1 et 0.1-0.2 m

NS : non significatif à P = 0.05 -

* : significatif à P = 0.05

** : significatif à P = 0.01

Horizons (m)	T0	T1
0 - 0.1	Bonne densité racinaire. Racines se développant latéralement jusqu'à 0.3 m dans l'interligne. Distance entre les racines, 2 à 3 cm environ	Forte densité racinaire. Racines très serrées et très développées latéralement , jusqu'à 0.4-0.5 m dans l'interligne.
0.1 - 0.2	Enracinement assez bon. Bonne distribution latérale des racines. Diminution de la densité racinaire par rapport au premier horizon.	Bonne densité racinaire. Racines allant latéralement jusqu'à 0.4 m dans l'interligne.
0.2 - 0.3	Racines à la verticale du pied plus nombreuses que celles distribuées latéralement.	Assez bonne densité racinaire. Équilibre entre la distribution verticale et latérale des racines.
0.3 - 0.5	Diminution très nette des racines latérales. Racines présentes surtout à la verticale du pied	Diminution des racines mais pas de prédominance dans la distribution verticale et latérale des racines.
0.5 - 0.7	Légère reprise de l' enracinement latéral mais il y a une nette prédominance des racines qui sont à la verticale du pied	Racines à la verticale du pied plus nombreuses que les racines latérales mais celles-ci demeurent encore assez longues (0.2 à 0.3 m)
0.7 - 1.1	On trouve quelques racines à la verticale du pied	Présence de quelques racines, assez distantes les unes des autres
1.1 - 1.5	même observation que pour l'horizon 0.7 - 1.1	quelques racines existent jusqu'à 1.40 m Au-delà de cette côte on observe plus de racines
m - - - -	- - - - m - - - -	- - - - - - - -
1.5 - 1.9	Quelques rares racines très distantes et à la verticale du pied. Au-delà de 1.70 m, on observe plus de racines.	

Tableau 38 : Description du profil racinaire du mil à mi-cycle de développement végétatif. 1984.

Le nombre **moyen** d'épis par **poquet**, déterminé à partir de la mi-cycle de **développement** du mil et les dimensions des épis à 'la récolte sont présentés au tableau 42.

Le nombre moyen d'épis par poquet obtenu sur le traitement TO confirme que la régression plus tardive du tallage sur ce traitement (tableau 36) traduit une stagnation du mil dans sa phase végétative au détriment de celle reproductrice.

Les **caractéristiques** mesurées des épis montrent que l'apport de matière organique accroît très nettement (**+44%**) leur surface ; et ce, par augmentation surtout de leur longueur. Le diamètre des **épis** sont, en effet, pratiquement les mêmes **sur** les deux traitements.

1.6- Effets des traitements sur les teneurs et les mobilisations minérales

Les valeurs des teneurs minérales sont données dans l'annexe 1. Aux figures 37 et 38 sont présentées l'évolution des teneurs et des mobilisations minérales.

Les taux moyens journaliers de mobilisation en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium sont présentés au tableau 43. Ces taux ont été obtenus par le calcul de la pente de la tangente aux courbes de mobilisations minérales, à la mi-temps des périodes considérées.

1.6.1- Azote et phosphore

Des différences de teneurs en azote, entre les deux traitements sont observées uniquement au 17e et au 45e jour après la levée (fig. 37-a). Au 17e jour après la levée, la teneur du mil en azote sur le traitement matière organique est de 26% supérieure à celle du traitement sans **matière** organique.

Les taux **moyens** journaliers de mobilisation en azote, entre le **20e** et le 60e jour après la levée du mil, sont toujours nettement plus élevés sur le traitement matière organique!. Sur celui-ci le **taux** de mobilisation le plus élevé est observé pendant la période 40-50 jours après la levée, et il **s'élève**

Stades phénologiques	T0 (J.A.L)	T1 (J.A.L)
Début épi aison	43 - 45	38 - 39
Début floraison	51 - 52	45 - 48
50% floraison	72 - 74	54 - 55

Tableau 41 : Périodes d'épiaison, de début floraison et de la floraison de 50% des épis formés. J.A.L : jour après la levée.

Période (J.A.L)	Nombre moyen d'épis/poquet		Dimensions		
	T0	T1		T0	T1
45	1	3			
52		4	L.E (cm)	41.6	54.8
59		5	D.E (cm)	1.951	2.11
53	2	5	S.E (cm ²)	254.7	363.1
70	2	5			

Tableau 42 : Nombre moyen d'épis/poquet et dimensions des épis à la récolte.

J.A.L = jour après la levée

L.E : longueur de l'épi - D.E : diamètre médian de l'épi

S.E : surface de l'épi (x D.E x L.E)

Période (J.A.L)	N		P		K		Ca		Mg	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1
20 - 30	0.11	10.70	0.07	0.13	0.20	1.22	0.01	0.15	0.01	0.25
30 - 40	0.23	1.10	0.10	0.21	0.30	2.25	0.03	0.35	0.01	0.41
40 - 50	0.41	12.33	0.08	0.32	0.45	2.60	0.21	0.61	0.10	0.55
50 - 60	0.71	1.76	0.06	0.30	0.90	1.30	0.33	0.75	0.14	0.30

Tableau 43 : Taux moyens journaliers (K/ha/jour) de mobilisation en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium du mil

J.A.L : jour après la levée.

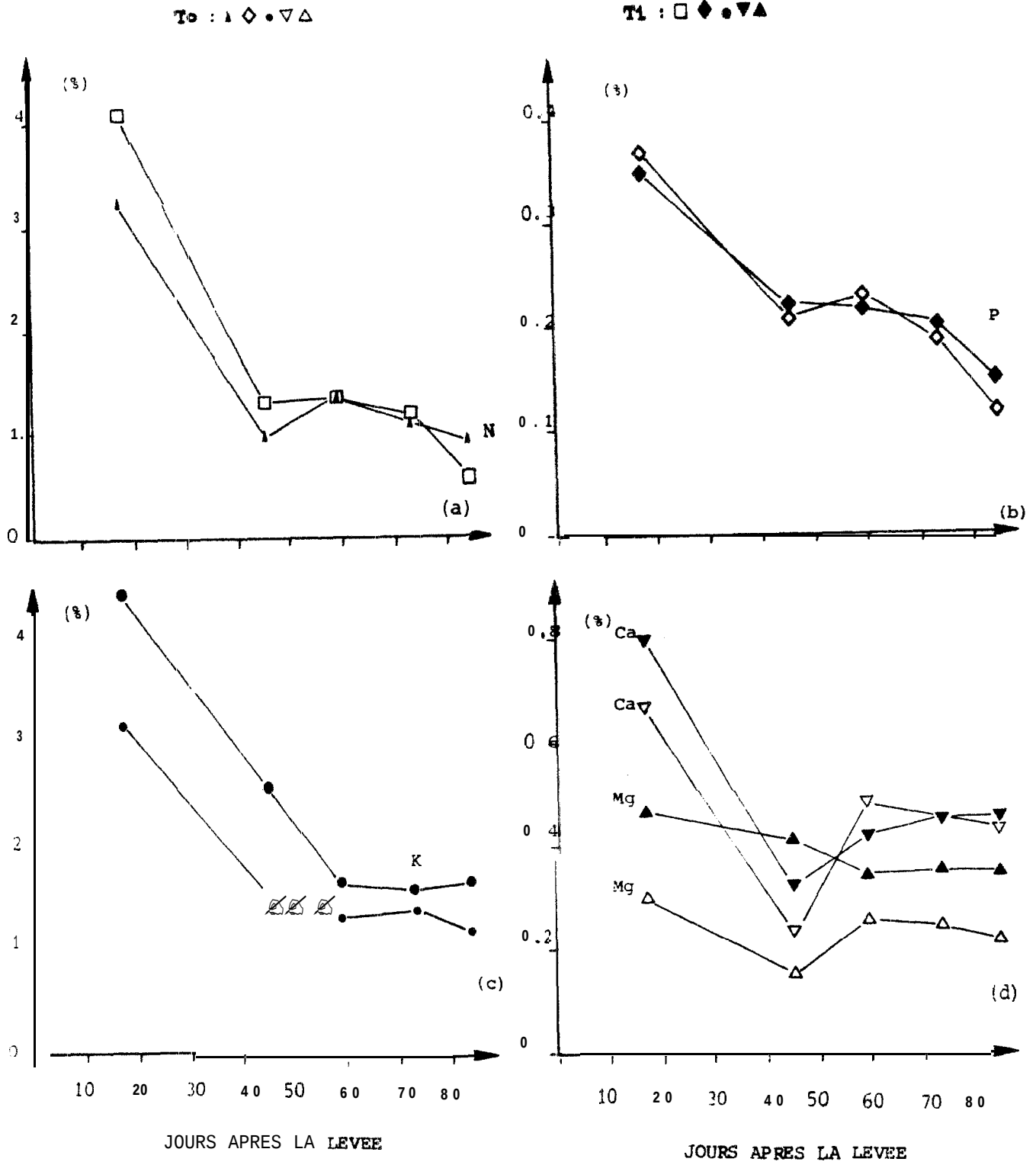
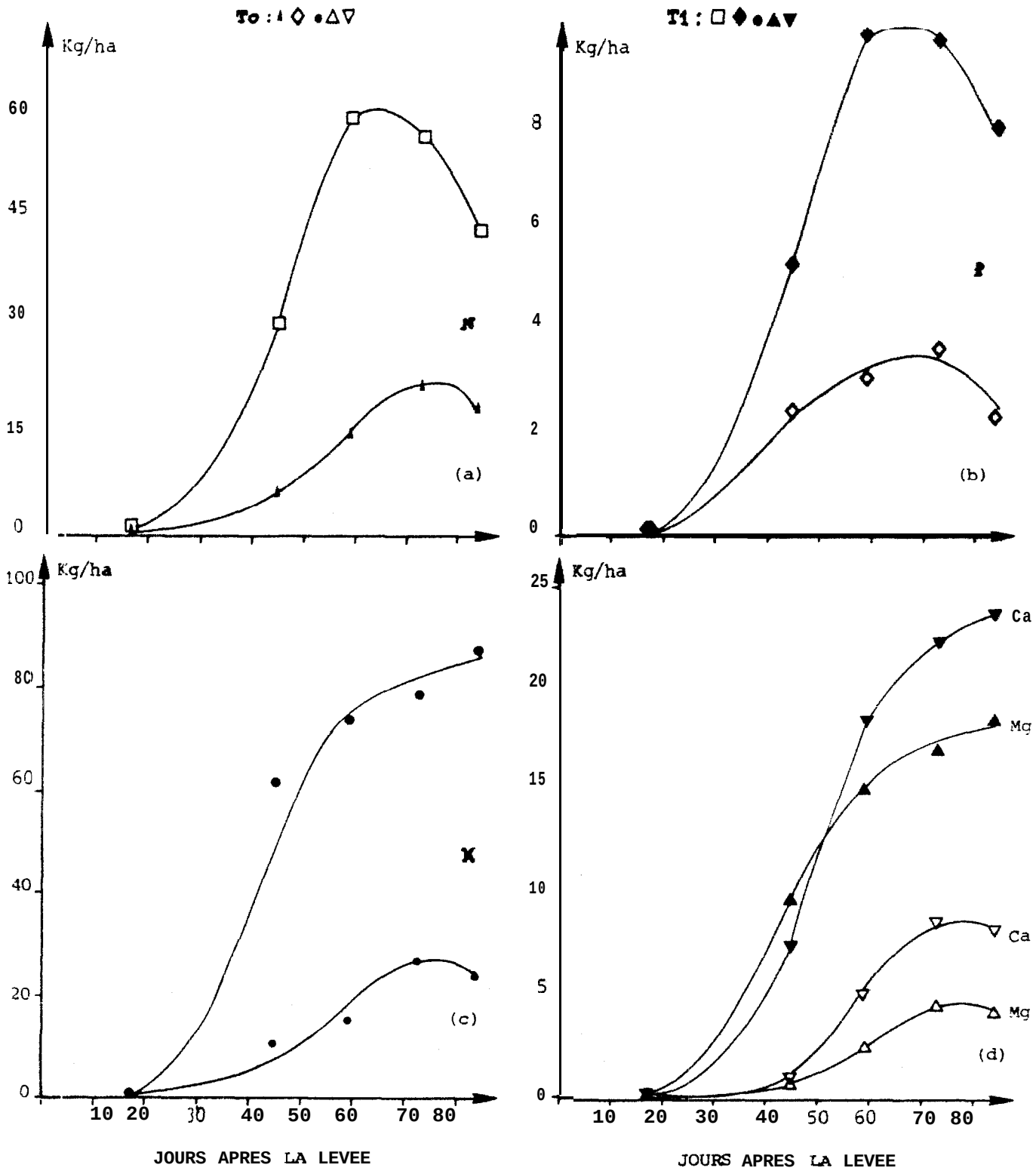


Figure 37 : Evolution des teneurs minérales des pailles du mil



à 2,3 Kg/ha/jour. Sur le traitement sans matière organique le taux maximum de mobilisation en azote est atteint entre le 50 et le 60e jour et il est de 0.7 Kg/ha/jour.

Pour le phasphore, on n'observe pratiquement pas sur les teneurs de la plante de différence entre les deux traitements (fig. 37-b). Mais on observe sur le traitement matière organique des taux journaliers de mobilisation en phosphore deux fois plus élevés entre le 20e et le 40e jour, et quatre fois plus élevés entre le 40e et le 60e jour après la levée que ceux obtenus sur le traitement sans matière organique.

1.6.2- Potassium, calcium et magnésium.

Des différences de teneurs en calcium sont observées seulement aux 17e et 45e jours après la levée (Fig. 37-d) ; par la suite il n'y a plus de différence entre les deux traitements. A ces deux dates l'apport de matière organique augmente les teneurs en calcium respectivement de 20 et 39%. Par contre, pour le potassium et le magnésium, les teneurs du mil sur le traitement matière organique sont toujours plus élevées que celles du traitement sans matière organique. Et c'est à la mi-cycle que l'on observe, pour ces deux éléments, les différences les plus élevées entre les deux traitements (Fig 37-c). A cette période, la matière organique induit une augmentation de la teneur du mil en potassium de 44% et double la teneur du mil en magnésium.

Les valeurs des taux journaliers de mobilisation en calcium, magnésium et potassium (tableau 43) montrent qu'à toutes les périodes considérées, ces 'taux sont beaucoup plus élevés sur le traitement matière organique. Vers la mi--cycle, ces taux sont respectivement pour les traitements sans et avec matière organique de 0.2 et 0.6 Kg/ha/jour pour la calcium ; de 0.1 et 0.5 Kg/ha/jour pour le magnésium et de 0.5 et 2.6 Kg/ha/jour pour le potassium.

1.6.3- Relations entre mobilisations minérales et masses racinaires

La recherche de liaison entre les mobilisations minérales et les masses racinaires effectuée sur les mesures racinaires faites aux 15e 30e 45e et 75e jour après la levée et des valeurs des mobilisations, à ces mêmes dates, déduites des courbes de la figure 38, a permis de mettre en évidence les relations présentées à la figure 39.

Pour les deux traitements, on observe des corrélations significatives entre les mobilisations en azote, phosphore et potassium et les masses racinaires. Les corrélations, pour le traitement matière organique, sont de type curvilinéaires. En effet les meilleures ajustements (valeurs de R^2 les plus élevées) trouvées sont quadratiques.

Pour le traitement sans matière organique, on a une corrélation linéaire pour le potassium ; une relation quadratique pour le phosphore et, pour l'azote, l'ajustement linéaire ou quadratique sont équivalents (même valeur de R^2).

Les mobilisations en calcium et en magnésium ne sont significativement corrélées aux masses racinaires que sur le traitement matière organique. Pour les deux éléments, les corrélations sont linéaires et significatives à $P = 0.01$.

VIII.2- EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE DEVELOPPEMENT ET L'ALIMENTATION MINERALE DE L'ARACHIDE

2.1- Effets des traitements sur la croissance pondérale

A la figure 40 sont représentées les courbes de croissance pondérale de l'arachide.

Jusqu'au 35e jour après la levée, on n'observe pas de différence sur le poids de matière sèche aérienne produite sur les deux traitements.

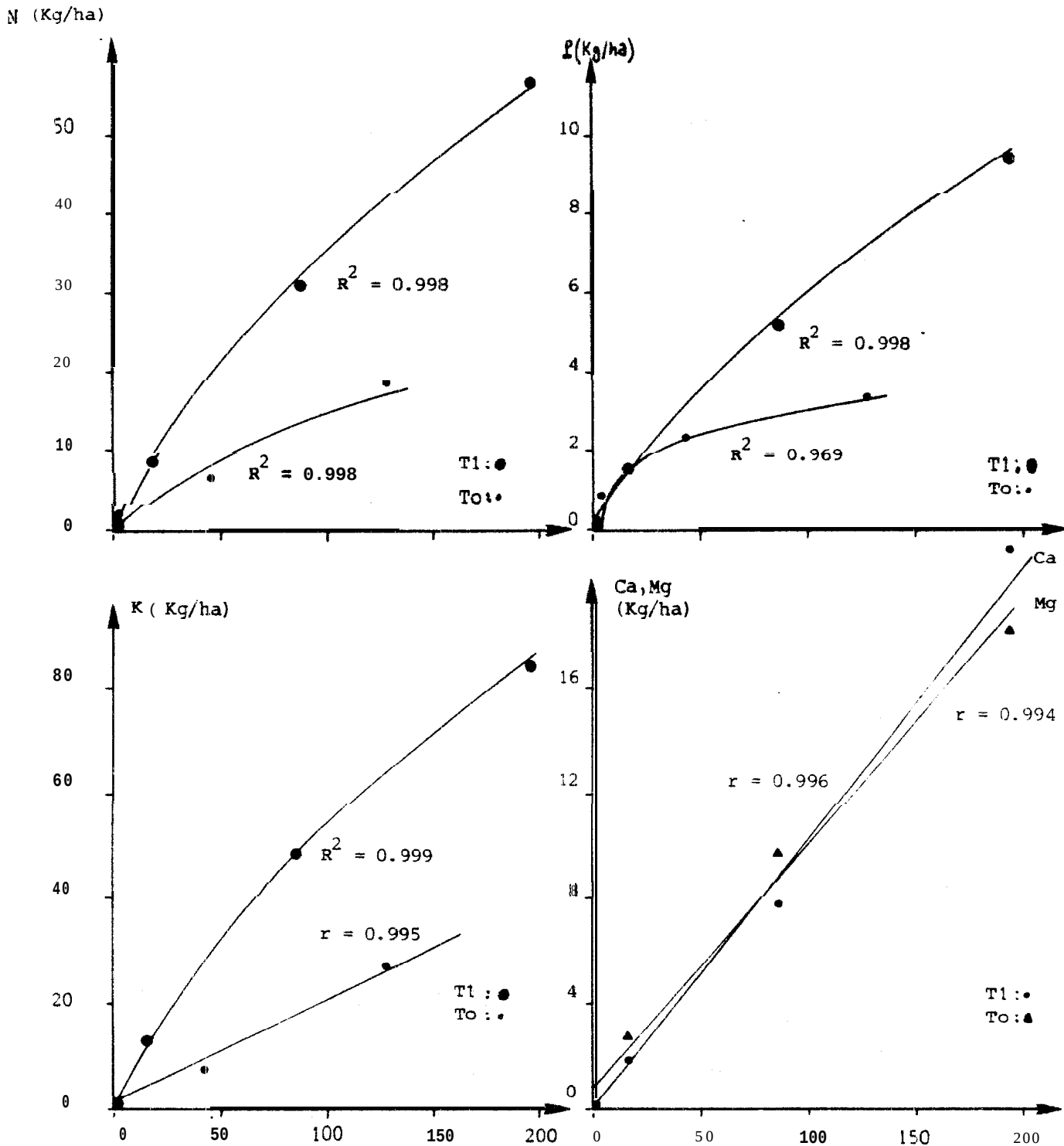


FIGURE 39 : RELATIONS ENTRE MOBILISATIONS MINERALES (Kg/ha) ET MASSES RACINAIRES (Kg/ha) DU MIL DE LA COUCHE DE SOL 0-2 m MESUREES AUX 15e, 30e, 45e et 75 e JOUR APRES LA LEVEE

$r = 0.95$; 0.99 ; 0.999 respectivement à $P = 0.05$; 0.01 ; 0.001

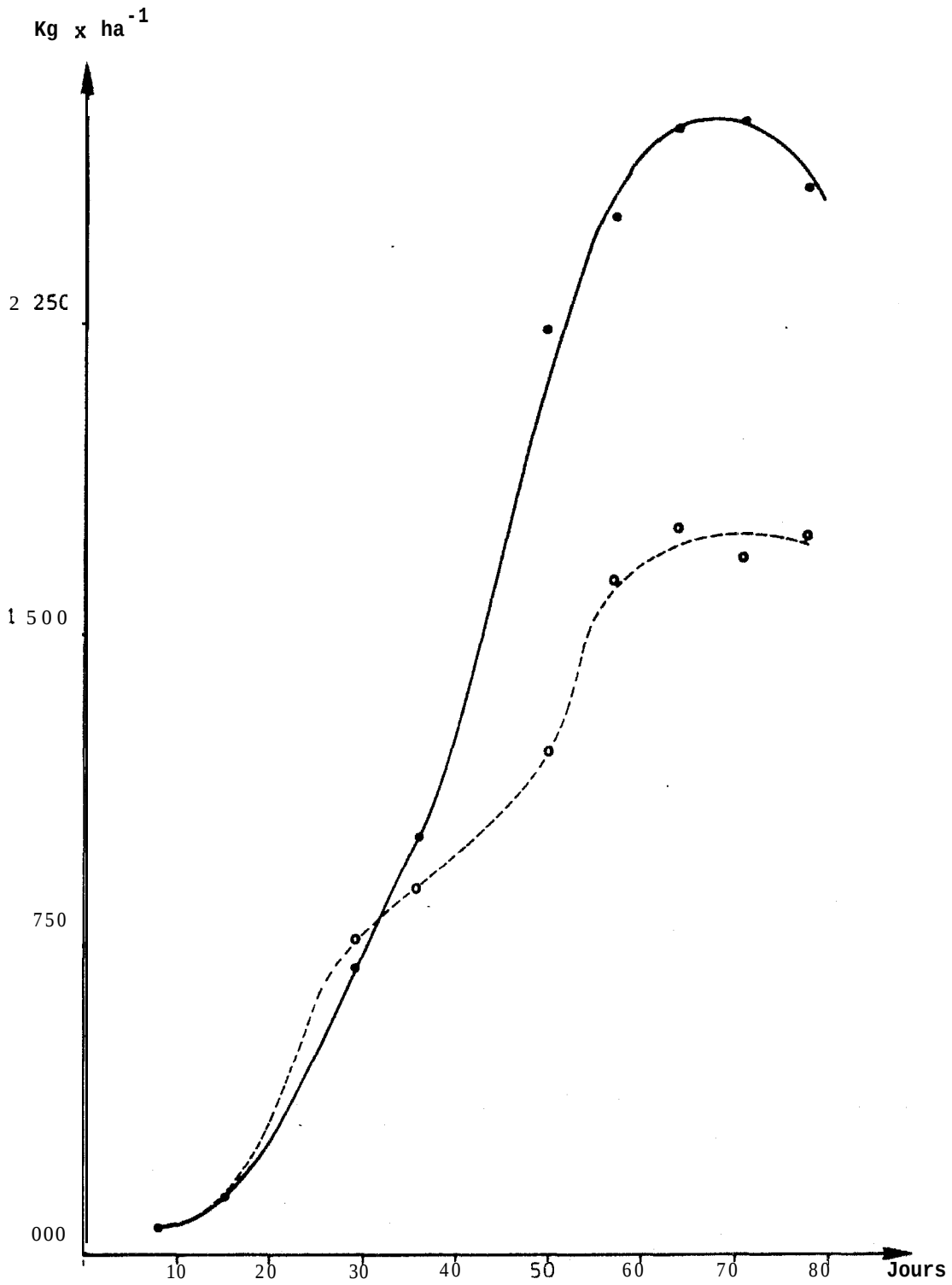


FIGURE 40 : COURBES DE CROISSANCE PONDERALE DE L'ARACHIDE (V 55-437)

T₁ —●—

T₀ -○-

A partir de cette date, alors que l'arachide se **développant** sur le traitement matière organique poursuit une phase de croissance pondérale rapide (phase linéaire), la croissance pondérale de l'arachide sur le traitement T0 est très nettement ralentie. Le rythme journalier de production de matière sèche à l'hectare (qui est égale à la pente de la courbe de croissance à une période donnée) passe ainsi sur ce traitement, de 52.5 (entre le 15e et le 30e jour après la **lèvement**) à 26.0 Kg/ha/jour (entre le **30e** et le 45e jour de végétation).

La production maximum de matière sèche est obtenue, sur les deux traitements, vers le **65e jour**. A ce stade, le traitement avec matière organique procure environ un surplus de matière sèche produite de 60%. Vers la fin du cycle végétatif on observe, sur le traitement matière organique, une diminution du poids de matière sèche produite consécutive à la chute des feuilles. Sur le traitement T0, ce phénomène est presque inexistant. Cela résulte d'une arrivée **à** la maturité plus précoce sur le traitement T1.

2.2- Effets des traitements sur l'enracinement

Les masses racinaires (en g/m^2) mesurées à mi-cycle de végétation, dans les horizons 0-0.1, 0.1-0.2, **0.2-0.3** et **0.3-0.5** m du sol et les rapports entre le poids **des** parties aériennes, (P.A) et celui des racines dans la couche 0-0.5 m du sol (P.R) sont présentés, au tableau 44.

La masse racinaire de l'arachide dans l'horizon 0-0.1 m est **accrue** de 18% par l'apport de matière organique. Dans les horizons **0.1-0.2** et **0.3-0.5** l'accroissement de la masse racinaire induite par la matière **organique** est de 10% environ.

Ces résultats comparés à ceux obtenus sur mil montrent que l'effet de la matière organique sur l'enracinement dans la couche 0-0.5 m du sol est plus important **sur** le mil que sur l'arachide. Cette différence est peut-être à lier **à** celle existant entre les morphologies des systèmes racinaires des deux plantes. En effet le mil a un système racinaire très ramifié en surface alors que l'arachide a un enracinement en pivot.

Les profils de densité **racinaire** (g/m^3), présentés à la figure 41, illustrent la faible différence d'enracinement dans la couche 0-0.5 m du sol entre les deux traitements.

Horizon (m)	T0	T1		T0	T1
0 - 0.1	11.85	14.04			
			P.A/P.R	4.00	5.10
0.1 - 0.2	4.70	5.19			
			r :	0.750 (ns)	0.447 (ns)
0.2 - 0.3	2.74	2.70			
0.3 - 0.5	4.56	5.11			

Tableau 44 : Masses racinaires (en g/m²) de l'arachide à mi-cycle
P.A : Poids des parties aériennes. P.R : poids des racines (0-0.5 m)
r : coefficient de corrélation entre P.A et P.R ;
ns : non significatif à P= 0.05.

	T0		T1	
Période	0-0.1 m	0.1-0.2 m	0-0.1 m	0.1-0.2 m
15 J.A.L	1.33	1.07	1.48	1.30
30 J.A.L	4.19	2.41	5.52	2.52
45 J.A.L	11.85	4.70	14.04	5.19
75 J.A.L	11.70	3.41	14.74	5.07

Tableau 46 : Masses racinaires (en g/m²) de l'arachide mesurées à différentes dates - 1985
J.A.L : Jour après la levée.

Traitement	Nombre de gousses par pied	Poids de 100 gousses (en g)	Nombre de gousses bigraines (en %)
T0	23 ± 6	40.1±7.0	9.5±1.0
T1	24 ± 8	57.4±0.4	32 ± 7.0

Tableau 47 : Nombre de gousses/pied, poids de 100 gousses et nombre de gousses bigraines mesurées à la récolte de l'arachide.

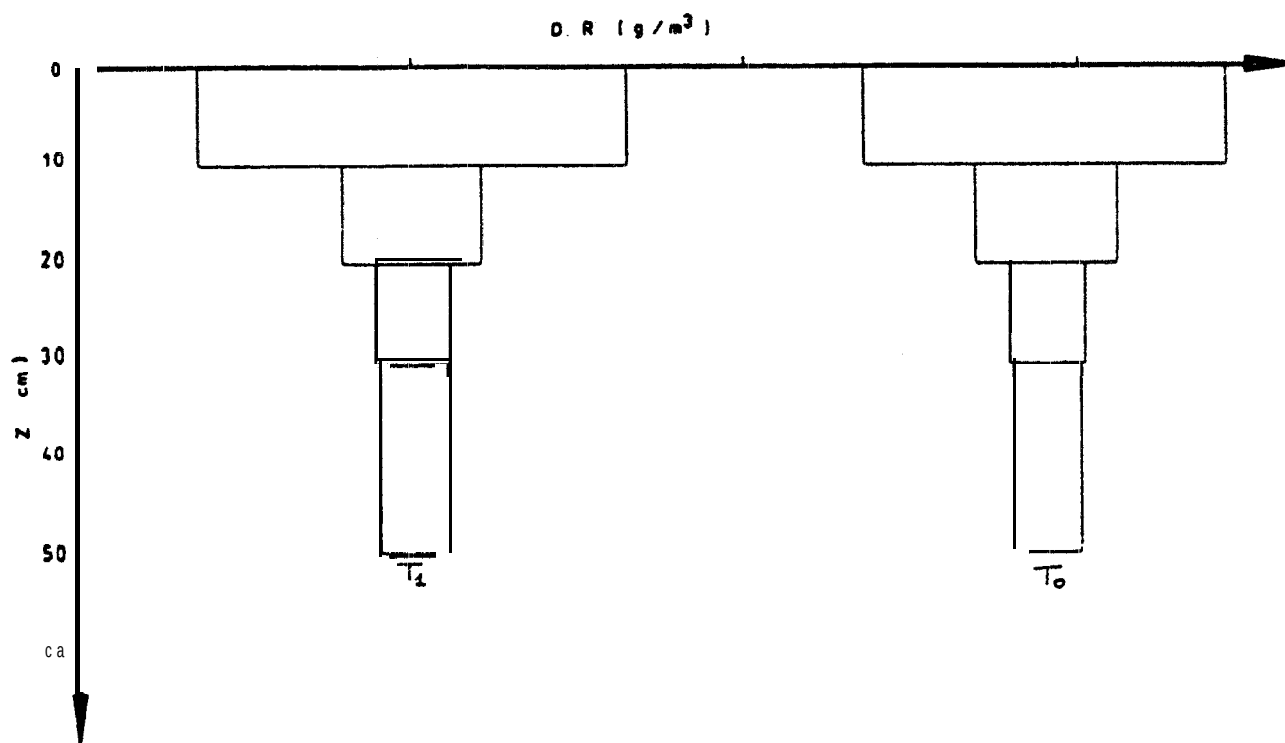


Figure 41 : Densité racinaire de l'arachide à mi-cycle de développement
végétal
Horizons (0-50 cm) - 1985

Les rapports entre poids des parties aériennes et des racines dans la couche 0-0.5 m du sol montrent une différence de près de 30% en faveur du traitement matière organique. Mais contrairement à ce qui a été observé sur le mil, la recherche de corrélation ne révèle pas de liaison significative entre le poids des parties aériennes et celui des racines (valeurs de r , tableau 44). On ne dispose, malheureusement pas, d'analyses de sols dans les blocs où les masses racinaires ont été mesurées. Ainsi on n'a pas pu effectuer de recherche de corrélation entre les masses racinaires et les paramètres du sol.

Les observations faites sur les profils racinaires de l'arachide à mi-cycle de développement végétatif sont résumées au tableau 45. On note sur le traitement avec matière organique un meilleur enracinement, caractérisé surtout, dans les trois premiers horizons, par un développement latéral des racines plus important que celui observé sur le traitement sans matière organique.

Latéralement les racines peuvent s'étaler sur le traitement avec matière organique, jusqu'à 0.4 m dans l'interligne contre seulement 0.15 m pour le traitement T0. L'examen des racines dans les horizons 0-0.1 et 0.1-0.2 m du sol montre également une présence de nodules plus nombreuse sur le traitement matière organique. Le profil racinaire de l'arachide, sur le traitement sans matière organique, révèle un déséquilibre important dans les distributions verticales et latérales des racines. Les racines, sur ce traitement, sont surtout développées à la verticale du pied de la plante. Et le pivot racinaire, sur ce traitement, descend moins profondément ; 0.7 m contre 1.1 m environ sur le traitement avec matière organique.

Les masses racinaires de l'arachide mesurées dans les horizons C-0.1 et 0.1-0.2 m du sol aux 15e, 30e, 45e et 75e jour après la levée sont présentées au tableau 46.

On observe, 15 jours après la levée, un accroissement de la masse racinaire sur le traitement T1, comparativement à T0, de 11% dans l'horizon 0-0.1 m et de 21% dans celui de 0.1-0.2 m. L'augmentation de la masse racinaire, dans l'horizon 0-0.1 m, due à la matière organique devient

Hari zon (m)	To	Tl
0 - 0.1	Enracinement moyen. Distance entre les racines 2 à 3 cm environ. les racines se développent latéralement jusqu'à 0.15 m. Peu de nodules sur les racines latérales.	Enracinement dense. Distance entre les racines 1 à 1,5 cm. Latéralement les racines atteignent 0.30 m. Beaucoup de nodule sur les racines latérales
0.1 - 0.2	Racines moins nombreuses que dans l'horizon 0-0.1 m et surtout présentent à la verticale du pied. Développement latéral limite (8 à 10 cm du pied)	Diminution du nombre de racines par rapport au 1er horizon. distance entre les racines, 2 cm environ. Latéralement les racines vont jusqu'à 0.4 m dans l'interligne.. Nombreuses nodules sur les racines latérales.
0.2 - 0.3	Peu de racines, très espacées et se développant latéralement au maximum à 0.15 m du pied	Moins de racines développées latéralement par rapport au 2e horizon mais latéralement les racines sont toujours assez longues (0.3 à 0.4 m)
0.3 - 0.4	Légère augmentation du nombre de racines présentent par rapport à l'horizon 0.2 - 0.3 m. Racines surtout distribuées à la verticale du pied.	Prédominance de racines distribuées verticalement. Racines développées latéralement sont toujours longues (0.3-0.35 m)
0.4 - 0.5	Très peu de racines. Faible développement latéral. Racines très espacées	Peu de racines présentent. Distance entre les racines, 5 cm environ
0.5 - 0.7	Apparaît un petit faisceau de racines très courtes. Limite du pivot à 0.7 m environ	Très faible présence de racines
0.7 - 1.2	---	Le pivot descend jusqu'à 0.11 m environ

Tableau 45 : Description du profil racinaire de l'arachide à mi-cycle de développement végétatif - 1985 -

plus importante au 30e jour après la levée (+32%). A partir du 30e jour les différences, en faveur du traitement matière organique, diminuent sensiblement dans cet horizon : +18% au 45e jour et +26% au 75e jour.

Dans l'horizon 0.1-0.2 m, l'accroissement de la masse racinaire induite par la matière organique est plus élevé vers la fin du cycle de végétation (+49% au 75e jour après la levée).

Bien que les différences dans l'enracinement de l'arachide soient plus faibles que celles observées sur le mil, elles se manifestent également assez tôt, comme dans le cas du mil.

2.3- Effets des traitements sur la floraison et sur les caractéristiques et le nombre de gousses par pied

Les courbes de floraison cumulée de 3 'arachide sont représentées à la figure 42.

La floraison commence au même moment (19-20e jour après la levée) sur les deux traitements. Jusqu'au 35e jour, on n'observe pas de fortes différences entre les deux traitements. A partir du 35e jour, il se produit un ralentissement très net de la floraison de l'arachide sur le traitement sans matière organique tandis qu'en présence de matière organique, elle se poursuit à peu près sur le même rythme.

Vers le 55e jour, l'écart entre les deux traitements sur le nombre de fleurs par pied est de 30% environ en faveur du traitement matière organique. Cet écart se maintient jusqu'au 70e jour, date où le maximum du nombre de fleurs par pied est atteint sur les deux traitements.

Le nombre de gousses par pied, déterminé sur 5 fois trois siedo par traitement, le poids de 100 gousses et le nombre de gousses bigraines mesurés sur trois fois 100 gousses par traitement sont reportés au tableau 47.

On n'observe pas de différence, entre les deux traitements, sur le nombre de gousses par pied. Par contre le poids de 100 gousses est accru de 43% par la matière organique. Le nombre de gousses bigraines est également plus élevé sur le traitement matière organique, 32% contre 9.5% pour le traitement sans matière organique.

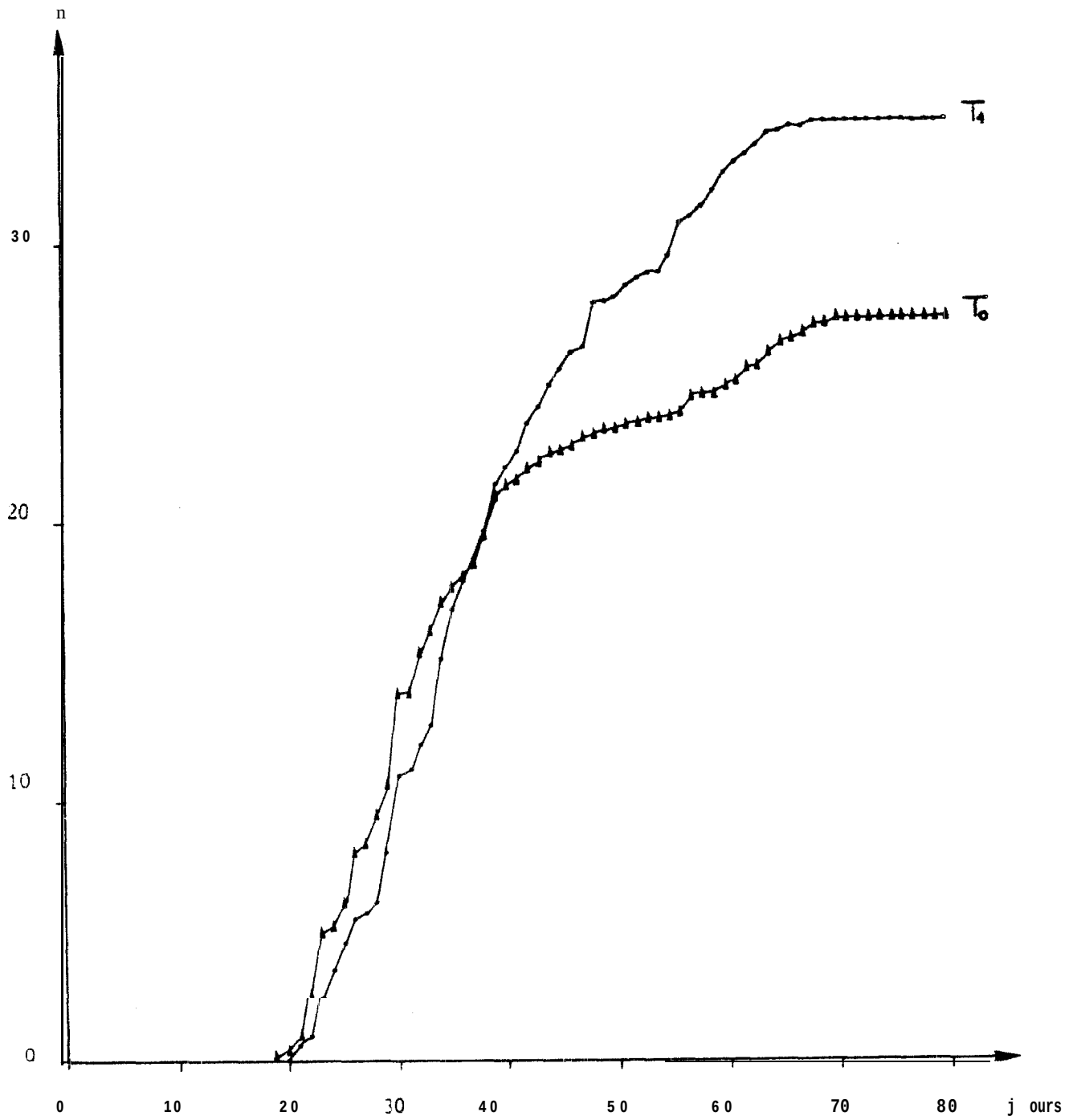


FIGURE 42: FLORAISON CUMULEE - ARACHIDE (V : 55 - 437)

2.4 - Effets des traitements sur les teneurs et les mobilisations minérales

Les valeurs des teneurs minérales de l'arachide déterminées à différentes dates sont données dans l'annexe 1. Les figures 43 et 44 représentent l'évolution de ces teneurs et celle des mobilisations minérales.

Au tableau 48 sont reportées les valeurs moyennes des taux journaliers de mobilisation en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium déterminées à différentes périodes au cours de la première moitié du développement végétatif de l'arachide.

2.4.1- Azote et phosphore

L'effet des traitements sur les teneurs en azote et en phosphore ne se manifeste qu'à partir du 35e jour après la levée (fig. 43-a et 43-b). Les différences les plus importantes sont observées entre le 40e et le 50e jour après la levée. Pendant cette période les teneurs en azote et en phosphore, sur le traitement avec matière organique sont en moyenne supérieures à celles du traitement sans matière organique de 40%.

Les valeurs des taux moyens journaliers de mobilisation en azote et en phosphore révèlent des différences de plus en plus importantes, de la période 10-20e jour après la levée à celle de 40-50e jour après la levée (tableau 48). A mi-cycle de développement végétatif de l'arachide, les taux journaliers de mobilisation en azote et en phosphore sur le traitement avec matière organique sont de 4 à 5 fois supérieurs à ceux du traitement sans matière organique.

2.4.2- Potassium, calcium et magnésium

Entre les deux traitements on n'observe pratiquement pas de différence sur les teneurs en calcium de l'arachide (fig. 43-d). Sur les taux journaliers de mobilisation en calcium, l'effet des traitements fait apparaître des différences entre le 40e et le 50e jour après la levée.

Au cours de cette période, la mobilisation journalière en calcium est de 2,5 fois plus élevée sur le traitement avec matière organique.

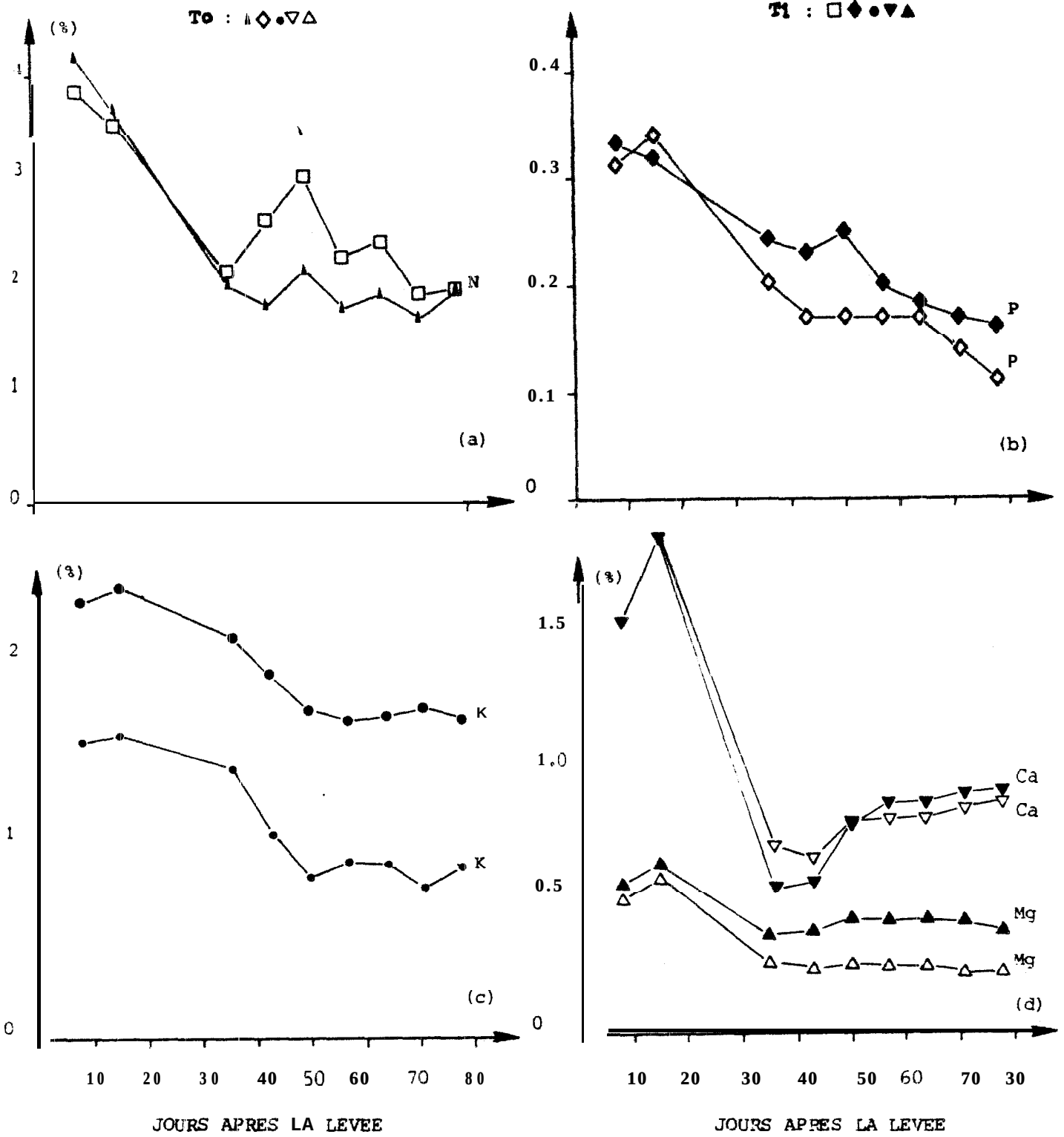


FIGURE 43 : EVOLUTION DES TENEURS MINERALES DES FANES DE L'ARACHIDE

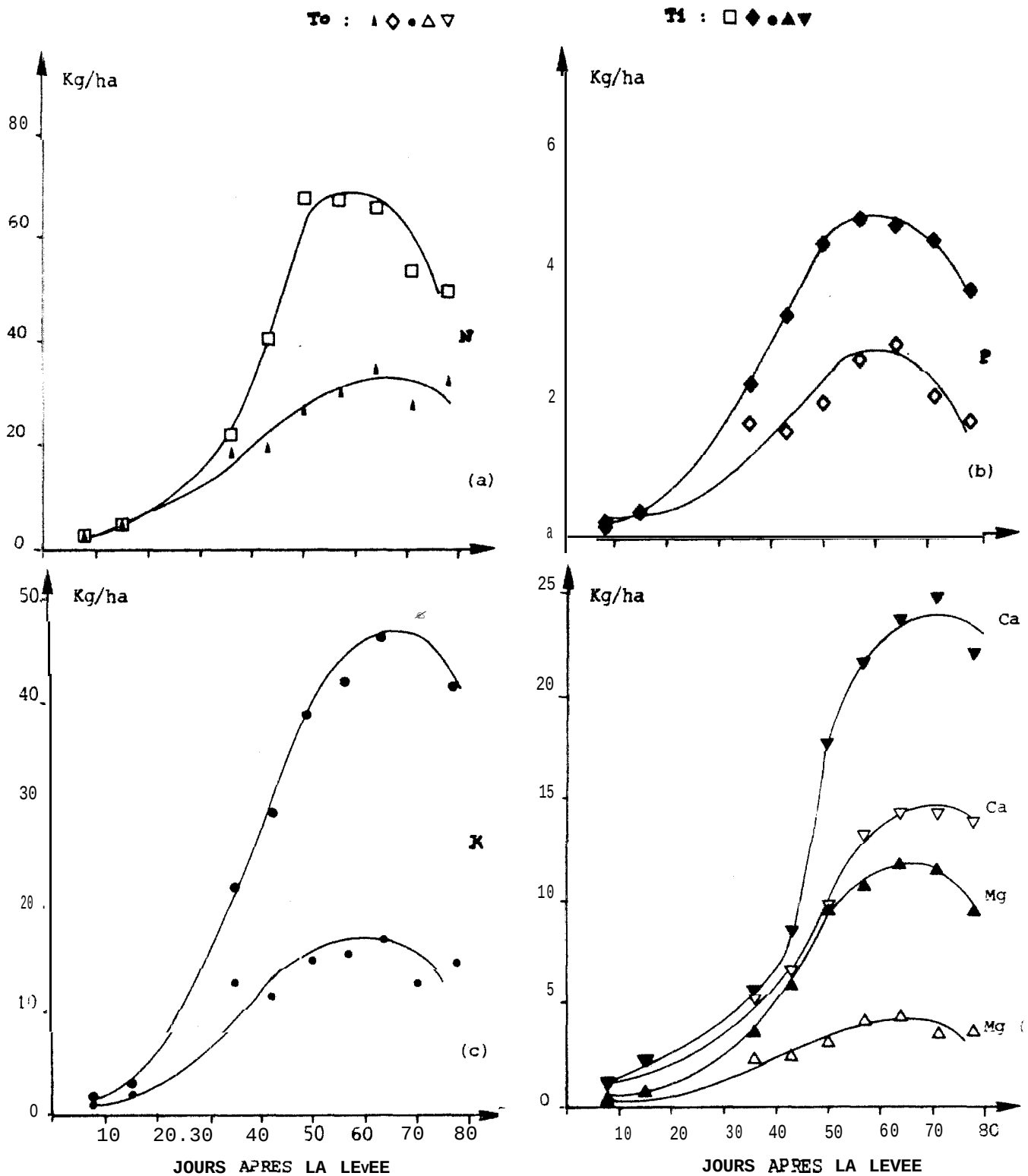


FIGURE 44 : COURBES DE MOBILISATIONS MINERALES DES FANES (ARACHIDE)
 (a) : azote ; (b) : phosphore ; (c) : potassium
 (d) : calcium et magnésium

Période	N		P		K		Ca		Mg	
J.A.L.	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1
10 - 20	0.40	0.40	0.008	0.05	0.18	0.40	0.09	0.11	0.02	0.11
20 - 30	0.60	0.90	0.04	0.09	0.30	0.90	0.13	0.15	0.06	0.16
30 - 40	0.70	1.10	0.07	0.13	0.50	1.00	0.20	0.25	0.13	0.25
40 - 50	0.85	3.80	0.09	0.50	0.50	1.30	0.40	1.05	0.13	1.10

Tableau 48 : Taux moyens journaliers de mobilisation (Kg/ha/jour) en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium par les fanes d'arachide
J.A.L = jour après la levée

	N-Engrais		C.U.N.	N-FIXATION		N-SOL		N-TOTAL
Traitement	%	Kg/ha	%	%	kg/ha	%	Kg/ha	Kg/ha
T0	6.73	0.63	5.4	67.1	6.24	26.1	2.43	9.3
T1	2.13	0.75	4.5	74.6	26.2	23.2	2.15	35.1

Tableau 49 : sources et quantités d'azote mobilisées par l'arachide - 1985 -
N-Engrais : N-Fixation ; N-sol : azote provenant de l'engrais, de la fixation et du sol
C.U.N : Coefficient d'utilisation de l'azote starter appliqué au semis à raison de 14 Kg/ha

	MIL		ARACHIDE	
Eléments	To	T1	To	T1
N	8.0	18	3.6	14.1
P	1.6	2.4	0.4	1.9
K	8.8	19.6	2.1	4.8

Tableau 50 : Quantités d'azote, de phosphore et de potassium mobilisées par gramme de racine et par jour (mg, g, j) calculées à mi-cycle et en considérant la masse racinaire de la couche 0-0.5 m du sol.

Comme pour l'azote et le phosphore, c'est vers le 35^e jour que l'on observe des différences, entre les traitements, sur les teneurs en magnésium (fig. 43-d). Vers la mi-cycle, ces différences sont environ de 60% en faveur du traitement avec matière organique. Les taux journaliers de mobilisation en magnésium montrent par contre des différences importantes entre les deux traitements, et en faveur de l'apport de matière organique, dès la période 10-20 jours après la levée.

Pour le potassium, pendant tout le cycle de développement de l'arachide, les teneurs de la plante sur le traitement matière organique sont nettement plus élevées (fig. 43-c) : 50% environ au cours du premier mois de végétation et près de 100% à partir de la mi-cycle. Les valeurs des taux de mobilisation en potassium montrent en général, une mobilisation de deux à trois fois plus élevée sur le traitement matière organique.

2.5- Relations entre mobilisations minérales et masses racinaires

Afin de voir s'il y avait des relations entre les mobilisations minérales et les masses racinaires on a représenté les valeurs des masses racinaires de la couche 0-0.2 m mesurées à quatre dates au cours du développement de l'arachide en fonction des mobilisations minérales tirées aux mêmes dates des courbes de la figure 44. Les relations obtenues sont présentées à la figure 45.

Entre les mobilisations de l'azote, du phosphore et du potassium et les masses racinaires de la couche 0-0.2 m on observe des corrélations significatives. Si pour le phosphore et le potassium, éléments qui sont essentiellement confinés dans les horizons de surface du sol du fait de leur très faible mobilité à travers le profil, l'enracinement des couches de surface pourrait effectivement avoir un effet important sur leur prélèvement par la plante, par contre la relation entre l'azote mobilisé et la masse racinaire peut paraître sans signification réelle, dans la mesure où l'alimentation azotée de l'arachide est principalement assurée par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. En fait l'accroissement de la masse racinaire dans la couche 0-0.2 m où on observe la quasi-totalité des nodosités de l'arachide (tableau 45) pourrait refléter indirectement celui du nombre et/ou du poids des nodosités ; ce qui expliquerait la relation mise en évidence.

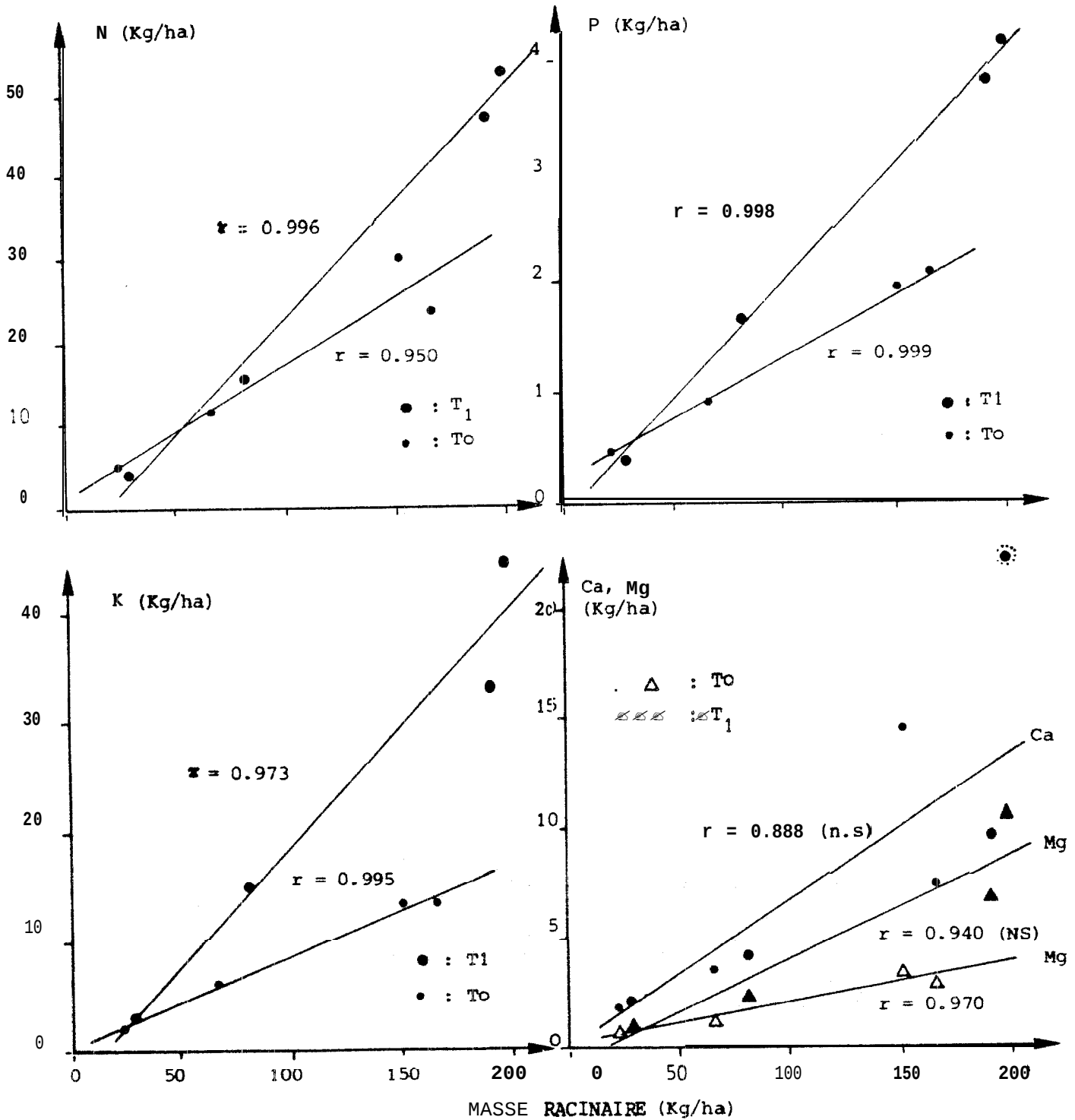


FIGURE 4.5 : RELATIONS ENTRE MOBILISATIONS MINERALES (Kg/ha) ET MASSES RACINAIRES (Kg/ DE LA COUCHE 0 - 0.2 m MESURES SUR L'ARACHIDE AUX 15e, 30e, 45e et 75e JO APRES LA LEVEE.

n.s. : non significatif à $P = 0.05$

Y : 0.35, 0.99, 0.999 respectivement à $P = 0.05$, 0.01 et 0.001

Pour le calcium et le magnésium, on n'observe pas, sauf sur le traitement TO pour le magnésium, de liaison significative entre les mobilisations de ces éléments et les masses racinaires. Cela pourrait résulter de la très grande mobilité de ces éléments à travers le profil (figure 30) qui rendrait l'enracinement de surface mal approprié pour montrer une éventuelle liaison entre le prélèvement de ces deux éléments par la plante et les masses racinaires des couches de surface.

2.6- Effet des traitements sur la fixation symbiotique de l'azote par l'arachide

Des résultats plus détaillés de cette étude seront présentés prochainement par GANRY, dans une thèse consacrée à l'étude de la fixation symbiotique de l'azote par les principales légumineuses du Sénégal dans divers agro-systèmes cultivés. On se limitera donc à présenter très **succinctement** les résultats obtenus.

La méthode utilisée pour cette étude est celle basée sur le concept de la valeur A, développée par l'Agence Internationale pour l'énergie atomique et présentée notamment dans le document technique IAEA-TECDOC-288/1983.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau 49. On a utilisé pour les calculs de l'azote mobilisé par la plante et provenant des trois sources que sont l'engrais minéral apporté, la fixation symbiotique et l'azote du sol, l'arachide non nodulante comme plante de référence car, comparativement au mil (deuxième plante de référence utilisée au champ) on peut supposer qu'elle a une capacité d'utilisation de l'azote du sol et de l'engrais appliqué plus proche de l'arachide que ne l'est le mil.

Les quantités d'azote mobilisées par l'arachide ont été particulièrement faibles en 1983. Il faut signaler que 1983 a été l'année la **plus** sèche durant la période 1972-1985. La pluviométrie totale a été de 200 mm environ et la pluviométrie utile (semis-récolte), de 145 mm. Les rendements obtenus ont été très faibles et s'élèvent à 177 et 420 Kg/ha de gousses respectivement pour les traitements TO et T1.

Il est cependant remarquable de noter, malgré l'extrême **sécheresse** de l'année, que la quantité d'azote fixée sur le traitement avec matière organique (26 Kg/ha) est quatre fois plus élevée que celle fixée par l'arachide sur le traitement **sans** matière organique (6 Kg/ha).

La part de l'azote du sol dans l'alimentation azotée de l'arachide, contrairement à quoi on s'attendait, n'est que légèrement plus élevée sur le traitement sans matière organique (26% contre 23%) et les quantités d'azote prélevées au sol sont plus grandes sur le traitement matière organique (8 Kg/ha d'azote contre 2,4 Kg/ha, pour le traitement T0).

Malgré une teneur en azote du sol très faible, l'azote starter apporté pour subvenir aux besoins de la plante en tout début de cycle au moment où la symbiose arachide-rhizobium n'est pas encore bien établie et fonctionnelle, est très peu utilisé. Son coefficient d'utilisation est en effet de l'ordre de 5%.

Dans les conditions de cette étude! (sol **très** pauvre en matière organique, pluviométrie **très** faible et sévèrement **limitante**), ce résultat constitue un élément important en faveur de la suppression de l'azote starter sur arachide dans toute la zone de culture de cette plante. En effet, on avance souvent que cette suppression ne se justifie que dans les zones de culture à pluviométrie **satisfaisante** et où les **sols** sont relativement assez bien pourvus en matière organique. Le résultat obtenu à Thilmakha ne **confirme** pas cette hypothèse.

Enfin,, il nous apparaît indispensable de refaire une telle **étude** dans des conditions pluviométriques plus favorables afin de mieux apprécier l'effet de la **matière** organique apportée sur la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par l'arachide.

VIII.3- EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS

Compte tenu du **grand** nombre de facteurs étudiés et des variables caractérisées quantitativement et /ou qualitativement une analyse multivariée, du type analyse en composantes principales, serait probablement mieux appropriée pour tenter d'établir globalement les liaisons entre les

mesures et observations faites et les rendements des cultures, Malheureusement une telle méthode d'analyse globale **n'est** pas applicable dans les conditions de cette étude compte tenu du nombre limité de répétitions (trois) par rapport aux nombreuses mesures faites sur le sol et les plantes. On a donc été amené à considérer séparément l'influence des facteurs étudiés sur les rendements. Dans cette démarche explicative, l'analyse de l'influence **sur** 'les rendements de l'alimentation hydrique et minérale des plantes est faite à partir d'une représentation graphique de la distribution des rendements mesurés sur les deux traitements étudiés en fonction de ces facteurs.

Les rendements en matière **sèche** totale et ceux en grains et en gousses du mil et de l'arachide obtenus depuis 1983 sur chacun des sites de mesures sont représentés à la figure 46, en fonction des consommations hydriques mesurés sur ces mêmes sites.

L'influence de l'alimentation minérale sur les rendements est étudiée par l'analyse des relations entre ceux-ci et les teneurs minérales des plantes. Cette analyse est effectuée sur les données obtenues en 1985. A la figure 47 est représentée la répartition des rendements en mil-grain en fonction des teneurs en N, K, Ca et Mg mesurées aux 17e et 45e jours après la levée. On s'est limité à ces deux dates et à ces éléments parce que d'une **part**, l'alimentation phosphatée n'a pratiquement pas eu **d'influence** sur les différences de rendements du mil entre les deux traitements, ce qui pourrait être lié à l'absence d'effet des traitements sur les teneurs en P, et d'autre part, les teneurs minérales du mil ne présentent de différences notables entre les deux traitements que pendant la première moitié du cycle de la plante (figure 37).

Les figures 48 et 49 représentent les relations entre les rendements en gousses de l'arachide et les teneurs des fanes en N, P, K et Mg mesurées à certaines dates. Du fait probablement que les teneurs en Ca ne présentent aucune différence entre les deux traitements (figure 43) on n'a pas observé de liaisons entre celles-ci et les rendements.

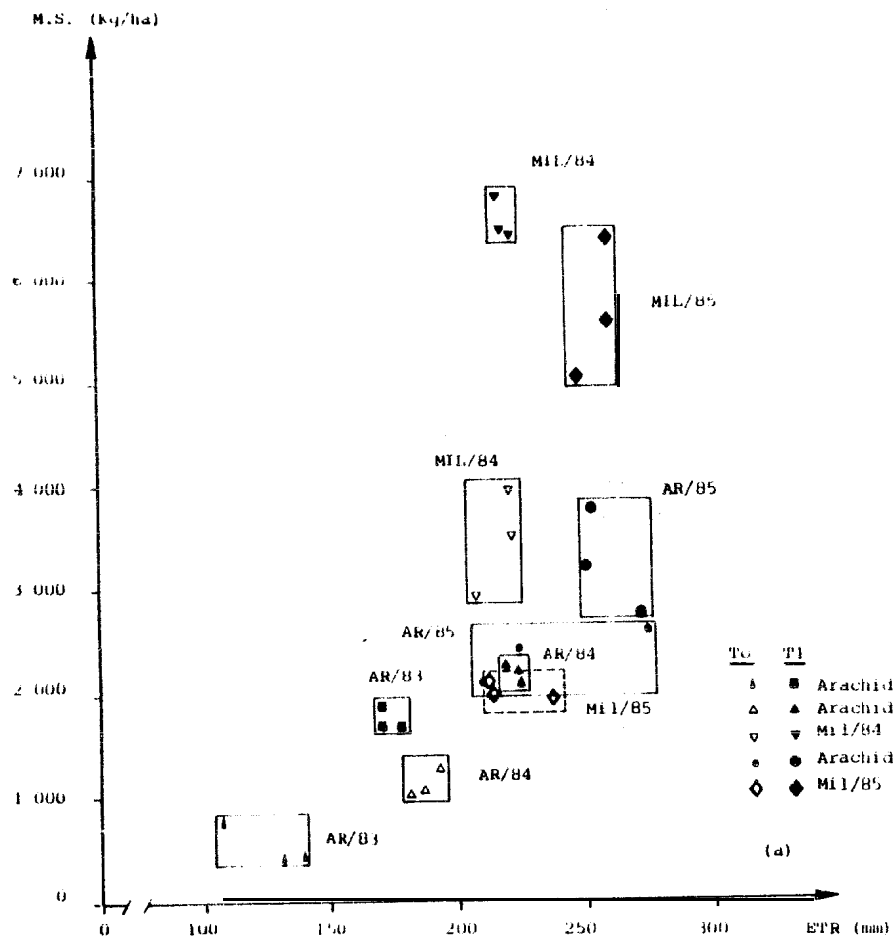
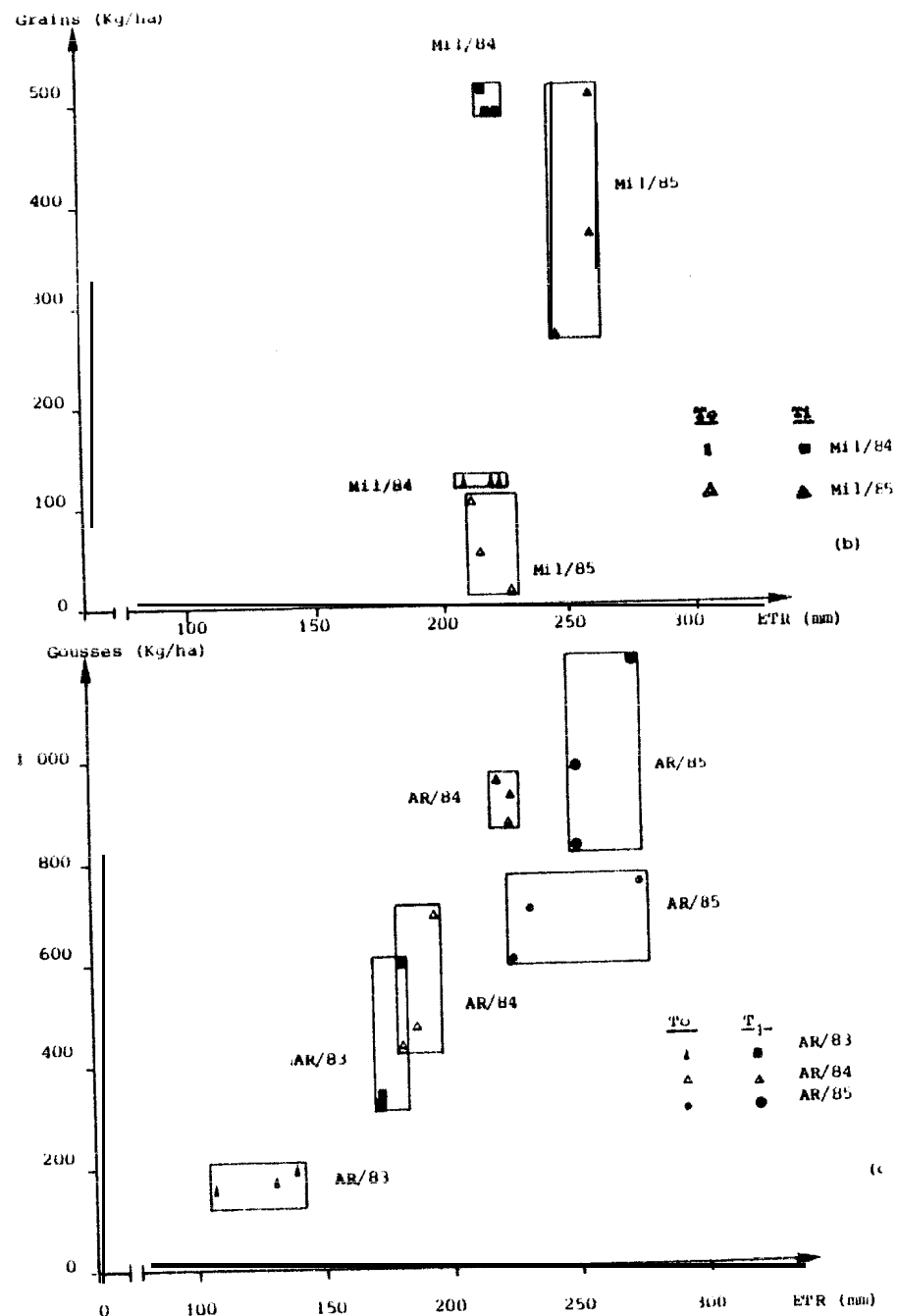


FIGURE 46 . RELATIONS ENTRE RENDEMENTS EN MATIERE SECHE TOTALE (a), EN MIL-GRAIN (b) ET EN ARACHIDE-GOUSSES (c) ET CONSOMMATIONS HYDRIQUES GLOBALES (ETR, en mm)



3.1- Culture de mil

Pour l'année 1984, pour des consommations hydriques globales identiques sur les deux traitements, la production du traitement matière organique en matière **sèche** totale est deux fois plus élevée que celle du traitement sans matière organique.

En 1985, pour une différence de consommation hydrique globale de 39 mm en faveur du traitement matière organique, le rendement du mil sur ce traitement est trois fois plus élevé que celui du traitement sans matière organique. Ces observations amènent tout naturellement à la conclusion que les consommations hydriques globales n'ont pas dans ces conditions une influence prépondérante sur les rendements du mil. Il faudrait donc plutôt considérer les consommations hydriques pendant certaines périodes du développement de la plante, analyse qui se révèle d'autant plus nécessaire qu'on observe toujours en fin de cycle, sur le traitement sans matière organique, une consommation hydrique plus élevée qui atténue voir. annule les différences existantes jusqu'à cette période, entre les deux traitements.

En 1985, sur le traitement matière organique, pendant la floraison (45-55 jours après la levée) le taux de satisfaction des besoins en eau du mil est de l'ordre de 80%. Pendant la formation des grains à partir du 60^e jour, ce taux est d'environ 68%. Sur le traitement sans matière organique, les besoins en eau du mil ne sont satisfaits qu'à 62% en début de floraison (50-52 jours après la levée); en fin de floraison - début de formation des grains, ils ne sont satisfaits qu'à 30% environ.

L'alimentation hydrique du mil sur le traitement matière organique a été **donc** meilleure pendant la phase allant de la floraison au début de la formation des grains.

Compte tenu de la très grande influence de l'alimentation hydrique pendant **cette** phase sur le rendement du mil (DANCETTE, 1982), la contribution de celle-ci sur l'augmentation du rendement du mil sur le traitement matière organique serait donc une meilleure satisfaction de ces besoins pendant cette phase critique.

On notera **que** les rendements ne sont pas plus élevés en 1985 qu'en 1984, année où la pluviométrie a été plus faible et les consommations hydriques globales sur les traitements sans et avec matière organique

respectivement égales et **inférieures** à celles de 1985. En comparant (tableau 21 et 23), pendant la période s'étalant de la fin floraison début de formation des grains (60e jour après la levée) jusqu'à la maturité, les taux de satisfaction des besoins en eau au cours de ces deux années, on constate alors **que**, sur les deux traitements, ces taux sont en 1984 plus élevés que ceux de 1985. En améliorant l'alimentation hydrique du mil, particulièrement pendant la phase **fin** floraison - début de formation de grains, la matière organique **peut** induire ainsi un accroissement de son rendement.

La **distribution** des rendements en fonction des teneurs en azote, potassium, calcium et magnésium mesurées aux 17e et 45e jour après la levée (figure 47) montre que les teneurs en **Ca** ne discriminent pas les rendements obtenus sur les deux traitements. Les rendements plus élevés sur le traitement matière organique **sont par** contre assez bien liés aux teneurs en K et en Mg.

Pour l'azote, c'est surtout la meilleure alimentation en début de cycle, sur le traitement matière organique, qui contribuerait à l'obtention de rendement plus élevé sur ce traitement.

3.2- Culture d'arachide

D'une façon générale, les rendements de l'arachide augmentent consécutivement à l'augmentation des consommations hydriques globales (figures 46-a et 46-c). Ceci **apparaît** très clairement si on compare les rendements des deux traitements en 1983 (année la plus sèche) à ceux de 1985 (année la plus pluvieuse). Les différences relatives entre les rendements en gousses des deux traitements varient dans le même sens que celles existant entre les consommations hydriques globales ; mais on observe que pendant **l'année** où la **contrainte** hydrique est la plus sévère l'augmentation relative du rendement en gousses induite par la matière organique est la plus importante. Si les rendements de l'arachide sont assez bien liés aux consommations hydriques globales, on observe cependant, en 1985 où celles-ci sont égales sur les deux traitements, que la **matière** organique induit **un** surplus de rendement en **gousses** de 300 kg/ha par rapport au traitement **sans** matière organique. Il est possible que ce surplus de rendement soit dû **à** un autre facteur (alimentation hydrique par exemple). L'analyse détaillée des consommations hydriques pendant le cycle de la plante révèle cependant que durant la période allant **à** peu près de la mi-floraison au **remplissage** des gousses (55e - 70e jour après la levée),

Grains (Kg/ha)

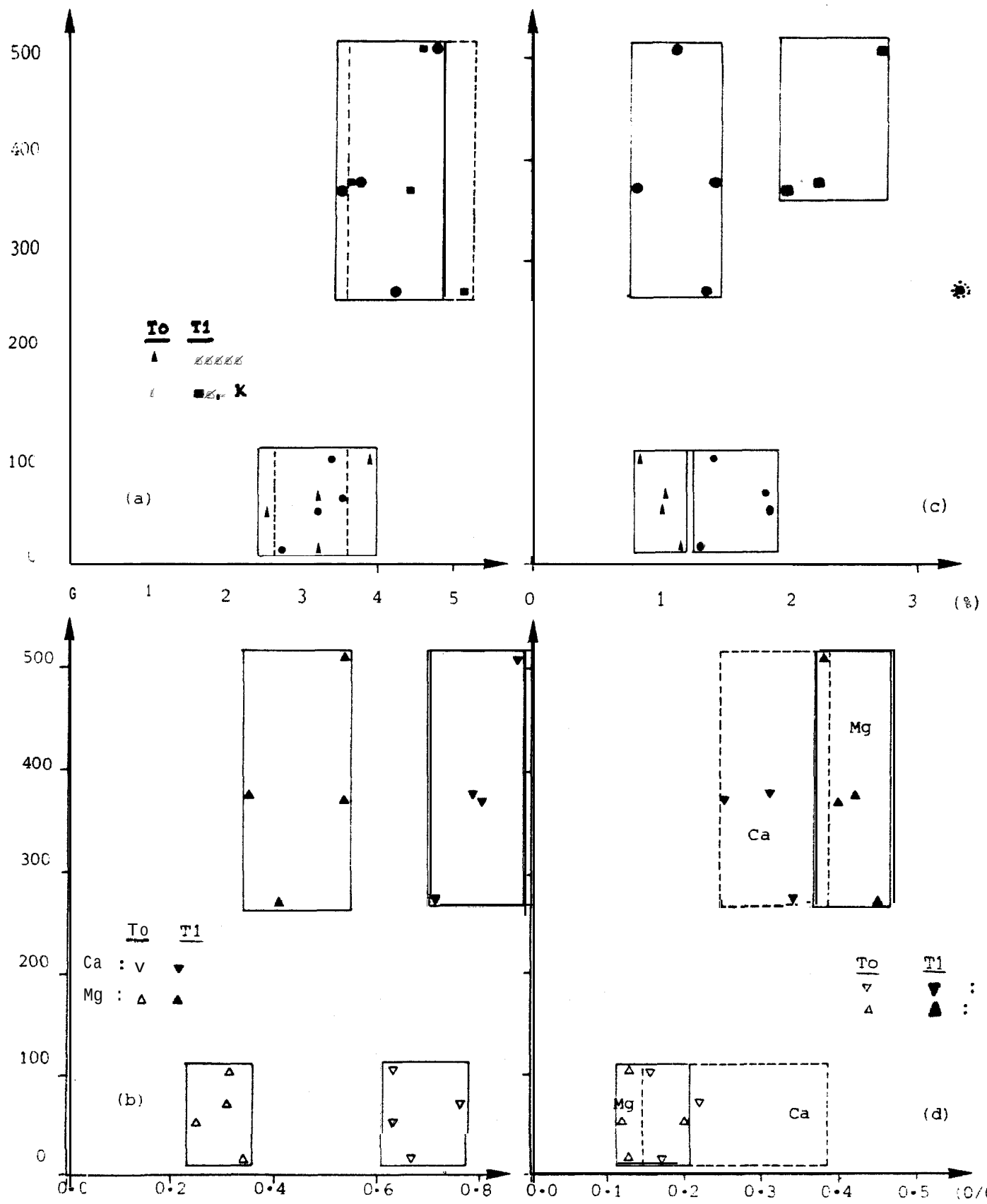


FIGURE 47 : RELATIONS ENTRE RENDEMENTS EN MIL-GRAINS (Kg/ha) ET TENEURS EN AZOTE, POTASSIUM, CALCIUM ET MAGNESIUM (en %) MESUREES AU 17e JOUR (a et b) ET AU 45e JOUR APRES LA LEVEE (c et d).

l'alimentation hydrique sur le traitement matière organique est meilleure (tableau 25). En 1984, on observe également presque durant la même période (45e - 80e jour après la levée) des consommations hydriques également plus élevées sur le traitement matière organique. Par contre en 1983, c'est surtout du début de la floraison (20e jour après la levée) à la formation des gousses que l'alimentation hydrique sur le traitement matière organique est plus satisfaisante que celle du traitement sans matière organique. En résumé, la consommation hydrique globale est en général supérieure sur le traitement **matière** organique et en particulier de la floraison à la formation et /ou au remplissage des gousses. Les rendements de l'arachide plus élevés sur le traitement matière organique pourraient résulter beaucoup plus d'une meilleure satisfaction de ces besoins en eau pendant cette phase de son développement que de sa consommation hydrique globale supérieure.

L'alimentation minérale au cours de la première moitié du cycle de la plante ne semble pas avoir, sauf celle en K (figure 48, a et b) **d'influence** notable sur les différences de rendements entre les deux traitements. L'alimentation phosphatée (figure 49 a, b et c) sur le traitement matière organique n'a pas ou a **très** peu d'effet sur les accroissements de rendements induits par la matière organique. Il semblerait que c'est surtout **l'alimentation** potassique et azotée dans la période 40-60e jour après la levée, nettement meilleure sur le traitement matière organique qui contribue le plus à l'accroissement des rendements de l'arachide résultant de l'apport de matière organique.

VIII.4- DISCUSSIONS

Dans les sols sableux **dégradés** de la zone Centre-Nord du Sénégal, dont celui de **Thilmakha** constitue un cas représentatif le niveau de fertilité chimique assez bas, lié en particulier à une acidité et **en** taux **d'aluminium** échangeable **élevés**, limite les rendements. Cette limitation résulte essentiellement d'une fixation **symbiotique déficiente** et d'un enracinement très faible des plantes qui induisent une mauvaise alimentation minérale de celles-ci malgré des apports d'engrais minéraux qui devraient

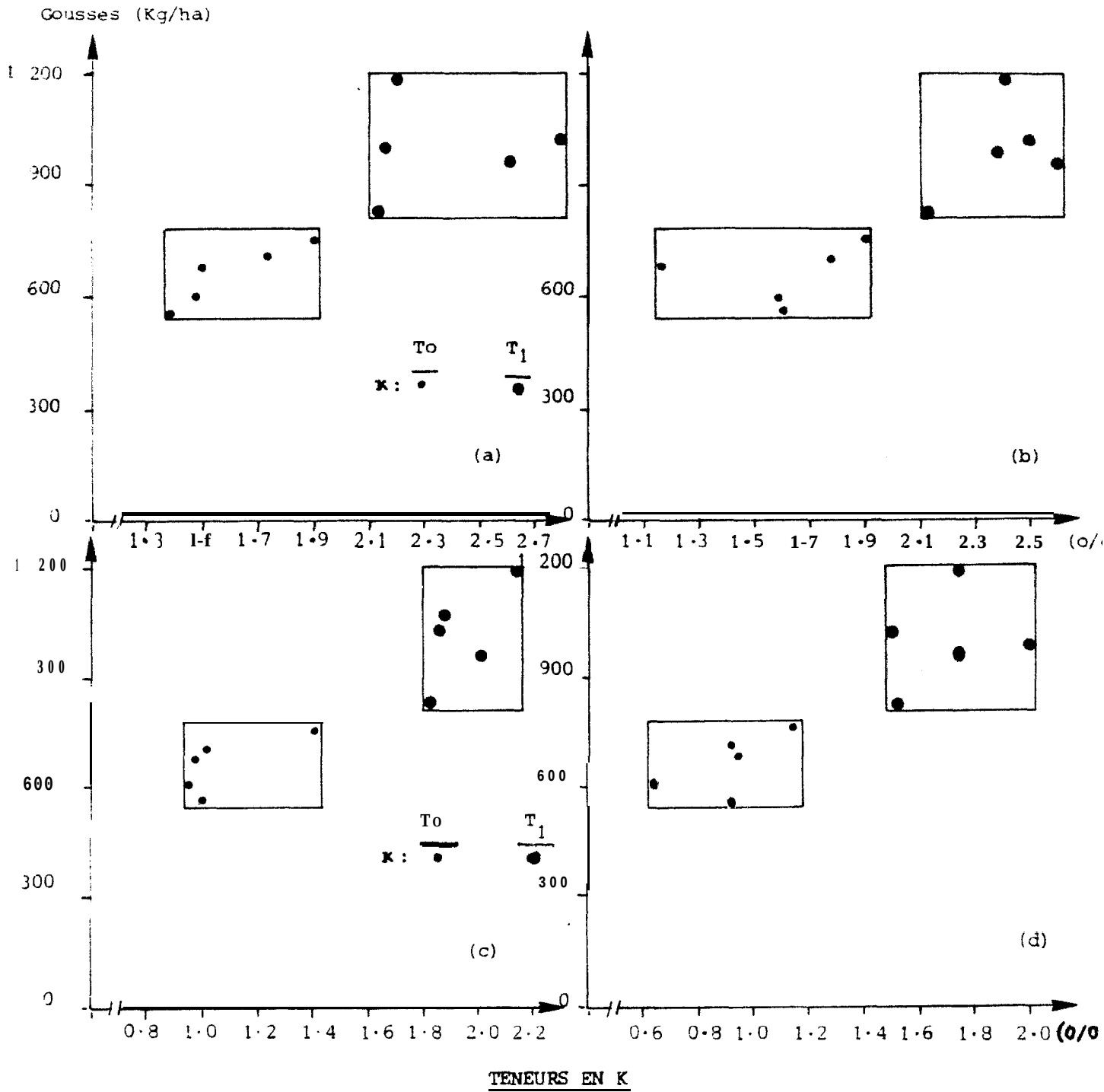


FIGURE 43 : RELATIONS ENTRE RENDEMENTS EN GOUSSES DE L'ARACHIDE (Kg/ha) ET TENEURS DES FANES EN K (%) MESUREES AU 8e = (a), 17e (b), 43e = (c) et 78e = (d) JOURS APRES LA LEVEE.

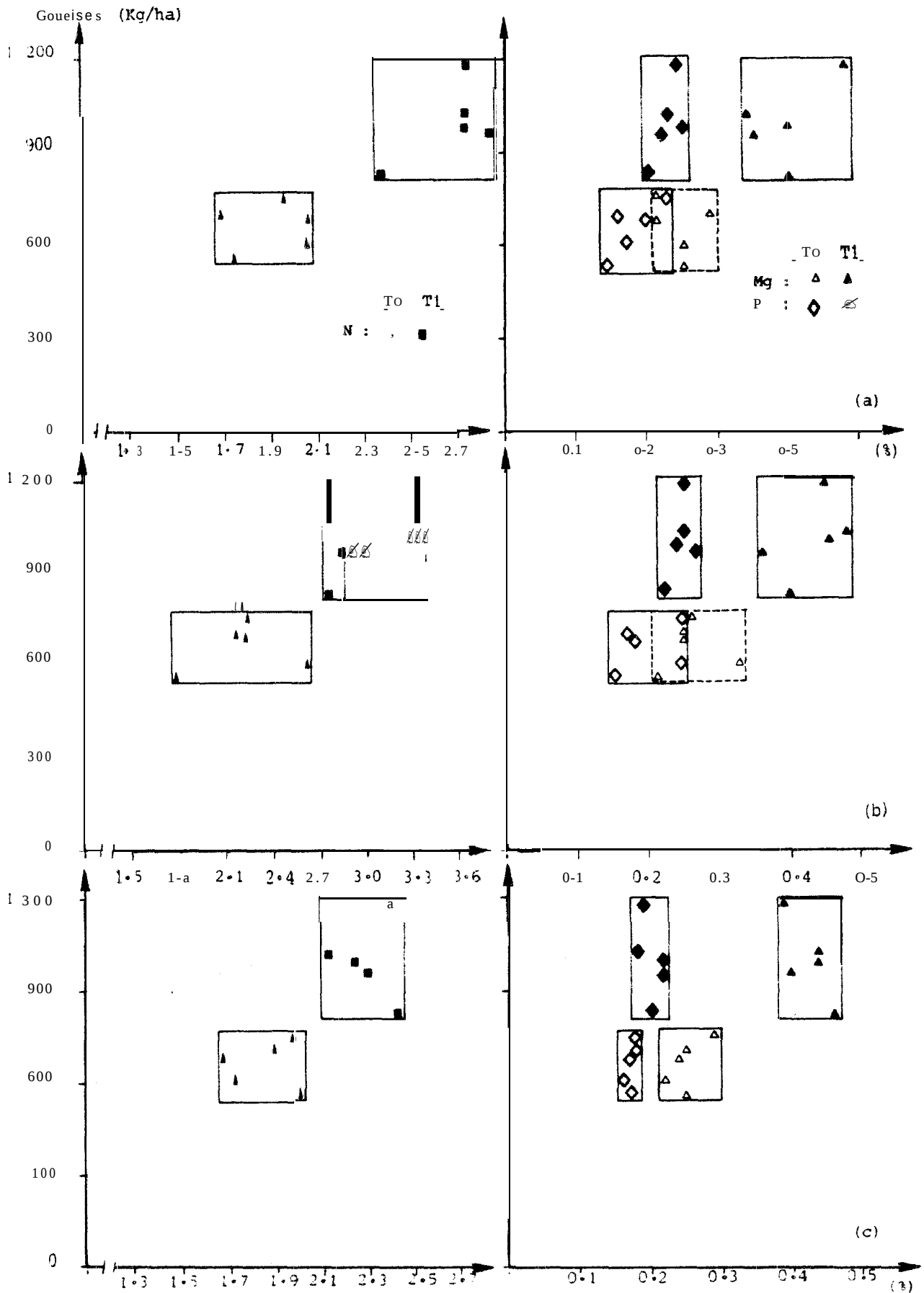


FIGURE 49 : RELATIONS ENTRE RENDEMENTS EN GOUSSES (KG/HA) ET TENEURS MINÉRALES DES FANES DE L'ARACHIDE (en %) EN N, MG et en P MESURÉES AU 43e = (a), 50e = (b) et 57e = (c) JOURS APRÈS LA LÈVEE.

pouvoir satisfaire les besoins des plantes. A cela s'ajoute une alimentation hydrique déficiente corrélative à un enracinement très limité, surtout au niveau de sa composante latérale.

Les effets très positifs de l'amendement organique sur les rendements du mil et de l'arachide peuvent être expliqués, du moins en partie, par une amélioration de la fertilité chimique du sol qui permet un bon enracinement des plantes qui, à son tour, induit une meilleure alimentation minérale et hydrique des plantes.

Les relations, niveau de fertilité du sol - enracinement des plantes - alimentation hydrique et minérale des plantes sont donc sans aucun doute des éléments importants dans l'explication des **différences** observées entre les deux traitements T0 et T1.

Par ailleurs en examinant les relations entre les mobilisations minérales et les masses racinaires on peut constater que pour mobiliser la même quantité d'éléments minéraux il faudrait pour le traitement T0 comparativement à T1 une masse racinaire plus élevée. Cette observation tend à montrer une efficacité racinaire plus grande sur le traitement matière organique et donc à suggérer une action spécifique de la matière organique sur le prélèvement des éléments minéraux. Le calcul effectué, à mi-cycle de développement végétatif, des quantités d'azote, de phosphore et de potassium mobilisées par gramme de racine et par jour et dont les valeurs sont présentées au tableau 50 renforce l'hypothèse de cette action **spécifique**. En effet, ces valeurs montrent une absorption d'azote et de potassium par unité de masse racinaire et par jour deux à trois fois plus élevée sur le traitement matière organique. En plus donc de ses effets sur les caractéristiques **chimiques** du sol, l'enracinement des plantes et de son rôle de fournitures d'éléments minéraux, la matière organique aurait en outre une action positive sur la capacité des racines à prélever les éléments minéraux disponibles.

DISCUSSION GENERALE

CONCLUS IONS

DISCUSSION GENERALE

Les propriétés de rétention et de transfert hydrique du sol ne semblent pas être modifiées par les apports de matière organique. Les nombreux travaux sur les effets de la matière organique sur ces propriétés hydrodynamiques du sol (MILLAR, 1951 ; HEDRICK, 1952 ; PETERS et al, 1953 ; LEHANE, 1953 ; HAGIN, 1954 ; TAYLOR, 1954 ; GROSSI, 1955 ; PUGH et al, 1960 ; BOWERS, 1961 ; HEMWALL, 1964 ; OLSEN et al, 1964 ; PETERSON et al 1968 ; MATHERS, 1977 ; MEEK, 1982 ; DE JONG, 1983 ; KUMAR et al, 1984 ; BEKE, 1985 ; etc...) qui ont montré, en général une réduction de l'évaporation de l'eau du sol et de l'infiltration de celle-ci dans le sol et une augmentation de la rétention en eau du sol font que l'on admet généralement une action **quasi-certaine** de la matière organique sur ces propriétés du sol. Cependant, comme d'ailleurs, certains travaux l'ont souligné (FEUSTEL, 1936 ; JAMISON, 1953 et 1958) les effets de la **matière** organique sur ces caractéristiques de rétention et /ou de transfert hydrique du sol sont fonction, entre autres facteurs, de la texture du sol (taux d'argile, de limons fin et grossier) et de la structure du sol. JAMISON (1958) a observé, en étudiant différents types de sol, que ceux qui avaient un taux d'argile faible (inférieur à 13%) ne montraient aucune relation entre leur teneur en matière organique et leur capacité de rétention en eau. Il a rapporté en outre que l'effet de la matière organique sur la rétention de l'eau n'est pas apparent pour les sols à faible teneur en matière organique. Dans les conditions de notre travail, l'absence de modification des propriétés de transfert et de rétention hydriques du sol sous le traitement matière organique pourrait donc résulter d'une part de la très faible teneur en matière organique du sol (moins de 0.5%) malgré les apports effectués depuis le début de l'expérimentation et d'autre part, du **contenu** très faible du sol en argile (2 à 3%) et en limon (1 à 3%).

Les caractéristiques chimiques du sol du traitement sans matière organique indiquent un niveau de fertilité chimique assez bas lié en particulier à une acidité et un taux d'aluminium échangeable élevés. Ce niveau de fertilité, comme divers travaux l'ont montré CHARREAU 1972, SIBAND 1972 et 1974, PIERI 1974 et 1976,...etc) limite les rendements des cultures.

Dans les conditions de cette étude, cette limitation des rendements résulte essentiellement d'une fixation symbiotique de l'**azote atmosphérique** par l'arachide déficiente et d'un enracinement très faible des cultures qui limite leur alimentation hydrique et minérale.

les bilans nettement positifs de l'azote, du calcium et du magnésium, de la rotation arachide-mil, résultant des apports de matière organique **expliquent** l'accroissement du stock d'azote du sol, la réduction de son niveau d'acidité et consécutivement de son taux d'aluminium échangeable. Ces apports ont donc redressé le niveau de fertilité du sol et celui-ci peut être maintenu voire être amélioré par la suite. Et l'amélioration très notable de l'enracinement du mil et de l'arachide qu'ils ont induit serait la cause de la meilleure alimentation hydrique et minérale des plantes et par conséquent des augmentations très importantes de leurs rendements.

Si le redressement du niveau de **fertilité** du sol consécutif aux apports de matière organique peut effectivement favoriser le développement du système racinaire des plantes, il se pourrait que ces apports aient en outre des effets spécifiques sur l'enracinement des plantes et leur nutrition **minérale**. Pour ce qui **est** de la **nutrition** minérale, on constate en effet en examinant les relations entre mobilisations minérales et masses racinaires, surtout dans le cas du mil, que pour une même masse racinaire les quantités d'éléments nutritifs mobilisées par la plante sont nettement plus élevées sur le traitement matière organique.

De plus de nombreux travaux de LIESKE (1932, 1935) cités par KONONOVA (1966) ont **montré** que les acides organiques de faibles poids moléculaires, produits par la décomposition de la matière organique, ont une action très importante sur la rhizogenèse. Ces **acides** accroissent le nombre et la longueur des racines. CHAMINADE (1958) a également observé des effets très positifs de la matière organique humifiée sur la croissance de l'appareil racinaire. GUMINSKI, 1950 ; CHRISTEWA, 1951, 1953 et 1968 ; CHAMINADE, 1952, 1956, 1963 et 1968 ; BLANCHET, 1957 ; WENGLIKOWSKA, 1967 ; LEMAIRE, 1972 , etc., ont mis en évidence des effets spécifiques de la matière organique sur l'alimentation minérale des plantes. Les **modifications** de celle-ci induites par la matière organique **résulteraient**, d'après les travaux de LIESKE (1932, 1935) cités par KONONOVA (1966), de la pénétration, grâce à leurs fonctions

phénol et quinone, des acides humiques dans les tissus végétaux. Ces acides augmenteraient alors la perméabilité cellulaire et favoriseraient ainsi le prélèvement des éléments nutritifs par les plantes.

Pour les études de bilans hydriques sous culture dans les sols sableux du Centre-Nord du Sénégal, compte tenu de l'occurrence quasi-certaine de percolations hydriques très profondes (au-delà de 3.7 m de profondeur) il est nécessaire de connaître la relation liant conductivité hydrique et teneur en eau du sol pour pouvoir, avec la mesure des gradients de charge hydraulique, calculer les flux hydriques pendant: les périodes où ces percolations se produisent.

Dans les conditions de cette expérimentation, du fait de "l'homogénéité" du sol on a pu extrapoler la relation $K(0)$ déterminée à un site à l'ensemble du dispositif expérimental. Mais compte tenu de la très grande sensibilité de K à toute erreur sur la mesure de l'humidité du sol, l'utilisation d'une telle relation nécessite de bien préciser les limites de son application.

L'utilisation de cellules de prélèvements de solution de sol soulève la question très importante de la représentativité de la solution prélevée à l'aide de celles-ci. Du fait que l'on n'est pas en mesure à l'heure actuelle de répondre de manière tout à fait satisfaisante à cette question, il convient d'admettre que l'estimation des pertes minérales par lixiviation avec des valeurs de concentrations obtenues avec ces cellules peut présenter un écart plus ou moins important par rapport aux pertes réelles se produisant sous les cultures.

La méthode de prélèvement racinaire utilisée dans ce travail est lourde et **perturbatrice**. Elle nous paraît cependant plus appropriée pour avoir une bonne estimation des masses racinaires dans la mesure où elle permet d'extraire, pour un horizon donné, les racines se trouvant dans le volume de sol prospecté par le système **racinaire** de la plante **sinon** par la plus grande **partie** des racines de celle-ci.

Cette méthode n'est pas cependant généralisable à toute étude sur l'enracinement des plantes. Dans nos conditions de travail 'il a été possible de l'appliquer parce que d'une part, le sol étudié (très sableux et très profond) permet de découper assez facilement des monolithes et d'autre part, par suite de la très faible variabilité spatiale du sol étudié on a pu

réduire, sans perte significative d'information, le nombre de répétitions à instrumenter, Ce qui nous a permis de disposer de **parcelles** dans lesquelles on pouvait faire des prélèvements de ce type.

Enfin dans les conditions actuelles de culture dans le Centre-Nord du Sénégal, du fait des faibles disponibilités en matière organique, les paysans ne sont pas en mesure d'apporter des doses de l'ordre de celle utilisée dans cette étude. Tenant compte de ce fait des expérimentations testant des apports de matière organique plus faibles, entre 1 et **5t/ha**, sont actuellement conduites dans le but de mettre en évidence une efficacité agronomique éventuelle de doses susceptibles d'être appliquées par les paysans. Mais la faible teneur en matière organique du sol observée sur le traitement ayant bénéficié depuis 1972 des apports de fumier de **10t/ha** tous les deux ans incite à penser qu'il est peu probable de pouvoir **accroître** de manière significative la teneur en matière organique de ces types de sol avec de telles doses. On peut toutefois s'attendre à avoir une efficacité agronomique de ces faibles doses sur les rendements des cultures qui pourrait résulter de l'"**effet engrais**" de la matière organique apportée **et/ou** éventuellement des effets spécifiques de celle-ci, notamment sur l'**enracinement** des plantes.

CONCLUSIONS

Les méthodes utilisées dans ce travail nous ont permis d'étudier les effets d'apports de matière organique sur les propriétés de transfert et de rétention hydrique du sol, les bilans hydriques et minéraux, l'enracinement des cultures' et de mettre en évidence les effets résultant de ces apports et susceptibles d'expliquer les augmentations très importantes des rendements du mil et de l'**arachide** observées sur un sol sableux dégradé du Centre-Nord du Sénégal.

Pour les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés de la zone de Tilmakha et, d'une façon générale, pour ceux du Centre-Nord du Sénégal, caractérisés par de très faibles teneurs en matière organique, en argile et en limons, il ne semble pas possible d'induire un **accroissement notable** de la

rétenction de l'eau par le sol par des apports de matière organique de l'ordre de ceux généralement effectués dans les expérimentations agronomiques (entre 1 et 10t/ha).

Les apports de matière organique améliorent de façon très nette l'alimentation hydrique et minérale du mil et de l'arachide. Et cette amélioration résulte à notre avis du meilleur développement racinaire des plantes que ceux-ci induisent. L'effet de la matière organique sur le développement racinaire des plantes serait dû au redressement de la fertilité du sol et notamment de la forte réduction de l'acidité de celui-ci. Mais en considérant d'une part les relations entre les mobilisations minérales et les masses racinaires et en particulier les quantités d'éléments minéraux mobilisées par gramme de racine et par jour on peut avancer l'hypothèse d'une action spécifique de la matière organique apportée sur l'enracinement et l'alimentation minérale du mil et de l'arachide.

Il nous semble nécessaire, compte tenu des résultats obtenus sur les effets de la matière organique, de mener des études très **approfondies** dans le but de comprendre les mécanismes par lesquels celle-ci agit sur le développement des systèmes racinaires des plantes dans les conditions de culture du Centre-Nord du Sénégal. En effet une meilleure connaissance de cette action pourrait avoir sur le plan pratique un impact important dans la mesure où de nouvelles modalités d'apports de matière organique (quantité à apporter, modes d'apport, etc...) qui contribueraient à optimiser ces effets pourraient en découler.

Les résultats obtenus montrent que les sols sableux du Centre-Nord du Sénégal dont le niveau de fertilité a considérablement baissé par suite de la culture continue sans restitution organique ni d'apports suffisants d'engrais minéraux par rapport aux besoins en éléments nutritifs des plantes ne peuvent être régénérés par la fertilisation minérale seule. Des apports combinés de matière organique et de fertilisation minérale sont nécessaires pour redresser la fertilité de ces sols et obtenir de meilleurs rendements.

Si on considère, en plus de ses effets très positifs sur le rendement, l'économie du chaulage fréquent que la culture continue sans restitution organique nécessite, l'importance de l'amendement organique apparaît donc comme **étant** prépondérante dans les conditions actuelles de culture du Centre-Nord du Sénégal.

BIBLIOGRAPHIE

- BAVER L.D., 1956
Soil Physics
J. Willey and sons, New-York
- BEKE G.J., MAC COR MICK M.J., 1985
Predicting volumetric water retention for **subsoil** material from colchester county, **Nova** scotia
Can. J. of soil science 65 (1) pp 233-236
- BEYE G., 1974
Synthèse des résultats de 1973 en riziculture aquatique de Casamance
Extension variétale à la riziculture pluviale
Doc. IRAT/Sénégal
- BONFILS P., FAURE J., 1956
Les sols de la région de Thies.
Annales du CNRA de Bambey, pp 5-24.
- BOUCHARD L., RAKOTO ARIMANANA G., 1970
Etude de l'évolution de la structure d'un sol **ferrallitique** sous diverses cultures en liaison avec l'enfouissement de matières organiques résiduelles.
Agro. trp. vol XXV n° 6-7 pp 574-588
- BOWERS S.A. et HANKS R.J., 1961
Effect of DDAC on evaporation and infiltration of **soil** moisture.
Soil Science 92, pp 340-346
- CHPMINADE R., 1952
Recherches sur le rôle de la matière organique dans la fertilité des sols.
Influence de l'**humus** sur la nutrition minérale des végétaux.
Ann. Agron., 1, pp 95-104
- CHAMINADE R., 1956
Action de l'acide humique sur le développement et la nutrition minérale des végétaux.
VIe Intern. **Soil** Sci. Congr., Paris, vol D
- CHAMINADE R., 1963
Effet physiologique des constituants de la matière organique des sols sur le métabolisme des plantes, la croissance et le rendement.
Report of the FAO/IAEA Technical Meeting, Brünswick-Volkenrode pp 35-47.
- CHAMINADE R., 1968
Rôle spécifique de la matière **organique** sur la nutrition et le rendement des végétaux.
Semaine d'étude sur le thème Matière Organique et fertilité du sol.
Pontificiae academiae scientiarum **scripta** varia pp. 777-800.
- CHARREAU C., et CHAUVEL A., 1969
Compte rendu d'expérimentation sur les cases lysimétriques
Doc. roneo IRAT/Sénégal .

CHARREAU C., 1972

Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux par des cultures annuelles.
kgro. trp. 27 pp. 905-929.

CHDPART J.L., 1980

Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide - mil - sorgho - riz pluvial).
Thèse de Doctorat d'Université.

CHRISTEWA L.A., 1951

Rôle de l'acide humique dans la nutrition des plantes.
Engrais humiques. Travaux de l'Institut Dokutschajev, 38 pp 108-184

CHRISTEWA L.A., 1953

Participation d'acides humiques et d'autres substances organiques à la nutrition des plantes cultivées.
Pedology, 10, pp 46-59

CHRISTEWA L.A., 1968

About the nature of physiologically active substances of the soil humus and of organic fertilizers and their agricultural importance.
Semaine d'étude sur le thème Matière Organique et fertilisée du sol.
Pontificae Academiae scientiarum scripta varia, pp 701-721.

CISSE L., 1980

Etude des facteurs de la fertilité des sols de l'Unité Expérimentale de Thyssé-Kayemor-Sonkorong
Doc. roneo. ISRA/CNRA.

CISSE L., FALLAVIER., 1984

Etude sur colonne de sol de la lixiviation du potassium dans un sol ferrugineux tropical peu lessivé (sol DIOR).
Doc. mult. ISRA/IRAT

CISSE L., IMBERNON J. et DANCETTE C., 1984

Bilan hydrique et minéral sous culture d'arachide et de mil à l'échelle de l'hectare.
Doc. roneo. ISRAT/IRAT

DANCETTE C., 1973

Les besoins en eau des plantes de grande culture au Sénégal.
Isotopes and radiation techniques in soil physics and irrigation studies
AIEA SM 1976/36 VIENNE.

DANCETTE C., 1973

Mesures d'évapotranspiration potentielle et d'évaporation d'une nappe d'eau libre du Sénégal.
Agro. trop. vol XXXI, n° 4 pp 321-338

DANCETTE C., 1982

L'agrométéorologie du sorgho et du millet dans les zones tropicales semi-arachides.
Communication au colloque/réunion de planification /CRISAT-OMM tenu à Hyderabad, 15-19 novembre 1982.

- DANCETTE C. et FOREST F., 1982
Simulation du bilan hydrique de l'arachide en vue d'une meilleure adaptation de cette culture aux conditions tropicales.
Communication au symposium international sur la production arachidière à BANJUL, 7-11 juin 1982.
- DANCETTE C., 1984
Agroclimatologie et adaptation variétale de l'arachide au Sénégal.
Doc. Mult. CNRS/Bambey.
- DPTTA S.K. DE., KUNDAL S.S., 1984
Effect of organic matter management on land preparation and structural regeneration in rice-based cropping systems.
In organic matter and rice (IRRI) pp 399-415.
- DE JONG R., CHAMPBELL C.A et al., 1983
Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples.
Can. J. Soil Science, 63, n° 2 pp 291-302.
- DEMOLON., 1952
Principes d'agronomie - Dynamique du sol
DUNOD (Paris).
- DIATTA S. et FARDEAU J.C., 1979
Etude, au moyen de ^{33}P et ^{42}K , de l'action des amendements organiques sur la régénération des sols rouges du Sénégal.
In isotopes and radiation in research on soil-plant relationships
IAEA-SM 235/37 pp 301-312
- FELLER C., CHEVAL M. et GANRY F., 1981 a
Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. I Influence d'une fertilisation azotée (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux.
Pgro. trop. 36 (1) pp 9-17
- FELLER C., CHEVAL M. et GANRY F., 1981 b
II. Décomposition des résidus végétaux (compost) pendant une saison des pluies dans un sol sableux.
Agro. trop. 36(1) pp 18-25.
- FELLER C., GUIRAUD G., HETIER J.M. et MAROL C., 1982
Etude par fractionnement granulométrique de la matière organique d'un sol tropical cultivé en présence de résidus de récolte (^{14}C , ^{15}N) et d'urée marquée (^{15}N).
C.R. 12e cong. Int. Sci. Sol, New-Dehli
- FEUSTEL I.C. and BYERS H.G., 1936
The comparative moisture - absorbing and moisture - retaining capacities of peat and soil mixtures.
U.S.D.A. tech. Bull, 532.
- GANRY F. et FELLER C., 1977
Effet de la fertilisation azotée (urée) et de l'amendement organique (compost) sur la productivité du sol et de la stabilisation de la matière organique en monoculture de m1 dans les conditions des zones tropicales semi-arides.

Communication au Séminaire Régional sur le recyclage organique en Agriculture, BUEE (Cameroun) 5-14 décembre 1977.

GREENLAND D.J., 1965

Interaction between **clays** and organic compounds in soils.
Part II : adsorption of **soil** organic compounds and **its effect** on **soil** properties

Soils and fertilizers, vol XXVIII, n° 6 pp 521-532.

GROSSI F.X. and WOOLSEY L.J., 1955

Effect of fatty quarternary ammonium **salts** on physical properties of certain **soils**.

Indus. Engng.chim. 47, pp 2253-2258

GUMINSKI S., 1950

Recherches sur les conditions et le mécanisme de l'efficacité des composés humiques sur l'organisme végétal.

Acta. Doc. Bot. Pologne, 20, pp 589-630.

HAGIN J. et BODMAN G.B., 1954

Influence of the polyelectrolyte CRD-186 on aggrégation and other physical properties of some California and **Israeli** soils and some **clay** mineral

Soil. Sci. 78 pp 367-378

HANSEN E.A. and HARRIS A.R., 1975

Validity of **soil-water** samples **collected** with porous ceramic **cups**

Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. vol 39, pp 528-536.

HEDRICK R.M. and MOWRY D.T., 1952

Effect of synthetic polyelectrolytes on aggrégation, aeration and water relationships of soil.

Soil. Sci. 73, pp 427-441

HEMWALL J.B. and BOZER K.B., 1964

Moisture and strength relationships of soils as effected by

4 - tertbutylpyro catéchol

Soil. Sci. 98, pp 235-243

HENIN S., DUPUIS J., 1945

Bilan de la matière organique des sols.

Ann. Agron, 1, pp 17-30

IAEA, 1983

A guide to the use of nitrogen- and radioisotopes in studies of plant nutrition : calculations and interpretation of data. Tectoc - 288, 68 p.

IMBERNON J., 1982

Variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol du Sénégal. Application au calcul du bilan sous culture.

Thèse de doctorat du 3e cycle.

JAMISON V.C., 1953

Changes in air-water relationships due to structural improvement of soils

Soil. Sci. 76, pp 143-151.

- JAMISON V.C. and KROTH E.M., 1958
Available moisture storage **capacity** in relation to textural composition and organic **matter** content of Several Missouri Soils
Soil. Sci. Soc. Amer. **Proc.** 22 n° 3 pp 189-192
- KCNONOVA M.M., 1966
Soil organic matter 2e ed. Pergamon Press
- KUMAR S., MALIK R.S., DAHIYA I.S., 1984
Water retention transmission and contact characteristics of ludas **sand** as **influenced** by farmyard manure.
Austr. J. **Soil** Research 22 (3) pp 253-259
- LEHANE J. J., and STAPLE W.J., 1953
Water retention and availability in soils related to drought **resistance**
Can. Jour. Agr. Sci 33 pp 265-273
- LEMAIRE F., 1972
Etude de différents facteurs influençant la manifestation de l'effet **spé-
fique** de la matière organique sur les végétaux.
Ann. Agron. 23(1) pp 77-100
- LEVIN M.J. and JACKSON D.R., 1977
A **comparison** of in **situ** extractors for sampling **soil** water
Soil. Sci. Soc. Am. J. Vol 41, pp 535-536
- MACRAE R.J. and MEHUY S.G.R., 1985
The **effect** of green **manuring** on the physical properties of **temperate-area** **soils**.
Advances in **soil** science 3, 91-94
- MATHERS A.C., STEWART B.A. and THOMAS J.D., 1977
panure **effects** on water intake and run off quality from irrigated grain sorghum plots
Soil. Sci. Soc. Am. **Proc.** 41 pp 782-785
- MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL
Statistiques agricoles. Division des statistiques agricoles, années 1962-1971
- MEEK B., GRAHAM L. and DONOVAN T., 1982
Long-term **effects** of Manure on **soil** nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic **matter** and water infiltration rate
Soil. Sci. Soc. Am. J. Vol 46, pp 1014-1019
- MIL-AR C.E. and TURK L.M., 1951
Fundamentals of **soil** science
John Wiley and sons 2e Ed. pp 182-183
- MONNIER G., 1965
Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.
Thèse de doctorat (Paris)
- NAKAYA N., MOTOMURA S., 1984
Effect of organic and mineral fertilization on **soil** physical properties and hydrophobicity of **soil** organic **matter**
In. organic **matter** and **rice** (IRRI) pp 387-398

N'DIAYE J.P., 1978

Evaluation de la fertilité de quelques terres exondées cultivées au Sine-Saloum

Doc. roneo ISRA/CNRA-BAMBEY

NICOU R., 1974

Le **problème** de la prise en masse à la **dessiccation** des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche.

Doc. IRAT/Sénégal 26p

OLSEN S.R., WATANABE F.S., CLARKE F.E. et al, 1964

Effect of hexadecanol on evaporation of water from **soil**

Soil Sci 97, pp 13-18

PETERS D.B., HAGAN R.M. and BODMAN G.B., 1953

Available moisture **capacities** of soils as effected by additions of **polyelectrolyte soil conditioners**

Soil Sci 75, pp 467-471

PETERSON G.W., CUNNINGHAM R.L. and MATERSKI R.P., 1968

Moisture characteristics of Pennsylvania soils : I. Moisture retention as related to texture

Soil Sci. Soc. Ami. **Proc.** 32, pp 271-275

PHILIP J.R., 1969

The theory of infiltration. **Advances** in hydrosiences, vol 5 pp 215-305

Academic pres, New-York

PICHOT J., 1971

Etude de l'évolution du sol en présence de fumures organiques ou minérales. Cinq années **d'expérimentation** à la station de Boukoko, RCA

Agro. Trop, vol XXVI, n° 6-7, pp 736-754

PICHOT J., 1975

Rôle de la **matière** organique dans la fertilité du sol

Agro.Trop, vol XXX n° 2. Publication trimestrielle.

PICHOT J., AL ZAHAWA F., 1977

Evolution d'un sol **ferrallitique** de Côte **d'Ivoire** après la mise en culture. Effets des apports d'engrais azoté et de compost.

Reprint from "**Soil organic matter studies**" vol 1 ; IAEA.SM 211/38

PIERI C., 1974

Premiers **résultats** expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique

Agro.trop vol XXIV - n° 6-7

PIERI C., 1976

L'acidification des terres de cultures exondées au Sénégal

Agro.trop vol XXXI n° 4 pp, 339-368

PIERI C., 1979

Etude de la composition de la solution d'un sol sableux cultivé du Sénégal à l'aide de capteurs en céramique poreuse.

Agro.trop vol XXXIV- n° 1, pp 9-22

PIERI C., 1979

La fertilisation potassique du mil pennisetum et ses effets sur la fertilité d'un sol sableux du Sénégal. Compte rendu de 5 années d'expérimentation.
Doc. IRAT/ISRA - Version abrégée publiée in revue de la potasse
section 27, n° 4, pp 1-12 (1982)

PUCH A.L., VOMOCIL J.A. and NIELSEN T.R., 1960

Modofication of some physical characteristics of soils with **VAMA**, ferric sulfate and triphenylsulfonium chloride.
Agro. J 52, pp 399-402

SËBAND P., 1972

Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute-Casamance
Agro.trop Vol XXVII. n° 5

SËBAND P., 1974

Evolution des **caractères** de la fertilité d'un sol rouge de Casamance
Agro-Trop. Vol XXIX n° 12

SËBAND P., 1981

Croissance, nutrition **et** production du mil. Essai d'analyse du fonctionnement du mil en zone sahélienne
Thèse de doctorat d'état. 302 p

TALSMA T., HALLAM P.M. and MANJEL R.S., 1979

Evaluation of porous cup soil-water extractors : Physical factors
Aust. J, **Soil** Ris. n° 17, pp 417-422

TAYLOR G.S. and BALDRIDGE P.E., 1954

The **effect** of sodium carboxymethyl cellulose on some physical properties of Ohio soils
Soil Sci. Soc. Amer. **Proc**, 18, pp 382-385

TJOURTE R., FAUCHE J., SCHOCH PG., 1965

Vers une évaluation des rendements de l'arachide par la pluviométrie annuelle ?
Soc. mult. CNRA/Bambey

VACHAUD G., THONY J.L., 1970

Hysteresis, **effects during** infiltration and redistribution in a **soil** column at different water contents.
Water **Resources** Research, vol 7, pp 111-127

VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO M., THONY J.L., 1978

Méthodes de caractérisation hydrodynamique in **situ** d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du **Sénégal** en vue de la détermination des termes du bilan hydrique.
Ann. Agron. Vol 29, pp 1-36

VACHAUD G., VAUCLIN M., COLOMBANI J., 1981

Bilan hydrique dans le-sud tunisien. 1 : caractérisation expérimentale des transferts dans la zone non saturée
J. of hydrology, vol 49, pp 31-52

VAUCLIN M., HAVERKAMP R., VACHAUD G., 1983

Analyse des erreurs liées à l'utilisation de l'humidimètre neutronique
Colloque AIEA "Isotops and radiation technics in soil physics and
irrigations studies" Aix en Provence, pp 533-549

VAUCLIN M., IMBERNON J. et VACHAUD G., 1983

Analyse comparative de différentes méthodes de détermination de la
conductivité hydraulique des sols non saturés de la zone Centre-Nord du
Sénégal
Agro.trop 38-3 pp 186-197

WENGLIKOWSKA N., 1967

The influence of humic compounds on the dynamics of assimilable forms of
phosphorus and potassium in brown soil.
Transactions of intern • Symposium humus et planta, Prague, pp 243-248

YOUNGS E.G., 1968

An estimation of sorptivity for infiltration studies from moisture content
considerations
Soil Sci, vol 106, pp 157-163