

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

**INSTITUT
DE DEVELOPPEMENT RURAL**

**INSTITUT
DES SCIENCES DE LA NATURE**

IN.E.R.A.

**INSTITUT D'ETUDE
ET DE RECHERCHES AGRICOLES**

PROGRAMME E.S.F.I.M.A.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

Thème :

**«ETUDE DE L'ACTION DES TECHNIQUES D'ECONOMIE
DE L'EAU SUR L'AMELIORATION DU BILAN HYDRIQUE
D'UNE CULTURE DE SORGHO»**

JUIN 1989

OUATTARA Korodjouma

Avant - Propos

"Que ne soient jamais découragés ceux qui oeuvrent pour améliorer l'alimentation de leurs semblables sur lesquels plane le spectre de la faim".

Remerciements

L'exécution de notre travail et les résultats auxquels nous sommes parvenus n'ont été possibles que grâce aux moyens et services mis à notre dispositions. Aussi, que les personnes et institutions qui nous ont soutenu veuillent accepter ici nos sincères remerciements.

Nos remerciements vont plus particulièrement à ;

SOME B. Léopold, notre maître de stage, pour son dévouement et notre responsabilisation tout au long de ce stage.

OUATTARA B., chef de la station de Saria, qui a su nous mettre autant que possible dans de bonnes conditions de travail.

Mr. GOHIER M., enseignant à l'ISN-IDR pour le suivi constant qu'il nous a accordé.

Mr. NICOU R., pour ses remarques pertinentes et ses conseils

OUEDRAOGO J.P., Directeur de la météorologie nationale, qui a bien voulu nous consacrer une partie de son temps.

Nous ne pouvons oublier

- l'ensemble du personnel des stations de Saria et Kamboinsé,
- le personnel de l'agrométéorologie nationale
- les techniciens O. DAO, A. ZONGO de la section physique-sol de Saria.

Enfin notre profonde reconnaissance va à l'endroit de SAWADOGO Née OUEDRAOGO Elisabeth pour la mise en page du présent mémoire.

TABLE DE MATIERES

Avant propos

Table des matières

Pages

Liste des symboles et abréviations

Introduction

1

PREMIERE PARTIE : Conditions de l'étude

Chapitre I : Le milieu physique

I.1.	Situation géographique	4
I.2.	Climat	4
	I.2.1. Caractéristiques du climat	4
	I.2.1. Les précipitations	5
	I.2.3. Les températures	6
	I.2.4. Les vents	6
	I.2.5. Humidité relative et demande évaporative	7
I.3.	La végétation	7
I.4.	Les sols	7

Chapitre II : Analyse des composantes du bilan hydrique

II.1.	Le bilan hydrique	8
	II.1.1. La pluie	9
	II.1.2. Le ruissellement	10
	II.1.3. Le drainage	10
	II.1.4. Stock d'eau et variation de stock	11
	II.1.5. La demande évaporative	11
II.2.	Conclusion	13

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre I : Matériel et méthode

I.1.	Matériel végétal	15
I.2.	Dispositifs d'étude	15
I.2.1.	Etude des besoins en eau des cultures	15
I.2.2.	Les essais techniques d'économie de l'eau	17
I.2.2.1.	Etude du ruissellement et de l'érosion	17
I.2.2.2.	Rentabilité comparé de l'irrigation de complément et des techniques d'économie de l'eau	18
I.2.2.3.	Fondement théoriques de la méthode du bilan hydrique "in situ"	21
I.2.3.	Présentation du modèle B.I.P.	27

Chapitre II : Résultats et Discussions

II.1.	Analyse de la pluviométrie de la campagne 1988	29
II.2.	Besoins en eau des cultures	31
II.3.	<u>EVALUATION DE L'EFFET DES TECHNIQUES D'ECONOMIE DE L'EAU</u>	
II.3.1.	Effet des traitements sur le ruissellement et l'érosion	39
II.3.1.1.	Effet des traitements sur le ruissellement	39
II.3.1.2.	Effet des traitements sur l'érosion	44

II.3.2. Effet des techniques d'économie de l'eau sur le bilan hydrique	55
II.3.2.1. Résultats du suivi du bilan hydrique in situ	55
a) Profils hydriques	56
b) Charges hydrauliques et gradients de charge	56
c) Variation de stock et calcul de l'ETR.	69
II.3.2.2. Résultats du bilan hydrique par simulation	72
II.3.2.3. Comparaison des deux méthodes du bilan hydrique	72
II.3.3. Effet des traitements sur la plante	77
II.3.3.1. Effet des traitements sur la croissance végétative du sorgho	77
II.3.3.2. Effet des traitements sur le système racinaire	82
II.3.3.3. Effet des traitements sur la production	89
Conclusion Générale	93
Bibliographie	95
Liste des figures et des tableaux	100
Annexe.	102

Liste des symboles et abréviations utilisés

S	: Stock d'eau (mm)
ΔS	: Variation de stock d'eau (mm)
Ruis	: Ruissellement (mm)
Dr	: Drainage (mm)
ETR	: Evapotranspiration réelle (mm)
ETM	: Evapotranspiration maximale (mm)
ETP	: Evapotranspiration potentielle (mm)
EVA	: Evaporation bac classe A (mm)
P	: Pluie, Pression
Pu	: Pluie utile (mm)
Δt	: Intervalle de temps (jour)
$\frac{Q}{A}$: Flux d'eau à la cote Z (mm/j)
I ₃₀	: Intensité en 30 mn (mm/h)
E	: Energie cinétique
RUM	: Réserve utile maximale (mm)
ΔZ	: Tranche de sol (cm)
Hr	: Humidité relative
Kc	
K'c	↘ Coefficients culturaux
SAT	: Taux de satisfaction
DE	: Déficit en eau
H	: Charge hydraulique (mb)
ρ_{Hg}	: Masse volumique du mercure (g/cm ³)
ρ	: Pesanteur
ρ_w	: Masse volumique de l'eau (g/cm ³)
h	: Pression de l'eau du sol (cm d'eau)
K(θ)	: Conductivité hydraulique (mm/h)
Z	: Profondeur de mesure dans le sol (cm)
$\frac{dH}{dZ}$: Gradient de charge
θ	: Teneur en eau (cm ³ /cm ³)
Hv	: Humidité volumique
q	: Flux volumique d'eau
Po	: Pression atmosphérique (mb)
A	: Quantité de terre érodée (t/ha)
R	: Indice pluie
K	: Indice sol
Le	: Indice topographique
C	: Coefficient de réduction de l'érosion
P	: Indice traitement
C.E.S	: Conservation des Eaux et des Sols.

INTRODUCTION

L'eau et le sol sont deux ressources naturelles essentielles pour l'agriculture. Or, la croissance démographique galopante observée dans de nombreuses régions du monde et notamment dans la zone tropicale de l'Afrique de l'Ouest conduit à une exploitation anarchique de ces ressources. D'où l'impérieuse nécessité de nos jours, de gérer efficacement et continuellement ces ressources. Cela passe indubitablement par une meilleure connaissance des relations sol-eau-plante et par une diffusion aussi large que possible, des technologies permettant d'améliorer efficacement ce système.

En région sahélienne où les pluies sont irrégulières dans le temps et dans l'espace, les cultures pluviales accusent très souvent un bilan hydrique globalement déficitaire. Pour remédier à cette situation de déficit hydrique, en vue d'obtenir des rendements meilleurs dans cette zone semi-aride d'Afrique, plusieurs programmes de recherches agronomiques ont été initiés par les institutions de recherches opérant dans la sous-région.

Les efforts de recherches ont essentiellement porté sur :

- l'identification et/ou la mise au point des variétés de culture adaptées à la sécheresse
- l'étude des techniques de travail du sol permettant de gérer au mieux l'eau des pluies.

C'est dans ce dernier contexte que se situe la présente étude à l'IN.E.R.A. au sein du programme "Eau-Sol-Fertilisation-Irrigation-Machinisme-Agricole" (E.S.FI.MA.) avec l'équipe "Economie de l'Eau en Culture Pluviales". Cette équipe a mis en place depuis 1982, une série d'expérimentations pluriennuelles et multilocales sur les techniques culturales permettant d'améliorer le bilan hydrique à la parcelle des cultures sèches. Cette étude s'articule autour du thème "Etude de l'action des techniques d'économie de l'eau sur l'amélioration du bilan hydrique d'une culture de sorgho". Améliorer le bilan hydrique sous entend favoriser la production agricole.

Le présent mémoire sur cette étude sera articulé comme suit :

- Dans une première partie consacrée aux conditions de l'étude, on présente d'abord le milieu physique du cadre d'étude ; puis on fait une analyse des composantes du bilan hydrique.

- La deuxième partie comprend deux chapitres :

. Le premier décrit les matériels et la méthodologie utilisés dans l'étude.

. Le second, quant à lui, présente d'une part les résultats agronomiques et les résultats du bilan hydrique de la culture d'autre part.

- La conclusion générale tentera de faire le point sur l'action des techniques d'économie de l'eau sur la production agricole dans la zone centrale du Burkina Faso. Elle permettra aussi de dégager les premiers enseignements de l'étude de la validité de la physique nucléaire appliquée dans l'investigation de la dynamique de l'eau du sol, et ses perspectives au Burkina.

P R E M I E R E P A R T I E

C O N D I T I O N S D E L ' E T U D E

CHAPITRE I : LE MILIEU PHYSIQUE

I.1. Situation géographique

La Station de Recherches Agricoles de Saria est située à environ 23 km à l'Est de Koudougou et à 80 km au Sud-Ouest de Ouagadougou. Saria se trouve à 12°16' N de latitude et 2°9' W de longitude sur une altitude de 300 m environ.

I.2. Climat

I.2.1. Caractéristiques du climat

Le climat de Saria est du type tropical sec, caractérisé par deux saisons : une saison pluvieuse de Mai à Octobre et une saison sèche de Novembre à Avril. Cette longue période sèche a pour conséquences :

- le dessèchement complet du sol qui demande beaucoup d'eau en début de saison pluvieuse pour reconstituer son stock.
- l'assèchement puis la disparition du tapis végétal constitué en saison des pluies, laissant un sol nu sensible à l'érosion.

.../...

1.2.2. Les précipitations

Le régime pluviométrique subit de fortes variations tant interannuelles (cf fig. 1) qu'intermensuelles à tel enseigne que la connaissance de la pluviométrie moyenne (800 mm) n'a que peu de signification du point de vue agronomique.

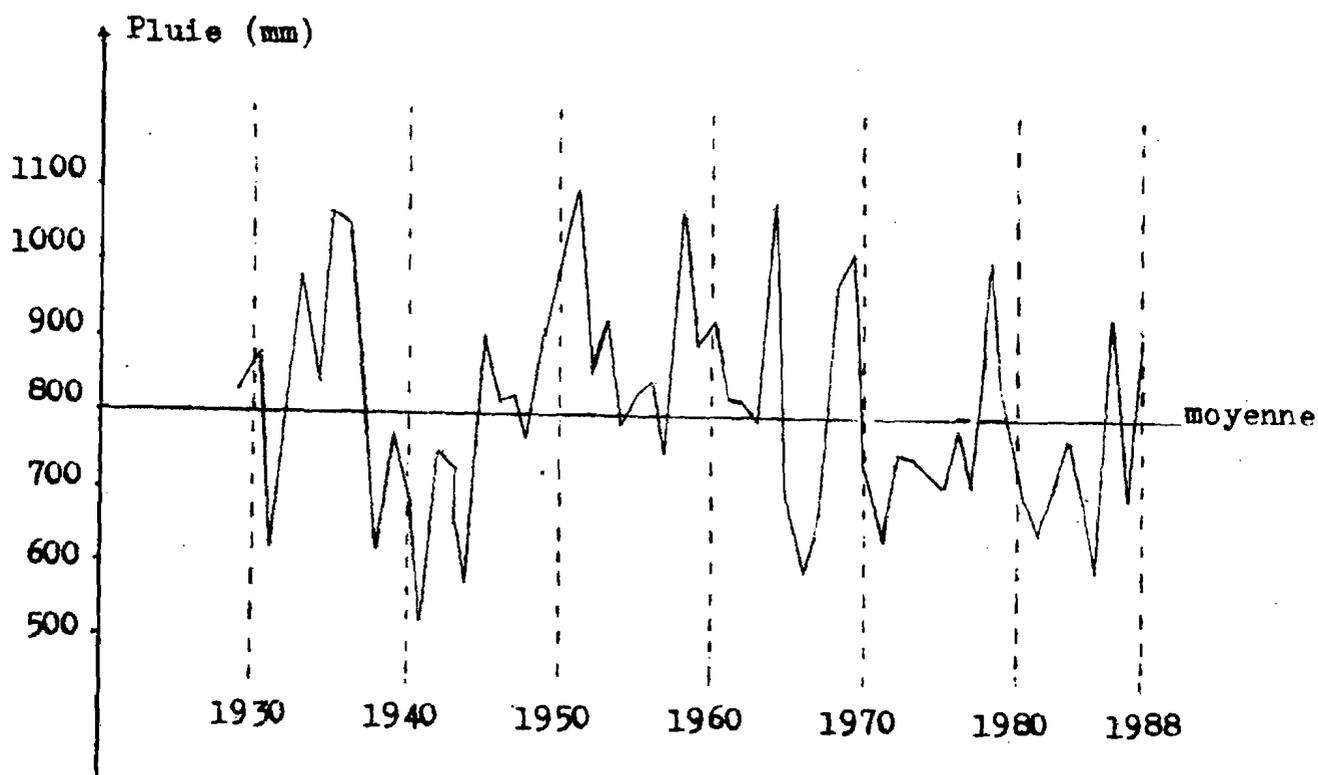


Fig. 1 : Pluviométrie annuelle de SARIA (1929-1988)

Il convient alors pour mieux caractériser la saison des pluies, de connaître les probabilités de non dépassement d'une pluviométrie mensuelle ou annuelle donnée. L'analyse fréquentielle de la pluviométrie de Saria sur 21 années (1968 à 1988) donne le tableau ci-après :

.../...

Tableau 1 Analyse fréquentielle des pluies de Saria sur 21 ans, de 1968 à 1988.

Probabilité que Pluviométrie \geq /x	SEUIL x en mm						
	ANNEES	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT
0,8	699,0	34,8	72,0	137,4	154,9	103,0	4,4
0,5	746,9	74,8	107,8	154,3	194,8	134,0	22,8
0,2	926,5	89,5	150,6	224,4	278,2	180,0	55,4

Au cours de la campagne agricole 1988 on a enregistré 935,2 mm. Cette valeur au-dessus de la moyenne des 21 dernières années (773,7 mm) se situe dans les cas rares de bonne pluviométrie dans la localité.

I.2.3. Les températures

Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 28 C. Les maxima mensuels (40 C) se situent en Mars-Avril et les minima (15 C) en Décembre-Janvier. Les températures deviennent modérées en saison des pluies (25 C-30 C). La température intervient directement dans le bilan hydrique par son influence sur la transpiration des végétaux.

I.2.4. Les vents

Le régime des vents est sous la dominance des alizées :

- un vent continental sec, l'harmattan, qui est dominant en saison sèche et qui est souvent responsable des phénomènes d'érosion éolienne des sols demeurés nus après les récoltes.
- un vent humide de direction Sud-Ouest appelé mousson qui apporte les pluies.

.../...

I.2.5. Humidité relative et demande évaporative

L'humidité relative exprime la valeur d'eau en pourcentage de la teneur maximale de l'air. Elle descend à moins de 20 % en saison sèche (15 % en Février) et dépasse 60 à 80 % en hivernage. Quant à la demande évaporative représentée par l'évapotranspiration potentielle (ETP), elle est en moyenne de 2096 mm en année sèche, 826 mm en année moyenne et 1713 mm en année humide (Roose 1981).

I.3. La végétation

Elle résulte de la combinaison de l'action anthropique et des facteurs pédoclimatiques. La flore arborescente est à dominance Butyrospermum parkii (Karité), Parkia biglobosa (Néré), Acacia albida. La strate arbustive est dominée par les fourrées d'épineux divers, de combretacées dont Guiera senegalensis et Combretum micranthum. La strate herbacée est essentiellement composée de Dactyloctenium aegyptium, Pennisetum sp., Andropogon gavanus, espèces par excellence des jachères. Les dalles latéritiques et les sols peu profonds sont colonisés par Loudetia togoensis, Cymbopogon giganteus, Schoenfeldia gracilis. Les jachères sont inexistantes du fait de la pression démographique.

I.4. Les sols

Les sols de Saria sont largement représentatifs du Plateau Central (Jenny 1964), pénéplaine au relief très effacé, reposant sur un vieux socle granito-gneissique. L'observation des caparaces ferrugineuses sommitales et des "cuirasses" formées en bas de pente, permet de mettre en évidence l'effet des phénomènes de lessivage oblique et du démantèlement du haut de la toposéquence dont les éléments sont recimentés plus bas en un horizon gravillonnaire conglomérique. Ces sols se divisent en deux groupes principaux (Jenny op. cité)

- sols ferrugineux tropicaux lessivés
- sols hydromorphes moyennement ou peu humifères.

Les essais en Station qui font l'objet de cette étude ont été menés sur des sols à pseudogley de profondeur du premier groupe ci-dessus cité. Les caractéristiques de ces sols en parcelle n.7 (F7) et parcelle n.15 (P15) sont présentées en annexe.

CHAPITRE II. ANALYSE DES COMPOSANTES DU BILAN HYDRIQUE

II.1. Le bilan hydrique

Il est un énoncé détaillé (Hillel 1984) de la "loi de conservation de la matière" qui stipule que la matière (ici l'eau) ne peut être ni créée ni détruite mais qu'elle passe seulement d'un état ou d'un endroit à un autre. Ainsi l'équation du bilan hydrique s'écrit :

$$P + I - \Delta S \pm \text{Ruis} \pm \text{Dr} - \text{ETR} = 0$$

où P = Pluie

I = Irrigation

Ruis = Ruissellement (+ ou - selon que l'eau de ruissellement entre ou sort de la parcelle)

Dr = Drainage (+ ou - selon qu'il y a remontée capillaire ou percolation en profondeur)

ΔS = Variation de stock d'eau du sol

ETR = Evapotranspiration réelle.

Le bilan hydrique est un instrument précieux permettant une meilleure connaissance de la relation eau-sol-plante. Il permet d'évaluer la part à réserver aux aléas climatiques dans l'élaboration des rendements de la culture. Dans l'approche de l'efficacité des techniques culturales dont l'objet est de minimiser les risques climatiques, le bilan hydrique constitue une pièce maîtresse.

Dans la présente étude on utilise deux méthodes d'approche du bilan hydrique :

- la méthode de simulation avec le modèle BIP (Forest 1984). Il ne sera pas tenu compte des éventuelles remontées capillaires considérées négligeables et des cas d'entrée d'eau de ruissellement, venant de terrains voisins, dans les parcelles. Alors le bilan hydrique s'établit pour une période i donnée (décade ou pentade) :

$$E_i + I_i = \text{ETR}_i + \text{Ruis}_i + \text{Dr}_i + \Delta S_i$$

- la méthode in situ par mesures neutroniques et tensiométriques. Avec ce système, pour une période quelconque de durée t l'équation du bilan hydrique peut s'écrire :

$$[\Delta S]_0^z = P + I - \text{Ruis} - \text{ETR} - \bar{\varphi}_z \Delta t$$

$[\Delta S]_0^z$ = Variation de stock d'eau sur l'épaisseur Z de sol.

$\bar{\varphi}_z$ = Flux d'eau moyen à travers la côte Z

Δt = Intervalle de temps t égal à la durée de la période considérée.

Dans tous les cas pour établir le bilan hydrique, il faut mesurer ou calculer les différents termes de son équation générale. La fig.2 illustre les composantes du bilan hydrique sous culture.

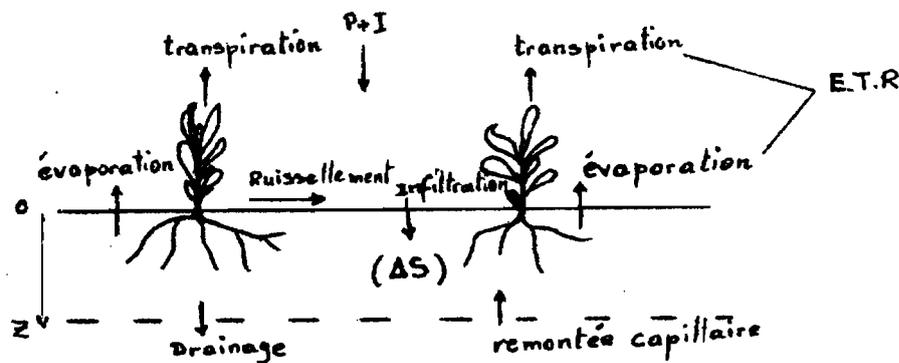


fig.2 schéma du bilan hydrique sous culture

II.1.1. La pluie

Dans tous les termes de l'équation générale du bilan hydrique, la donnée pluviométrique est généralement disponible. Elle constitue la seule offre en eau en agriculture pluviale stricte. Toute cette eau n'est pas utilisable par les plantes. Une partie s'infiltré en profondeur échappant ainsi au système racinaire. Une autre ruisselle sur le sol vers l'extérieure de la sole de culture. C'est pourquoi on utilise alors le terme de pluie utile (ou pluie efficace) qui est la différence entre la pluie mesurée et la part perdue par ruissellement. C'est cette fraction

.../...

de pluie qui est susceptible d'être utilisée par les plantes. La pluie n'a pas que des bienfaits. En effet, c'est l'énergie des gouttes de pluie (Hudson, 1961-1963-1973 cité par Roose 1984) qui déclenche les processus de destruction des agrégats du sol, la formation d'une pellicule de battance peu perméable et la naissance du ruissellement. Ainsi elle est l'agent causal principal de l'érosion hydrique de par son intensité. On caractérise l'érosivité des pluies (Wischmeier 1959 cité par CTFT 1979 et par Roose 1984) par leur indice d'agressivité $R = \sum E.I_{30}$ où E = Energie cinétique des pluies de plus de 12 mm
I = Intensité maximale en 30 mn

II.1.2. Le ruissellement

~~Le ruissellement de surface constitue la part de la pluie qui n'est pas absorbée par le sol et qui ne s'accumule pas à la surface, mais qui s'écoule dans le sens de la pente et se concentre en rigoles (Hillel 1984) et torrents. Le ruissellement se produit seulement quand l'intensité de la pluie dépasse le régime d'infiltration. Il constitue le flux liquide qui transporte et parfois arrache les particules solides à la surface du sol (Ellison, 1944 et 1945 cité par Roose 1984).~~

II.1.3. Le drainage

On distingue le drainage oblique et le drainage vertical.

- Drainage oblique : lorsque les horizons superficiels du sol sont poreux et que les horizons sous-jacents sont de moins en moins perméables, il peut naître des engorgements temporaires à différents niveaux dans le profil au cours des averses importantes (Roose 1984). Cette eau libre accumulée au-dessus des horizons peu perméables, est susceptible de s'écouler obliquement à l'intérieur du sol lorsque celui-ci est situé sur une pente.

- Drainage vertical : c'est la fraction des précipitations qui percole librement et verticalement dans le sol au-delà d'un horizon donné. En effet dans le cas où l'eau disponible est supérieure à la capacité de stockage du sol (RUM) exploitée par les racines à leur plein développement (le Corvec et al 1984), l'excédent percole et constitue le drainage :

$$D_v = P_u + S - RUM$$

C'est le drainage vertical qui est pris en compte dans le bilan hydrique.

II.1.4. Stock d'eau et variation de stock

- Stock d'eau du sol : c'est la quantité d'eau restant après prélèvement de l'évapotranspiration réelle. Pour calculer le stock d'eau contenu dans une tranche de sol dans lequel l'humidité varie, ce qui est généralement la réalité sur le terrain, on effectue la mesure d'humidité par tranche de sol de hauteur ΔZ_i (ou pas de mesure).

- S_i étant le stock de la tranche élémentaire, S_i (mm) = $\Delta Z_i \cdot \theta_i$. Le stock total sur une profondeur Z de sol est : $[S]_0^Z = \sum_{i=1}^n S_i$

- Variation de stock : la mesure de l'humidité d'un sol entre deux dates t_1 et t_2 permet le calcul de la variation de stock entre les deux dates considérées et vaut $S = S_{t_2} - S_{t_1}$ ou encore en utilisant l'équation du bilan hydrique :

$$\Delta S = P + I - R_{ui} - D_r - ETR$$

II.1.5. La demande évaporative

- ETP : Evapotranspiration potentielle

Le concept de "l'évapotranspiration potentielle" est une tentative de caractérisation de l'environnement micrométéorologique d'un couvert végétal en termes de puissance évaporative ou demande. Penman (1956) l'a définie d'une manière plus spécifique comme étant "la quantité d'eau transpirée par unité de temps par une végétation courte verdoyante, recouvrant complètement le sol, de hauteur uniforme et qui ne manque jamais d'eau".

L'ETP dépend des conditions climatiques locales (température, humidité de l'air, importance du vent, albedo, etc...). Elle est habituellement mesurée avec des évapotranspiromètres ou calculée à partir de formules climatiques préalablement testées sur des données expérimentales. Il existe de nombreuses formules de calcul de l'ETP. Baldy et al 1976, proposent l'expression suivante, pour la zone Soudano-Sahélienne.

$$ETP = \frac{EVA}{2 - 1,25 Hr}$$

EVA = donnée du bac d'évaporation classe A en mm

Hr = humidité relative de l'air, exprimée en valeur absolue de 0 à 1.

EVA et ETP sont deux estimations de la demande évaporative de l'atmosphère auxquels sont rattachées respectivement les coefficients culturaux $K'c$ et Kc .

$$K'c \text{ EVA} = Kc \text{ ETP}$$

- ETM : Evapotranspiration maximale : besoins en eau des cultures

ETM, un peu au même titre qu'ETP, est une référence intéressante pour caractériser "la consommation hydrique maximale" (Eldin 1984) d'une culture à un stade de développement donné dans des conditions agronomiques optimales. ETM est fonction de la demande évaporative de l'atmosphère et du stade de développement de la culture, ce que traduisent les relations (Forest 1984) suivantes :

$$Kc = \frac{ETM}{ETP}, \quad K'c = \frac{ETM}{EVA} \quad \text{où } Kc \text{ et } K'c \text{ sont des coefficients}$$

culturaux ou indices de consommation en eau de la culture au cours d'un stade phénologique donné. En période de plein développement il est fréquent que les coefficients culturaux dépassent la valeur 1. On remarque que dans les régions arides, et chaudes, les besoins en eau maximum sont très importants et ne sont que rarement couverts par la pluviosité.

- ETR : Evapotranspiration réelle

C'est la somme des volumes d'eau qui repartent vers l'atmosphère au-dessus d'un couvert végétal par :

- . évaporation directe de l'eau du sol
- . transpiration végétale qui est la vaporisation au niveau des feuilles de l'eau absorbée dans le sol par les racines. Elle est sous la dépendance de l'humidité du sol, de l'ETP instantanée et de la masse de sol prospectée par les racines (Acct 1985)

La connaissance du terme ETR importe plus particulièrement dans le domaine des cultures pluviales, car comparé aux besoins en eau de la culture (ETM), il permet d'apprécier le niveau de satisfaction (SAT) de ces besoins et de quantifier le déficit (DE) d'alimentation hydrique tout au long du cycle de la plante.

$DE = ETM - ETR$; $SAT = ETR / ETM$. (Charoy et al 1984, Forest 1984, le Corvec et al 1984).

L'ETR est égale à l'ETM lorsqu'au niveau des racines l'eau est abondante (le Corvec et al 1984) et facilement extractible (sol à la capacité au champ). Dans le cas contraire l'ETR est d'autant plus faible par rapport à ETM que l'humidité relative du sol est basse et les besoins élevés. Le polynôme d'Eagleman décrit cette relation entre ETR et ETM en fonction de l'humidité du sol (Hr).

II.2. Conclusion

De cette analyse il ressort que les composantes du bilan hydrique sont dépendants de facteurs liés au système sol-plante-atmosphère. L'homme en agissant sur les facteurs qui lui sont accessibles peut modifier le bilan hydrique dans une certaine mesure. Sans être exhaustif, le travail du sol, l'irrigation, la sélection génétique sont des pratiques à même d'influencer le bilan hydrique.

Il semble donc concevable d'entreprendre une étude de l'action des techniques d'économie de l'eau sur l'amélioration du bilan hydrique d'une culture de sorgho. On pourra déterminer au champ des termes indispensables à l'établissement (ruissellement, besoin en eau, ΔS ...) ou à l'appréciation (rendement, profil racinaire, phénologie de la plante...) du bilan hydrique.

.../...

D E U X I E M E P A R T I E

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I. MATERIEL ET METHODE

I.1. MATERIEL VEGETAL

Deux variétés de sorgho, IRAT 204 et E 35-1 ont été utilisées dans la présente étude.

Obtenue par l'IRAT en 1980 au Sénégal, la variété IRAT 204 est issue du croisement CE x IS 12610. Haut de 110 cm elle a un cycle de 95 jours et s'adapte à la zone située entre les isohyètes 500 et 700 mm. IRAT 204 est non sensible à la photopériode avec un rendement potentiel de 4t/ha.

E 35-1 est une variété améliorée de l'ICRISAT, originaire d'ETHIOPIE. Son cycle semi-maturité dure 125 jours. La tige a une hauteur de 2 m. Partiellement sensible à la photopériode, cette variété s'adapte à la zone pluviométrique de 650 à 800 mm pour un rendement de 4t/ha.

I.2. Dispositifs d'Etude

I.2.1. Etude des besoins en eau des cultures

a) Dispositif

Il comprend six (6) cuves lysimétriques, contenant un sol agricole reconstitué horizon par horizon.

Chaque cuve a une superficie de 1,6 m x 1,6 m = 2,56 m² et une profondeur de 1 m. Les cuves sont enterrées deux par deux dans des parcelles de culture de 20 m x 20 m, séparées par une allée de 2 m dans laquelle ont été creusées les fosses de drainage où l'eau drainée est recueillie.

b) Fonctionnement

Le dispositif permet de mesurer l'évapotranspiration maximale (ETM). Pour ce faire, le sol des cuves est maintenu à la capacité au champ. En absence de pluie on irrigue pour entretenir le drainage. La quantité maximale d'eau consommable par la culture est :

$$ETM \text{ (mm)} = \frac{I + 2,56 P - D}{2,56}$$

I = irrigation en litres

D = drainage en litres

P = pluie en mm

A partir de l'ETM quotidienne et de la valeur du relevé sur le bac d'évaporation classe A, on déduit le coefficient cultural de la période considérée, $K'c = \frac{ETM}{EVA}$.

c) Fertilisation et densité de semis

On a utilisé, 5t/ha de fumier plus 100 kg/ha de Burkina-phosphate en début de culture, 100 kg/ha d'urée en cours de végétation en deux fractionnements (montaison et floraison).

Chaque parcelle de 20 m x 20 m a été ensemencée en sorgho IRAT 204 à la densité de 0,80 m x 0,40 m et démarrié à deux plants par poquet.

d) Observations et mesures

On a procédé aux mesures et observations phénologiques caractéristiques de la culture.

- Mesure de hauteur tous les mois à partir de la date de semis
- Date d'épiaison (début épiaison, 50 % épiaison et 100 % épiaison)

.../...

A la récolte on a déterminé les composantes du rendements :

- Poids des grains
- Poids des pailles
- Poids des panicules
- Poids de 1000 grains.

A titre de comparaison les mêmes mesures et observations se font également dans des placettes de 2,56 m², où les plantes sont à l'ETR, délimitées dans la parcelle de garde à côté de chaque cuve.

I.2.2. Les essais techniques d'économie de l'eau

I.2.2.1. Etude du ruissellement et de l'érosion

a) Dispositif

Le dispositif a été mis en place en 1971 par une équipe IRAT-ORSTOM. Depuis lors plusieurs modifications sont intervenues dans les traitements dont les dernières datent de 1982. Ainsi le dispositif comprend cinq parcelles sur lesquelles les traitements suivants sont appliqués :

- Une parcelle standard d'érosion W (Wischmeier) où le sol est maintenu nu sans herbe, mais il n'y a aucun travail du sol en début de campagne. On effectue un binage manuel dans le sens perpendiculaire à la pente après chaque pluie importante (supérieure à 20 mm).

- Quatre parcelles d'érosion de même surface (16 m x 6 m = 96 m²) qui sont :

- . Parcelle T : témoin sans travail du sol
- . Parcelle LB : labour de préparation aux boeufs dans le sens perpendiculaire à la pente.
- . Parcelle B : labour en billons perpendiculaires à la pente, semis sur billon.
- . Parcelle BC : semis sur billons cloisonnés perpendiculaires à la pente.

b) Fertilisation et densité de semis

Les différents traitements ont reçu 5T de fumier, 100 kg/ha de Burkina-phosphate, 100 kg/ha d'engrais coton (14-23-14-6S-1B) à la préparation du sol, 50 kg/ha d'urée à la montaison et à l'épiaison.

Comme culture on a utilisé du sorgho IRAT 204 à la densité de 0,80 m entre les lignes perpendiculaires au sens de la pente et 0,40 m sur la ligne.

d) Mesures et observations

Les quantités d'eau ruisselée sont mesurées grâce à des cuves graduées reliées entre elles par un système de partiteurs. Ces cuves sont installées en aval des parcelles.

Les quantités de terre érodée sont appréciées en recueillant, dans un bassin de sédimentation, les éléments grossiers. La terre en suspension dans l'eau (éléments fins) est évaluée à partir des prélèvements d'échantillons d'eau dans les cuves. Les prélèvements sont séchés à l'air libre.

Sur la plante on procède à des mesures de hauteur, à l'observation des stades phénologiques, à la détermination des composantes du rendement.

I.2.2.2. Essai sur la rentabilité comparée de l'irrigation de complément et des techniques d'économie de l'eau

a) Dispositif

Il comprend quatre (4) blocs correspondant chacun à une répétition de six (6) traitements qui sont :

- 1 : Témoin (T)
- 1A : Témoin + Irrigation de complément (Ti)
- 3 : Labour à plat aux boeufs (LB)
- 3A : Labour à plat aux boeufs + Irrigation de complément (LBi)

.../...

- 11 : Labour à plat suivi d'un buttage et cloisonnement des buttes un mois après la levée de la culture (LB + Bc)
- 12 : Semis sur billons cloisonnés (Bc)

Les blocs sont séparés par des allées de 3 m de large et les parcelles par des allées de 2 m. Chaque parcelle élémentaire a une superficie de 22 m x 9,6 m = 211,2 m².

Un système d'irrigation par aspersion aux spinklers est en place pour les apports éventuels d'eau.

b) Fertilisation et densité de semis

La fertilisation se compose de 100 kg/ha d'engrais coton (14-23-14-6S-1B) à la préparation du sol, 100 kg/ha d'urée en deux fractionnements (montaison et floraison).

On a semé du sorgho E35-1 sur cet essai à la densité de 0,80 m entre les lignes, 0,40 m sur la ligne et démarré à 3 plants par poquet.

c) Observations sur la plante

Toutes les observations sont concentrées sur les blocs II et III et concernent :

- Les mesures de hauteurs, effectuées à un mois, deux mois et à la récolte.

Ces mesures sont faites sur les mêmes plants sur deux lignes de 28 plants tirées au hasard sur la parcelle utile.

- Les profils racinaires : ce sont des observations qualitatives sur l'enracinement en début montaison et à la floraison.
- Les stades phénologiques de la culture : ces observations ont porté notamment sur l'épiaison; les dates de début épiaison, 50 % épiaison, 100 % épiaison.

d) Caractéristiques mesurées à la récolte

A la récolte on a éliminé deux lignes de chaque côté de la parcelle et quatre poquets de bordure à chaque extrémité. La parcelle récoltée mesure donc 19,2 m x 7,2 m = 138,24 m² et pour l'évaluation du rendement et de ses composantes on a défini :

- le nombre de poquets récoltés
- le nombre total de panicules
- le nombre de panicules vides
- le poids des panicules
- le poids des grains
- le poids des pailles

e) Suivi hydrique de la parcelle

Il est réalisé au niveau des blocs II et III sur les traitements T, T₁, LB, LB_i grâce à deux tubes d'accès pour humidimètre à neutrons placés à 2 m de profondeur dans chaque parcelle élémentaire. Une batterie de cinq tensiomètres est mise en place autour d'un tube par parcelle. Les tensiomètres aux cotes 30/45/75/110/150 cm permettent de déterminer la pression effective de l'eau dans le sol et de connaître le sens du transfert d'eau.

L'humidimètre à neutrons a été étalonné par la méthode gravimétrique. L'équation de la courbe d'étalonnage obtenue permet le calcul des humidités volumiques (H_v) du sol à partir des comptages périodiques.

f) Méthode d'étude de l'enracinement

Des profils racinaires ont été réalisés en début de floraison. Une fosse d'environ 60 cm de profondeur, creusée en bordure d'une parcelle de chaque traitement, perpendiculairement aux lignes de semis et à l'aplomb de deux poquets, permet de dégager les racines.

A l'aide du couteau on les met à nu jusqu'à environ 2 cm du collet des tiges. On plaque sur le mur de la fosse un cadre rigide en bois de dimensions intérieures 0,40 m x 0,20 m (méthode I.T.C.F.). A l'intérieur du cadre, des fils de crin tendus délimitent des mailles de 5 cm de côté. On compte alors le nombre de racines apparaissant dans chaque maille. L'échelle de notation permet de schématiser les profils racinaires.

Il a été utilisé une échelle de notation à cinq valeurs soit x le nombre de racines par maille :

note 0	absence de racine	$x = 0$
note 1	racines rares	$1 \leq x < 3$
note 2	racines peu abondantes	$3 \leq x < 5$
note 3	racines abondantes	$5 \leq x < 7$
note 4	racines abondantes	$7 \leq x$

I.2.2.3. Fondements théoriques de la méthode du bilan hydrique "in situ"

a) Principe de la mesure tensiométrique : (Vachaud et al 1977, Ruelle et al 1983)

Un tensiomètre comprend une bougie poreuse en céramique surmontée par un tube creux fermé par un bouchon. Ce tube est relié à un manomètre à mercure constitué par un réservoir de mercure dans lequel plonge un tube capillaire fin (cf fig.3). L'ensemble, étanche à l'air est totalement rempli d'eau dégazée. Son principe repose sur la dépression créée dans un système étanche à l'air, par le transfert de l'eau au travers d'une paroi poreuse. Par l'intermédiaire des pores de la bougie, l'eau contenue dans le tensiomètre se met en équilibre avec l'eau du sol. La succion que le sol exerce sur l'eau est donc transmise au dispositif manométrique et le mercure monte dans le capillaire.

Lorsque le sol est saturé d'eau, il n'y a aucun échange entre l'intérieur de la bougie et le sol. La montée du mercure dans la colonne à mercure est nulle. Par contre, si le sol est sec, il y a transfert d'eau, par diffusion, de l'intérieur de la bougie vers le milieu environnant. En conséquence, il se produit une dépression à l'intérieur du système qui se traduit par une montée du mercure.

Dans le cas général, la montée du mercure dans la colonne sera directement fonction de l'état de dessèchement du sol.

Les lois de l'hydrostatique appliquées en tensiométrie donnent la charge hydraulique H . En effet, considérons le système simple constitué par :

- une canne tensiométrique (fig.3) verticale enfoncée à la profondeur Z
- un seul manomètre

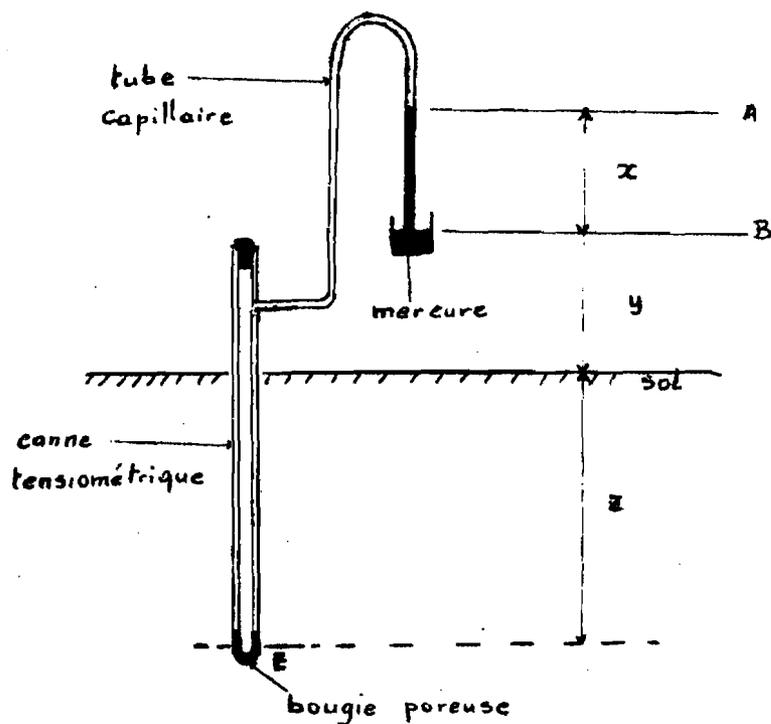


fig 3. Un tensiomètre

On peut écrire :

Dans l'eau $P_E = P_A + \rho_w \cdot g \cdot (x+y+z)$ (1) où ρ_w est la masse volumique de l'eau.

.../...

Dans le mercure, entre A et B, $P_B = P_A + \rho_{Hg} \cdot g \cdot x$ (2)
 où ρ_{Hg} est la masse volumique du mercure.

Le niveau du mercure étant en B à l'atmosphère, $P_B = P_0$
 (atmosphérique) si l'on tire P_A de (2) et on le remplace par
 cette valeur dans (1) on a :

$$P_E = P_0 - \rho_{Hg} \cdot g \cdot x + \rho_w \cdot g \cdot (x + y + z) \quad (3).$$

Soit P_w la pression de l'eau dans le sol au niveau de la bougie
 poreuse. Par convention, on caractérise cette valeur sous-forme
 d'une pression effective, exprimée en hauteur d'eau et définie
 par :

$$h = \frac{P_w - P_0}{\rho_w \cdot g} \quad (4) \quad \implies \quad P_w = h \cdot \rho_w \cdot g + P_0$$

Si l'on suppose que la pression d'eau est en équilibre
 entre l'intérieur et l'extérieur de la bougie poreuse, soit $P = P_E$
 l'expression (3) devient :

$$h \cdot \rho_w \cdot g + P_0 = P_0 - g \cdot x (\rho_{Hg} + \rho_w) + \rho_w \cdot g \cdot (y + z).$$

$$\text{Soit, avec } \rho_{Hg} = 13,6 \text{ g/cm}^3 \quad \rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$h = -12,6 x + y + z \quad (5)$$

En introduisant la charge hydraulique sous la forme
 $H = h - z$,

$$H = -12,6 x + y \quad (6)$$

Les échelles manométriques habituellement utilisées
 sont graduées en $12,6 x$, permettant une lecture directe homogène
 (ici en mbar) de la valeur de la charge hydraulique pour
 n'importe quel tensiomètre. Cette valeur est toujours négative.
 Pour obtenir la pression, il suffit d'utiliser la relation $h =$
 $H + z$.

Les mesures à différentes cotes conduisent au profil de
 charge $H(z)$. Pour un écoulement supposé vertical, la direction
 des flux est liée à la variation de charge hydraulique d'après la
 loi de Darcy généralisée qui s'écrit $q = -k(\theta) \frac{dH}{dz}$ (7)

.../...

q est le flux volumique traversant le niveau z ,
 $k(\theta)$ est la conductivité hydraulique,
 $H = (h-z)$ est la charge hydraulique.
 z la profondeur de mesure
 $\frac{dH}{dz}$ le gradient de charge

Le gradient de charge donne le sens de l'écoulement hydrique.

$\frac{dH}{dz} < 0 \implies q > 0$ l'écoulement est dirigé vers le bas
 (infiltration, percolation)

$\frac{dH}{dz} > 0 \implies q < 0$ l'écoulement est dirigé vers le haut
 (évaporation, remontée capillaire).

$\frac{dH}{dz} = 0 \implies q = 0$ à tout point de charge hydraulique maximum, et correspond à un plan de flux nul séparant une zone de sol soumise à évaporation d'une zone soumise à percolation.

Cela se traduit concrètement sur le terrain par les trois configurations représentées en fig 4 (Vachaud et al op. cité)

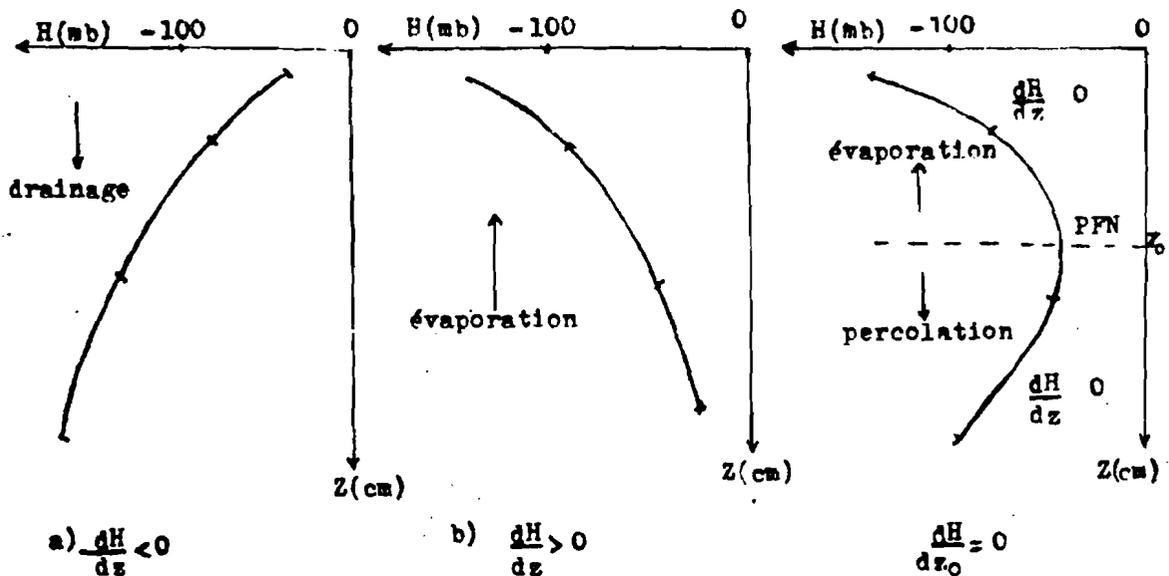


Fig. 4 : Profils de charge et détermination du sens de l'écoulement

H est toujours un nombre négatif, dans ces conditions, la charge est d'autant plus grande que la valeur absolue est faible.

b) Principe de fonctionnement de l'humidimètre à neutrons

Les méthodes de mesure de l'humidité du sol varient depuis la méthode gravimétrique qui nécessite le prélèvement d'échantillons de sol à la tarière, à la méthode neutronique. Celle-ci est basée sur l'interaction des neutrons rapides, émis par une source artificielle (mélange de ^{241}Am -Be) et les noyaux des atomes constitutifs du sol, particulièrement l'hydrogène de l'eau. A l'issue des chocs successifs, les neutrons rapides perdent leur énergie qui atteint alors une valeur proche de l'agitation thermique. Ils sont dénombrés à l'aide d'un détecteur de neutrons thermiques placé à proximité de la source.

Dans la pratique il est nécessaire d'étalonner la sonde en chaque site de mesure pour tenir compte de la densité apparente sèche et de la composition chimique du sol.

L'étalonnage revient à établir la relation entre la mesure brute N donnée par l'appareil et l'humidité volumique (H_v) du sol.

Dans le cas de l'humidimètre solo 25, la courbe d'étalonnage est la droite d'équation :

$$H_v = a \cdot \frac{N}{N_0} + b$$

a et b , paramètres dépendant du sol

N = comptage donné par l'humidimètre

N_0 = comptage standard (soit dans l'eau, soit dans l'étuit).

La théorie des mesures neutroniques est expliquée dans les ouvrages spécialisés (COUCHAT 1974 cité par SOME 1985, Luc 1978, AJEA 1983).

Application au calcul du bilan hydrique

Supposons un tube d'accès pour humidimètre neutronique, implanté en un point d'une parcelle et une série de tensiomètres à différentes cotes. Effectuer un bilan hydrique consiste à déterminer les composantes de la variation du stock hydrique entre deux instants. Sur sol cultivé l'équation de conservation de la masse s'écrit :

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{dq}{dz} + R(Z,t) \quad (8)$$

où $R(Z,t)$ est l'extraction instantanée d'eau par les racines par unité de volume de sol.

L'intégration de l'équation (8) donne :

$$q(0,t) = q(Z,t) + \frac{d}{dt} \int_0^Z \theta(Z,t) dz - \int_0^Z R(Z,t) dz \quad (9)$$

$\frac{d}{dt} \int_0^Z \theta(z,t)$ est la variation instantanée du stock d'eau à la cote z .

Deux cas de figure sont possibles :

a) Il existe un plan de flux nul $Z_n(t)$ situé au delà de la profondeur maximum d'enracinement $Z_r(t)$, l'équation (9) devient :

$$q(0,t) + \int_0^{Z_n(t)} R(z,t) dz = \frac{d}{dt} \int_0^{Z_n(t)} \theta(z,t) dz \quad (10)$$

puisque $\int_{Z_r(t)}^{Z_n(t)} R(z,t) dz = 0$ par hypothèse, l'équation (10) donne donc l'évapotranspiration

$$ETR(t) = \frac{d}{dt} \int_0^{Z_n(t)} \theta(z,t) dz \quad (11)$$

b) Le plan de flux nul se trouve dans la zone racinaire. L'équation (9) donne :

$$q(0,t) + \int_0^{Z_r(t)} R(z,t) dz = q(z,t) + \frac{d}{dt} \int_0^z \theta(z,t) dz \quad (12)$$

Il faut alors estimer le flux à une cote $Z_s > Z_r(t)$ et l'évapotranspiration est donnée par :

$$ETR(t) = q(Z_s,t) + \frac{d}{dt} \int_0^{Z_s} \theta(z,t) dz \quad (13)$$

.../...

Dans l'équation (12) $q(0,t)$ est le flux à la surface du sol. En l'absence de pluie ou d'irrigation, il s'agit de l'évaporation et de la pluviométrie P . L'utilisation d'un humidimètre neutronique, permet de suivre l'évolution temporelle de l'humidité volumique $\theta(z,t)$ sur une verticale. Elle conduit à la détermination du stock hydrique et de ses variations dans le temps.

L'utilisation simultanée de tensiomètres permet soit de déterminer l'évolution $z_0(t)$ du plan de flux nul (quand il existe) ; soit d'estimer les gradients de charge à une cote de référence Z_s (dans le cas contraire). Dans cette dernière situation, l'estimation des flux à Z_s (éq. 13) requiert la connaissance préalable de la conductivité hydraulique.

II.2.3.2. Présentation sommaire du modèle BIP de simulation du bilan hydrique.

Le modèle de simulation du bilan hydrique mis au point par Franquin et Forest (1976) utilise en entrée des paramètres :

- . Climatiques : pluviométrie journalière, évaporation bac ou ETP Penman
- . Physiologiques : coefficients culturaux pentadaires ou décadaires (K_c ou K'_c) adaptés au référentiel choisi pour la demande évaporative.
- . Pédologiques : réserve utile, seuil de ruissellement, coefficient de ruissellement
- . Agronomiques : date de semis, séquence et durée des phases physiologiques.

.../...

Après traitement de ces paramètres, on obtient en sortie les valeurs pentadaires des paramètres :

- . ETR : l'évapotranspiration réelle de la culture;
- . Dr : le drainage sous la zone racinaire;
- . ETM : l'évapotranspiration maximale de la culture;
- . $\frac{ETR}{ETM}$: taux de satisfaction hydrique

L'évapotranspiration réelle de la culture est calculée à partir de l'algorithme d'Eagleman (voir fonction d'Eagleman en annexe).

.../...

CHAPITRE II RESULTATS ET DISCUSSIONS

II.1. Analyse de la pluviométrie de la campagne 1988

L'augmentation de l'efficacité de la pluie par les techniques d'économie de l'eau dépend, entre autres facteurs, des caractéristiques des pluies reçues. Aussi l'analyse de la pluviométrie peut permettre de comprendre l'effet des traitements sur le système eau-sol-plante.

La fig. 5 représente le diagramme des pluies mensuelles au cours de l'année 1988 à Saria. Le pourcentage par rapport au total annuel des hauteurs d'eau reçues au cours de chaque mois est également indiqué.

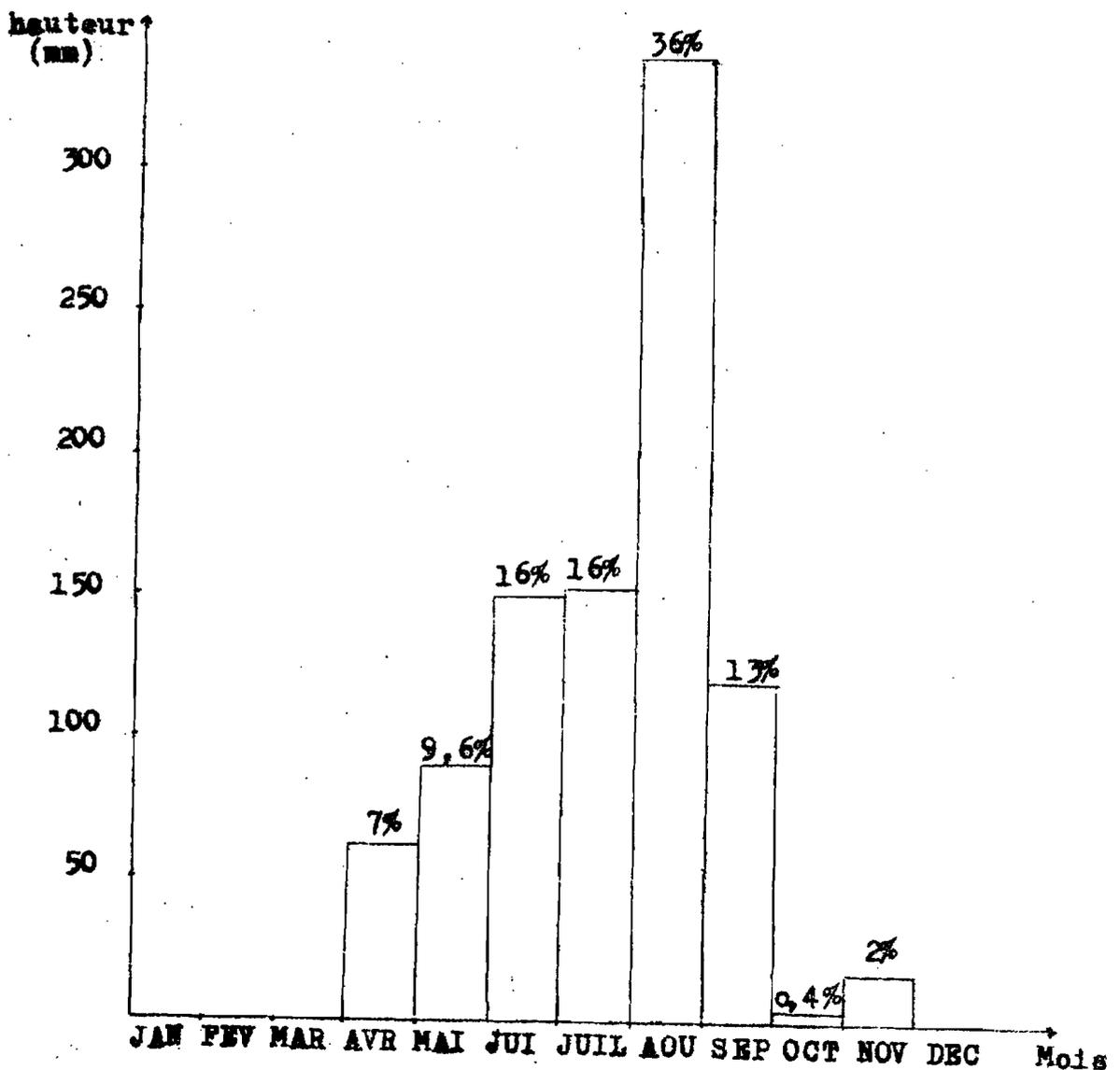


Fig. 5 : Diagramme des précipitations mensuelles de SARIA, 1988

Une analyse plus détaillée de cette pluviométrie annuelle est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Pluviométrie décadaire et fréquence des pluies de Saria, 1988

Décade	Mois								
	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPT	OCT	NOV	
1	17,5	8,2	60,5	73,5	43,2	40,7	0	0	
2	0	4,7	35,7	36,9	124,0	58,5	3,5	0	
3	44,8	77,4	53	42,2	172,2	20,7	0	18	
TOTAUX	62,3	90,3	149,2	152,6	339,4	119,9	3,5	18	
Nombre maximum de jours sans pluie	15	9	4	2	3	3	17	25	
Nombre maximum de jours sans pluie >10 mm	24	25	7	6	4	8	31	25	

Sur l'ensemble de la campagne on n'a pas enregistré de période de sécheresse pouvant compromettre dangereusement les récoltes. Les pluies ont été fréquentes en Juin, Juillet, Août et Septembre. Les hauteurs mensuelles reçues se situent dans les cas rares de bonne pluviométrie de la zone. Il faut cependant remarquer que l'arrêt brutal des précipitations importantes (cf. pluie journalière < 11 mm) à la fin de la deuxième décade de Septembre a été sans doute dommageable pour le sorgho en début de maturation.

.../...

II.2. Besoins en eau des cultures : Résultats de l'étude des besoins en eau du sorgho IRAT 204

- Dates des interventions culturales

Opérations culturales	Dates
Préparation du sol par labour au tracteur	5-7-88
Semis	10-7-88
Resemis	18-7-88
1er désherbage (manuel)	27-7-88
1er sarclage (aux boeufs)	2-8-88
2ème sarclage (manuel) + épandage	
1er fractionnement d'urée	24-8-88
2ème désherbage (manuel) + épandage	
2ème fractionnement d'urée	14-9-88
Récolte	4-11-88

- Dates des différentes phases d'épiaison en JAS (Jours Après Semis)

Tableau 3

N. cuve et placette	Début épiaison		50 % épiaison		100 % épiaison	
	Cuve	Placette	Cuve	Placette	Cuve	Placette
I	54	53	60	54	66	61
II	54	52	59	54	66	60
III	53	53	59	63	66	68
IV	54	52	59	54	66	67
V	54	54	59	59	66	66
VI	53	60	58	64	66	70
Moyenne	53,6	54,0	59,0	58,0	66,0	65,3
	$\sigma=0,51$	$\sigma=3,03$	$\sigma=0,6$	$\sigma=4,69$	$\sigma=0,0$	$\sigma=3,98$

Les plantes en cuve se développent dans les conditions d'ETM, tandis que celles sur les placettes sont à l'ETR. Il n'y a cependant pas de différence significative, pour les phases d'épiaison, entre cuves et placettes. Ceci peut s'expliquer par la bonne pluviosité. De même il n'y a pas de différence significative respectivement ni entre les cuves ni entre les placettes elles-mêmes.

- Croissance végétative

La fig. 6 représente les histogrammes d'évolution de la hauteur moyenne des plants en cuve et des plants dans les placettes. Elle montre que la croissance du sorgho a été identique tant dans les lysimètres que dans les placettes.

- Rendement et composantes du rendement

Le tableau 4 où sont regroupés l'ensemble de ces résultats fait ressortir une homogénéité dans les rendements et composantes du rendement entre cuves et parcelles de garde. Les placettes sont des échantillons pris sur les parcelles de garde. A l'exception de la cuve I les résultats au sein des cuves sont sensiblement les mêmes. Une analyse chimique des eaux de drainage pourrait donner une explication éventuelle à la faiblesse du rendement de la cuve I. Par rapport au rendement potentiel de la variété IRAT 204, les rendements obtenus sont assez bons, aussi bien dans les placettes, que dans les cuves.

.../...

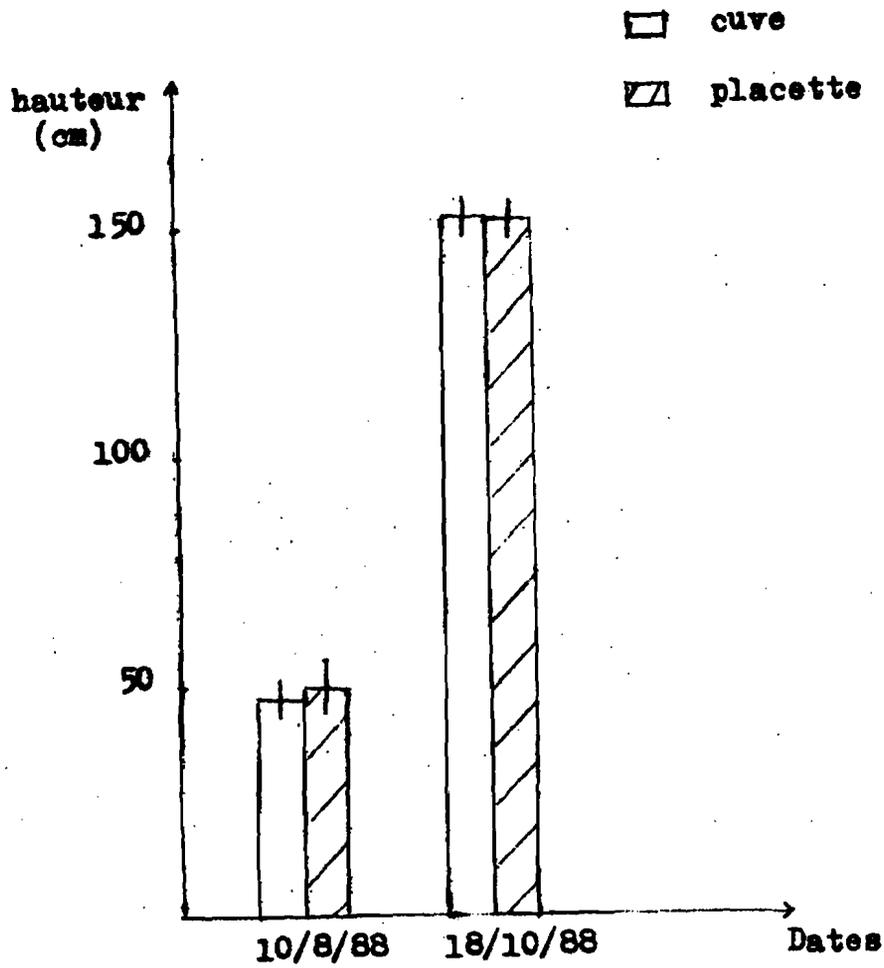


Fig. 6: Histogrammes de la croissance du Sorgho IRAT 204

Tableau 4 : Rendement et composantes du rendement, sorgho IRAT204

	Cuves						Placettes						Moyenne	Observations	
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI			
Nombre de panicules	17	27	20	16	24	19	20,5 $\sigma=4,23$	20	17	13	17	15	16	16,3 $\sigma=2,33$	
Nombre de panicules par poquet	2,1	2,7	2,5	2	3	2,3	2,5 $\sigma=0,51$	2,5	2,1	1,5	2,1	1,8	2	2 $\sigma=0,30$	
Poids panicule par poquet (g)	89,71	149,75	131,25	112,50	137,50	150,00	123,96 $\sigma=29,75$	143,75	118,75	75,00	112,50	93,75	118,75	110,41 $\sigma=23,50$	
Poids grains par panicule (g)	23,53	35,57	42,00	40,62	29,16	50,00	37,14 $\sigma=9,51$	45,00	44,11	30,77	41,17	36,67	43,75	40,24 $\sigma=5,53$	
Poids de 1000 grains (g)	15,92	16,87	22,11	25,43	30,21	22,74	20,21 $\sigma=2,39$	20,35	23,75	20,59	20,02	21,58	20,80	21,23 $\sigma=1,38$	
Rendement grains (T/ha)	1,562	3,906	3,320	2,539	2,734	3,710	2,961	3,515	2,929	1,562	2,734	2,148	2,734	2,604	C.V. 32,98% N.S.

- Coefficients culturaux du sorgho IRAT 204

L'étude des besoins en eau du sorgho IRAT 204 a donné les coefficients culturaux K^c présentés dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : K^c du sorgho IRAT 204

DECADE	Coefficients culturaux per cuve						K ^c Moyen
	Cuve I	Cuve II	Cuve III	Cuve IV	Cuve V	Cuve VI	
1	0,36	0,54	0,52	0,26	0,92	0,30	0,48
2	0,70	0,80	0,88	0,80	0,85	0,80	0,81
3	0,88	0,93	0,92	0,80	0,87	0,81	0,87
4	0,89	0,58*	0,75	0,61*	0,56*	0,53*	0,82
5	1,25	1,60*	1,43	1,13	1,49	1,06	1,27
6	1,10	1,53*	1,27	1,01	1,32	0,94	1,12
7	1,10	1,19	1,29*	1,14	1,48*	1,12	1,13
8	0,66*	0,94	1,02	0,89	1,16	0,88	0,97
9	0,89	1,16*	1,22*	1,03	1,15	1,20	<u>1,02</u>
10	0,78	0,78	1,04*	0,75	0,84	0,90*	0,78

ETM moyen : 446 mm

* Valeur dont on n'a pas tenu compte dans le calcul de la moyenne

- Valeur surestimée

.../...

L'ETM moyenne sur le cycle du sorgho IRAT 204 a été de 446 mm, le poids moyen de grains récoltés dans les cuves est de 0,758 kg. Le rapport ETM moyen cycle/poids grains est égal à 588 mm/kg. Ce qui signifie que pour une disponibilité de 1500 l environ la culture a produit 1 kg de grains.

Une comparaison des coefficients K^c de IRAT 204 avec ceux du sorgho CE 67 (tableau 6) établis à Bambey, montre que le premier a des coefficients culturaux plus élevés.

Tableau 6 : K^c sorgho IRAT 204 et sorgho CE 67

Décade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ETM (mm)

K^c sorgho CE 67, 90 jours	0,37	0,44	0,50	0,88	0,96	0,90	0,82	0,78	0,68	390

K^c sorgho IRAT 204 95 jours	0,48	0,81	0,87	0,82	1,27	1,12	1,13	0,97	0,78	446

Les coefficients culturaux K^c que l'on établit à partir de l'étude des besoins en eau, reflètent l'aptitude de la culture à utiliser réellement les ressources en eau.

La connaissance des besoins en eau des cultures permet d'estimer (Mery et al 1983) les quantités d'eau à apporter dans un système de culture irriguée. En outre, les coefficients culturaux sont indispensables dans la simulation du bilan hydrique à la parcelle.

Il apparaît alors nécessaire d'établir les coefficients culturaux des principales cultures dans différentes conditions agroclimatiques du Burkina.

II.2.1. Coefficients culturaux obtenus à partir des études entreprises depuis 1983 à Saria

La synthèse des résultats de ces études sont consignés dans le tableau 7.

Certaines variétés de sorgho comme par exemple E35-1, à la maturation ont tendance à émettre des bourgeons axillaires. Cela pourrait expliquer les coefficients culturaux élevés en fin de cycle chez cette variété.

Tableau 7 : Coefficients culturaux de quelques variétés de maïs et de sorgho

DECADE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	ETN (mm)	
Culture	Dates semis-récolte		COEFFICIENTS			CULTURAUX		K'c	DECADAIRES				
Sorgho E 35-1	0,67	0,73	0,99	0,80	0,97	1,28	1,22	1,14	1,36*	1,09*	1,33*	668	
Sorgho IRAT 277	14/6/86-30/9/85	0,60	0,72	0,71	0,85	0,80	1,01	0,94	1,14	0,75	1,02*	1,10*	472
Sorgho IRAT 204	10/7/88-4/11/88	0,48	0,81	0,87	0,82	1,27	1,12	1,13	0,97	1,02*	0,78	-	446

* Valeurs surestimées

Conclusion

Les besoins en eau des variétés de sorgho étudiées à Saria sont en concordance avec ceux obtenus ailleurs dans les situations agroclimatiques quelque peu semblables. (Dancette 1976-1978 cité par IRAT/CIEH 1982).

Les résultats montrent que de façon générale, les quantités de pluies qui tombent sont en principe suffisantes pour couvrir les besoins en eau du sorgho toujours inférieurs à la pluviométrie annuelle.

Le problème majeur réside dans la répartition temporelle de ces pluies et dans la disponibilité de l'eau au profit des cultures.

II.3. EVALUATION DE L'EFFET DES TECHNIQUES D'ECONOMIE DE L'EAU

Les techniques d'économie de l'eau ont été utilisées en P7 avec l'essai "étude du ruissellement et de l'érosion" et en P15 avec l'essai "rentabilité comparée de l'irrigation de complément et des techniques d'économie de l'eau". Par la suite on pourra utiliser "P7" et "P15" pour désigner ces essais.

- Dates des interventions culturales

Opérations culturales	Dates	
	en P7	en P15
Préparation du sol + apport de NKP (14-23-14-6S-1B)	3/6	11/6-13/6
Semis	10/7	16/6
Resemis	18/7	28/6
1er sarclage (manuel en P7, aux boeufs en P15)	30/7	14/7
épandage de NPK (14-23-14-6S-1B)	30/7	
épandage du 1er fractionnement d'urée	25/8	27/7
2ème sarclage (manuel)rée	25/8	27/7
désherbage	8/9	31/8
épandage du 2ème fractionnement d'urée	14/9	31/8
Récolte	4/11	31/10

II.3.1. Effet des traitements sur le ruissellement et l'érosion

La constante dégradation de la végétation en zone tropicale sèche augmente les risques d'érosion. Les pratiques culturales ancestrales ne permettent pas la conservation et/ou la restauration du sol et de la végétation. L'adaptation au milieu pédoclimatique de nouvelles techniques culturales est essentielle pour accroître la production tout en luttant contre la dégradation de l'écosystème. Dans cette optique, l'étude de l'impact de certaines techniques d'économie de l'eau, entreprise depuis 1982, sur le contrôle du phénomène de ruissellement et d'érosion à la parcelle a donné des résultats satisfaisants. La synthèse de ces résultats permet de tirer plusieurs enseignements.

II.3.1.1. Effet des traitements sur le ruissellement

a) Résultats de la campagne 88

Pour l'analyse des résultats on a découpé le cycle cultural en 3 périodes. Ces périodes prennent en compte le degré de développement végétatif du sorgho. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Ruissellement à la parcelle sous culture de sorgho

Période du	Pluvio- métric (mm)	W		T		B		BC		LB	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
3/6- 18/7	399	80,17	20	125,02	31	7,67	1,9	38,64	9,7	60,39	15
19/7- 18/8	200,6	17,32	8,6	40,1	20	11,79	5,9	5,39	3	29,99	14,9
19/8- 31/10	246,6	27,52	11	57,73	23	10,42	4	8,59	3,5	28,72	11,6
TOTALX	864,2	125,01	14	220,85	25,6	29,88	3,4	53,08	6,1	119,10	13,8

La période du 3/6 au 18/7 représente la phase allant de la préparation du sol à la levée. Au cours de cette phase le sol est pratiquement nu. Seule la microtopographie, créée par chaque traitement, à la surface du sol a une incidence sur le ruissellement et l'érosion. Durant cette période les parcelles B et Bc ont les coefficients de ruissellement les plus faibles par rapport aux autres traitements. Le témoin a le coefficient le plus élevé (31 %).

La période du 19/7 au 18/8 constitue la phase allant de la levée à un mois après les semis. La couverture du sol par la végétation n'est pas totale, son incidence sur le ruissellement est encore limitée. Le labour à plat et les billons cloisonnés ont toujours les coefficients de ruissellement les plus bas et le témoin le coefficient le plus élevé. Par rapport à la période précédente les coefficients ont globalement baissé.

La période du 19/8 au 31/10, correspond à l'installation de la culture jusqu'à la récolte. C'est la période la plus longue et ayant reçu le plus de pluies par rapport aux phases précédentes. Théoriquement au cours de cette période les coefficients de ruissellement sont les plus bas. Parce que sur les parcelles on a l'effet conjugué des techniques culturales et du couvert végétal sur le ruissellement. Cette baisse attendue des coefficients de ruissellement n'a pas été toujours observée. Cela peut être lié à l'état d'humectation du sol, à la fréquence des pluies dont les influences sur le ruissellement ont été montré par Roose (1981). Au cours de cette période le témoin a le coefficient le plus élevé et les parcelles B et Bc les coefficients les plus faibles.

On ne dispose pas, malheureusement, des intensités des pluies au cours de cette campagne pour les intégrer dans cette analyse. Entre B et Bc il ne ressort pas une suprématie de l'un par rapport à l'autre vis à vis du ruissellement.

b) Synthèse des résultats de 1982 à 1988

Pour la parcelle B on n'a pas de résultat sur toutes les années. Aussi la synthèse sera faite à partir des résultats des traitements W, T, LB et BC. Dans l'analyse des résultats on intègre les intensités (I_{30}) moyennes annuelles des pluies de plus de 10 mm.

La fig. 7 représente les courbes d'évolution des coefficients de ruissellement annuels au cours des campagnes de mesure sur chaque traitement. A ces courbes de coefficients de ruissellement est associée celle des intensités en 30 mn moyennes annuelles des pluies de plus 10 mm.

A partir de ces courbes on peut faire les observations suivantes :

- les variations interannuelles des coefficients de ruissellement sont en relation avec les moyennes annuelles des I_{30} . En effet sur les parcelles W, T et LB, les coefficients de ruissellement varient dans le même sens que les I_{30} . Sur BC les coefficients semblent évoluer "indépendamment" des variations interannuelles des I_{30} .

- On a une tendance à la baisse des coefficients de ruissellement au cours des années sur les traitements LB et BC. On peut même émettre l'hypothèse d'une décroissance linéaire du coefficient de ruissellement annuel sur ces parcelles. Pour vérifier cette hypothèse il faut disposer de la variation du facteur physique et/ou chimique lié au sol qui soutend cette baisse du coefficient de ruissellement. C'est seulement à partir de ces données qu'une régression linéaire (coefficient de ruissellement sur facteur physique et/ou chimique) pourra infirmer ou confirmer cette hypothèse.

- Au cours des 6 années d'étude, le traitement BC est resté le plus efficace contre le phénomène de ruissellement. Au cours des premières années de mesure LB avait le coefficient de ruissellement le plus fort. Mais finalement il se comporte comme W. A partir de la 3ème année la parcelle T est devenue la plus susceptible au ruissellement. Ceci est peut être dû à une augmentation de la cohésion des particules du sol, limitant ainsi l'infiltration sur ce traitement.

Dans l'objectif d'une étude plus détaillée des résultats obtenus, on a divisé chaque campagne d'étude en trois phases :

Phase 1 : avant préparation du sol. A cette phase les coefficients de ruissellement reflètent les arrières effets des traitements des années précédentes.

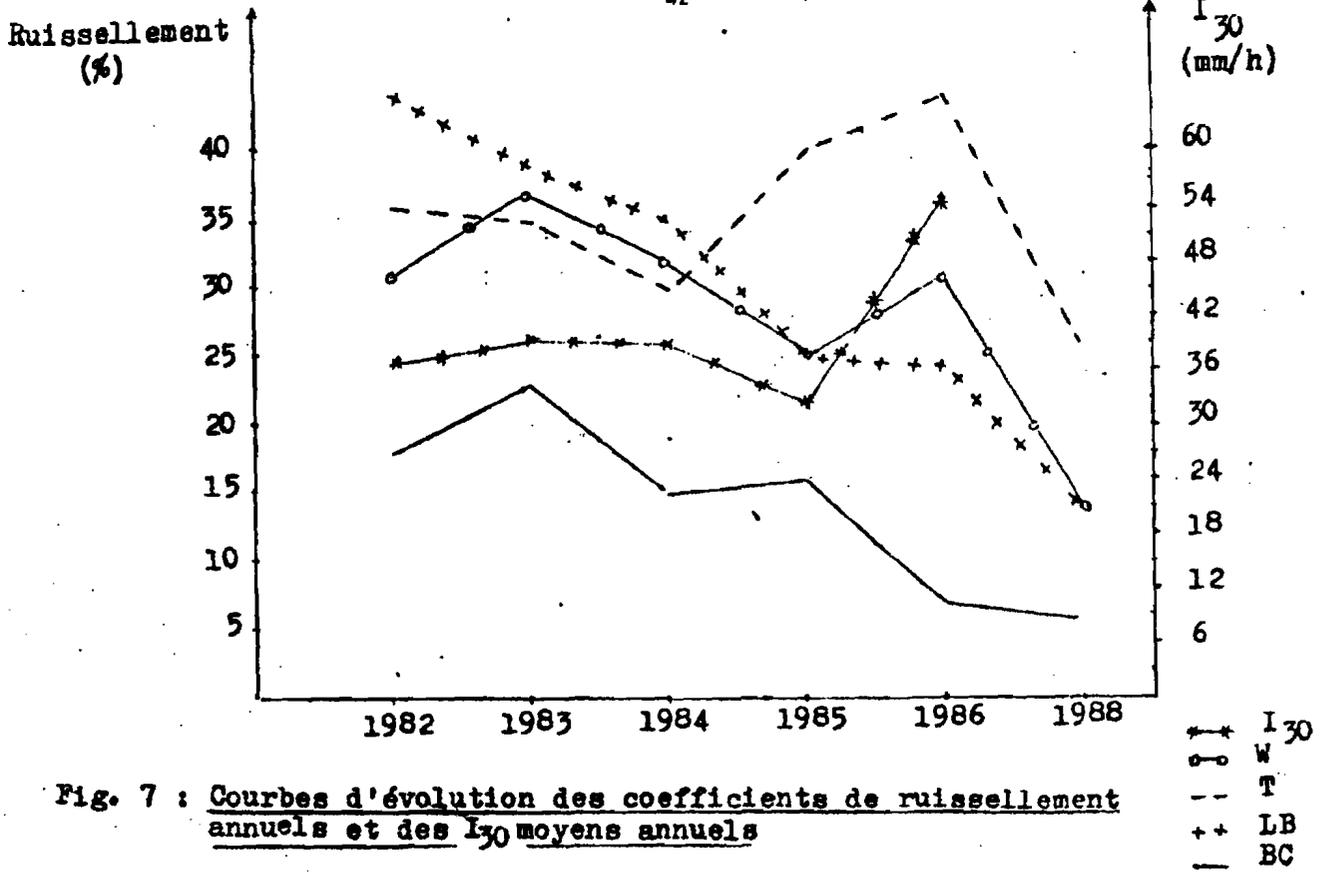


Fig. 7 : Courbes d'évolution des coefficients de ruissellement annuels et des I₃₀ moyens annuels

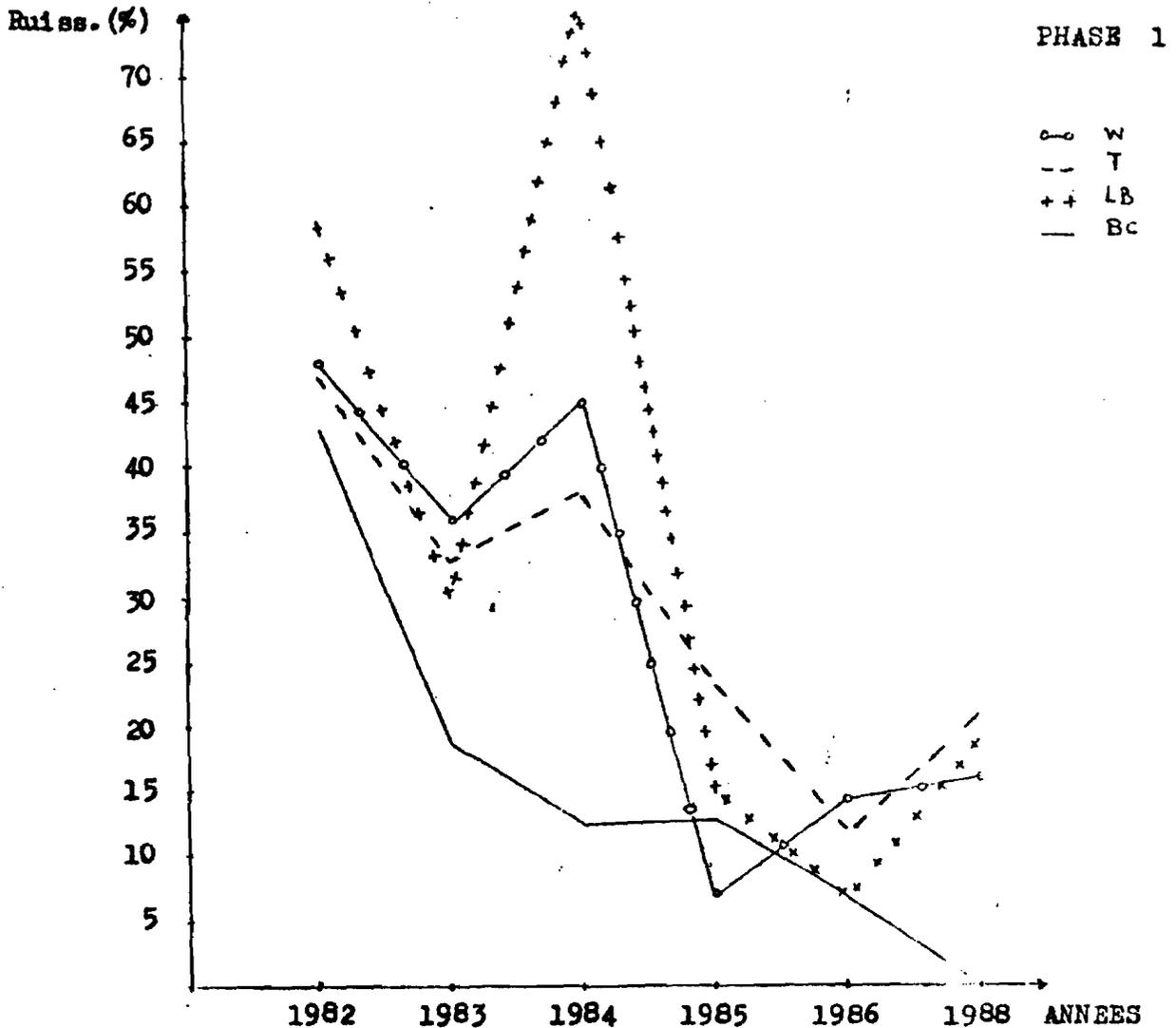


Fig. 8 : Courbes d'évolution des coefficients de ruissellement à la phase 1

Phase 2 : de la préparation du sol à environ 35 jours après semis. C'est une phase située avant l'installation de la culture. La couverture végétale n'est pas totale.

Phase 3 : de l'installation de la culture à la récolte. Les coefficients de ruissellement de cette phase caractérisent l'effet associé de la couverture végétale à celle du traitement de la parcelle considérée.

Les fig. 8, 9 et 10 représentent les courbes d'évolution des coefficients de ruissellement respectivement aux phases 1, 2 et 3 au cours des années de mesure. Il ressort de ces courbes que seul BC a une efficacité assez stable par rapport aux autres traitements en 6 ans sur les 3 phases. L'analyse d'une phase à une autre du ruissellement d'un traitement est délicate. La fréquence, l'intensité, la hauteur des pluies varient d'une phase à une autre. Cependant on peut remarquer que globalement le ruissellement diminue de la phase 1 à 3.

La fig. 11 présente l'importance de chaque phase par rapport aux valeurs annuelles des coefficients de ruissellement.

II.3.1.2. Effet des traitements sur l'érosion

Les précipitations et leur ruissellement constituent le facteur causal de l'érosion hydrique. L'analyse des résultats de l'étude de l'érosion à la parcelle se fera de la même façon que celui du ruissellement.

a) Résultats de la campagne 1988

Les quantités de terre érodée se composent de la terre de fond (F) et de la terre en suspension (S).

Les résultats, présentés au tableau 9, montrent que la terre en suspension a une part importante dans le total (T) de terre érodée.

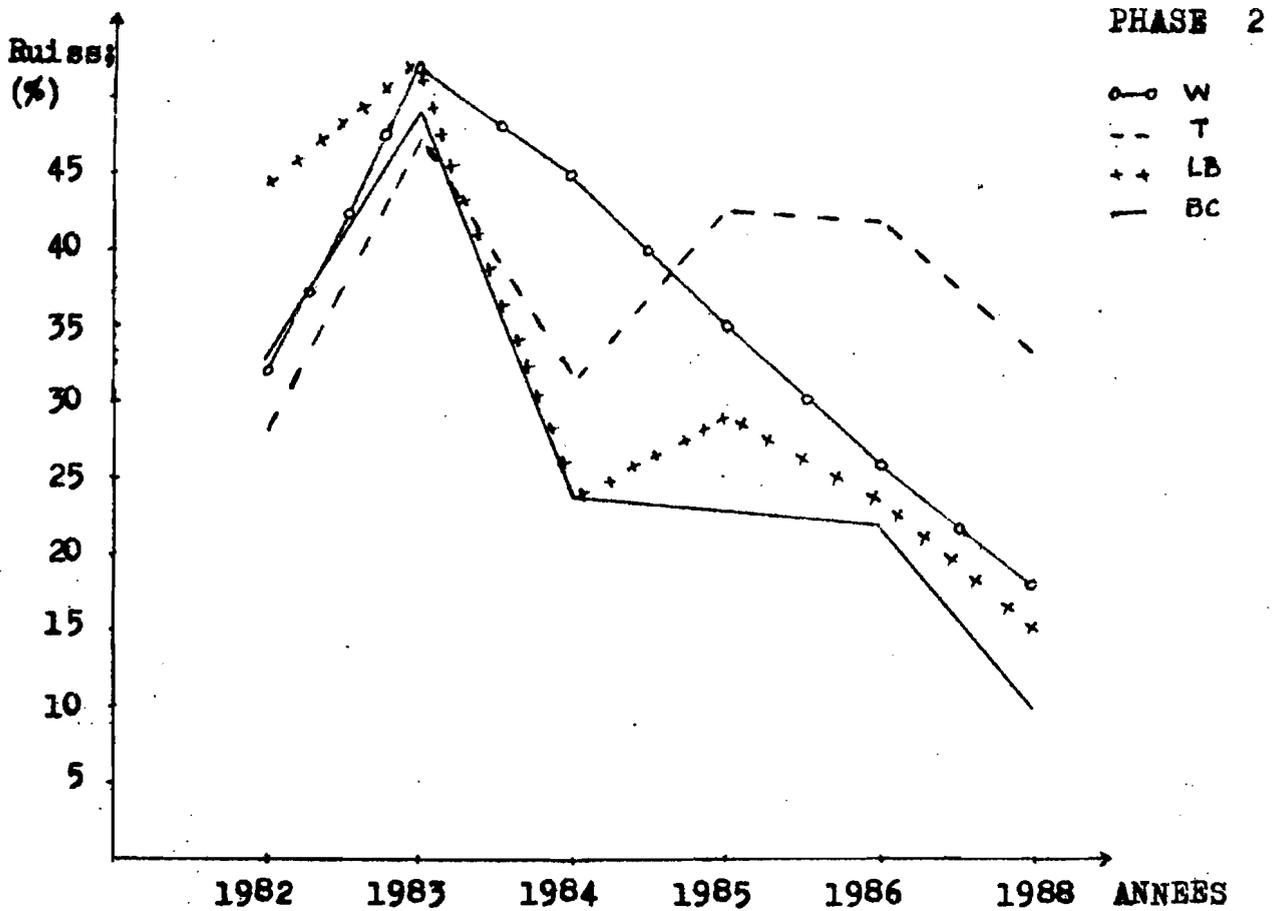


Fig.9 : Courbes d'évolution des coefficients de ruissellement à la phase 2

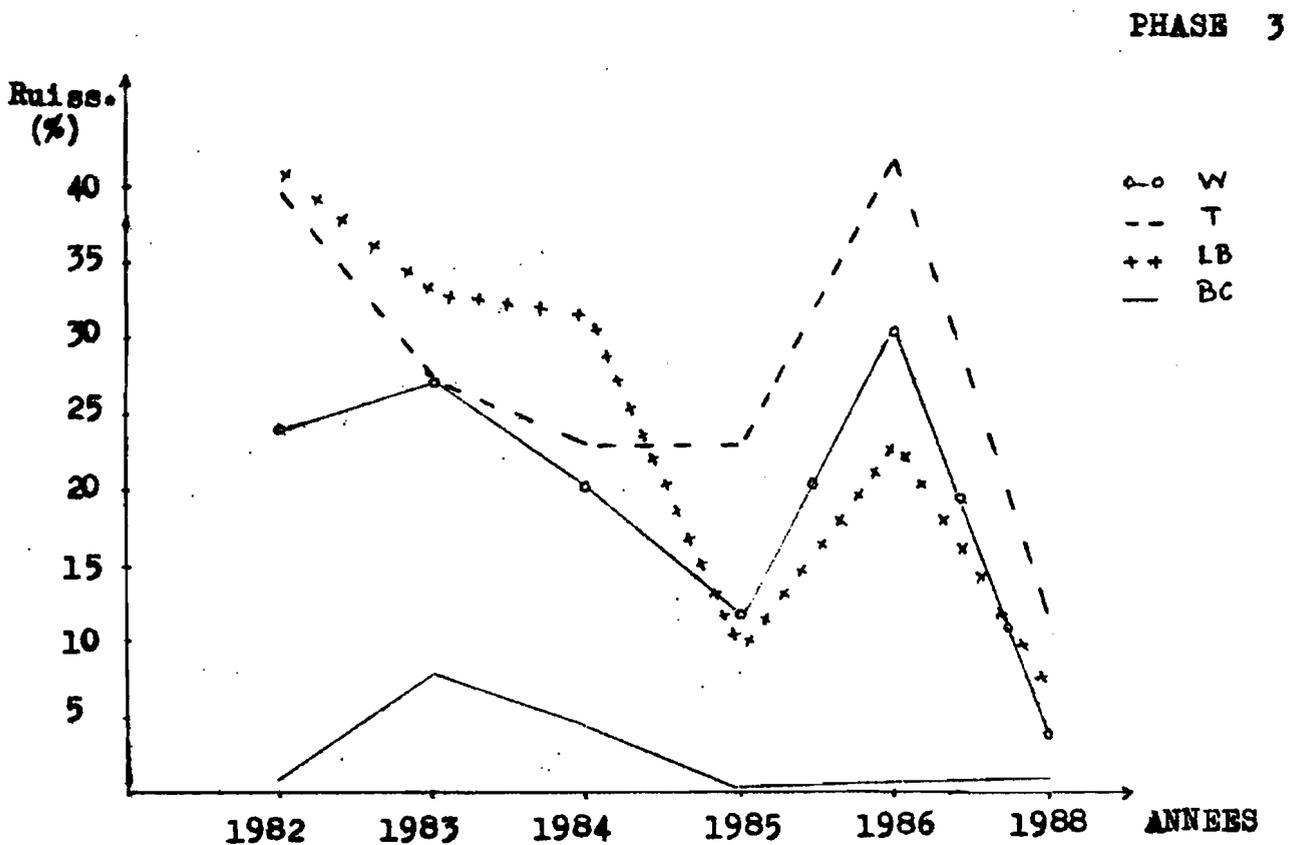


Fig.10 : Courbes d'évolution des coefficients de ruissellement à la phase 3

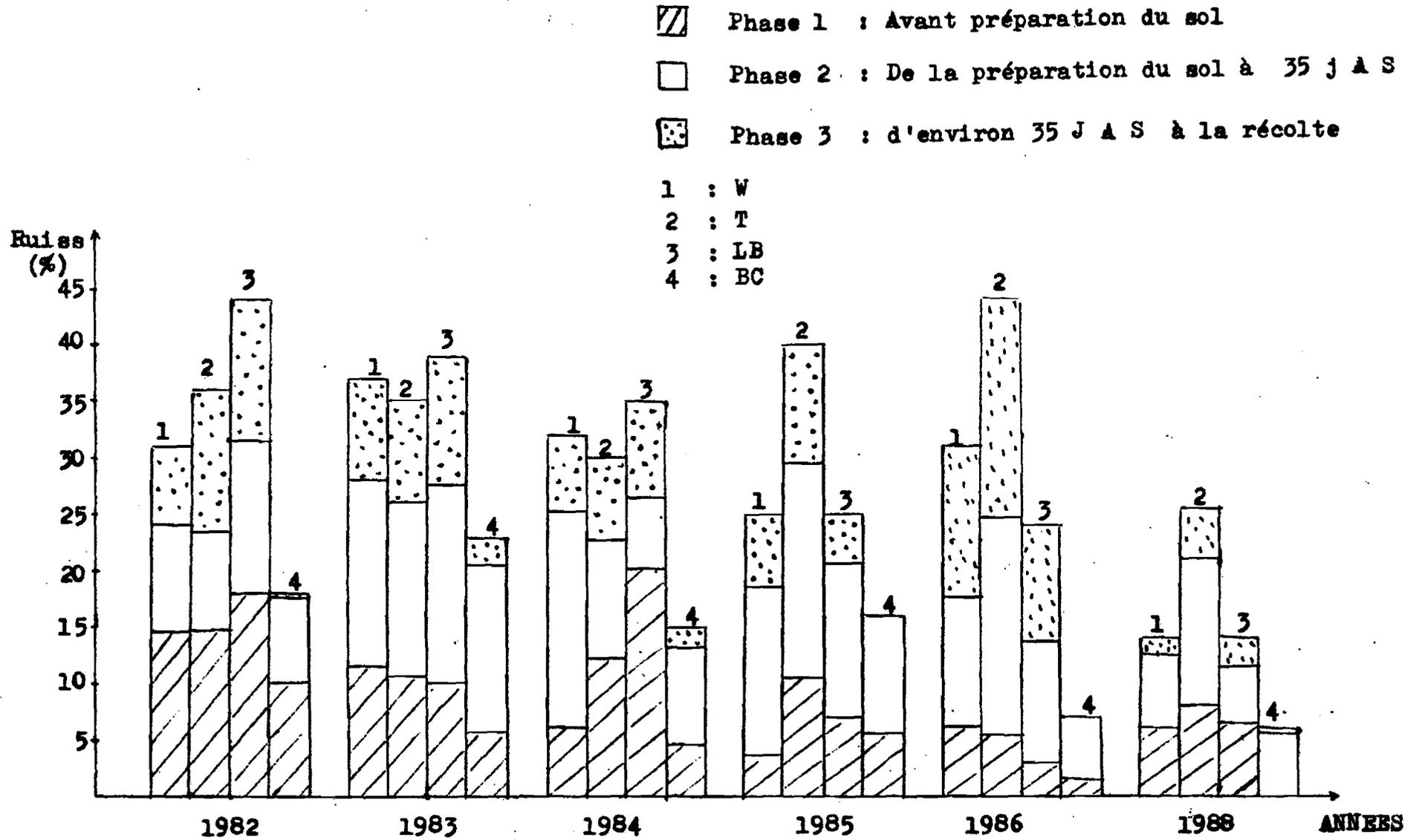


Fig. 11 : Histogrammes cumulés des coefficients de ruissellement

Le calcul de la turbidité moyenne se révèle être important dans l'explication des différences de quantité de terre érodée entre traitement. La turbidité est la teneur en particules fines, exprimée en pourcent, des eaux de ruissellement.

Tableau 9 : Quantité de terre érodée en T/ha

Période	Pluie (mm)		W	T	F	BC	LB				
du		F	0,29	F	1,07	F	0,61	F	0,96	F	0,80
3/6-18/7	399	S	15,55	S	8,79	S	0,46	S	1,12	S	10,20
		T	15,84	T	9,86	T	1,07	T	2,08	T	11,00
du		F	0,04	F	0,11	F	0,04	F	0,06	F	0,14
19/7-18/8	200,6	S	0,72	S	1,64	S	1,03	S	0,77	S	2,53
		T	0,76	T	1,75	T	1,07	T	0,83	T	2,67
du		F	0,06	F	0,15	F	0,01	F	0,01	F	0,03
19/8-31/10	246,6	S	1,80	S	1,40	S	0,36	S	0,09	S	0,22
		T	1,86	T	1,55	T	0,37	T	0,10	T	0,25
		F	0,39	F	1,32	F	0,66	F	1,02	F	0,97
TOTAUX	864,2	S	18,07	S	11,82	S	2,57	S	1,98	S	12,95
		T	18,46	T	13,13	T	3,23	T	3,00	T	13,92
Turbidité											
moyenne (%)			0,9		0,5		0,6		0,4		1,3

Du 3/6 au 18/7, le sol est complètement nu. La pente étant faible (0,7 %), l'érosion dépend plus de la rugosité de la surface de chaque parcelle d'étude. Les quantités de terre érodée au cours de cette période sont plus importantes par rapport aux autres périodes. La parcelle Wischmeier a subi le plus le phénomène d'érosion parce qu'il est constamment remué.

Du 19/7 au 18/8, la culture n'est pas encore installée. Le couvert végétal ne constitue pas un écran suffisant pouvant amortir l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Par rapport à la quantité d'eau reçue, l'érosion est faible au regard de ceux de la période précédente. Il est vraiment dommage que l'on ne dispose pas des intensités des pluies pour une meilleure argumentation.

Du 19/8 au 31/10, la culture s'est installée, le couvert végétal augmente l'efficacité des techniques d'économie de l'eau sur l'érosion. Sur l'ensemble de la campagne la parcelle BC a connu le moins d'érosion. La parcelle témoin a ruisselé plus que la Wischmeier et le labour à plat. Cependant la quantité de terre érodée y est moindre par rapport à W et LB. Cela s'explique par le fait que la turbidité des eaux ruisselées sur le témoin est faible par rapport à celles de LB et W. Le grattage superficiel n'a ameubli pas suffisamment le sol, si bien que les eaux de ruissellement sont moins chargées en particules fines.

b) Synthèse des résultats de 1982 à 1988

En 1982 la terre en suspension dans les eaux de ruissellement n'a pas été correctement mesurée. De ce fait les résultats de ladite année n'ont pas été pris en compte dans la synthèse ci-dessous.

Au bout de 5 années d'étude de l'érosion à la parcelle sous culture de sorgho, le travail de synthèse permet de faire le point sur les résultats obtenus. Les résultats expérimentaux sont exploités sous forme de courbes de variations interannuelles des quantités totales de terre érodée (fig. 12).

Ces courbes semblent montrer qu'en 1984 et 1985 l'érosion a été relativement faible. Cela pourrait résulter de la faiblesse des précipitations reçues (700 mm en 1984 et 595 mm en 1985). En 1986 on observe un pic d'érosion sur tous les traitements. On pourrait l'expliquer par la bonne pluviométrie de

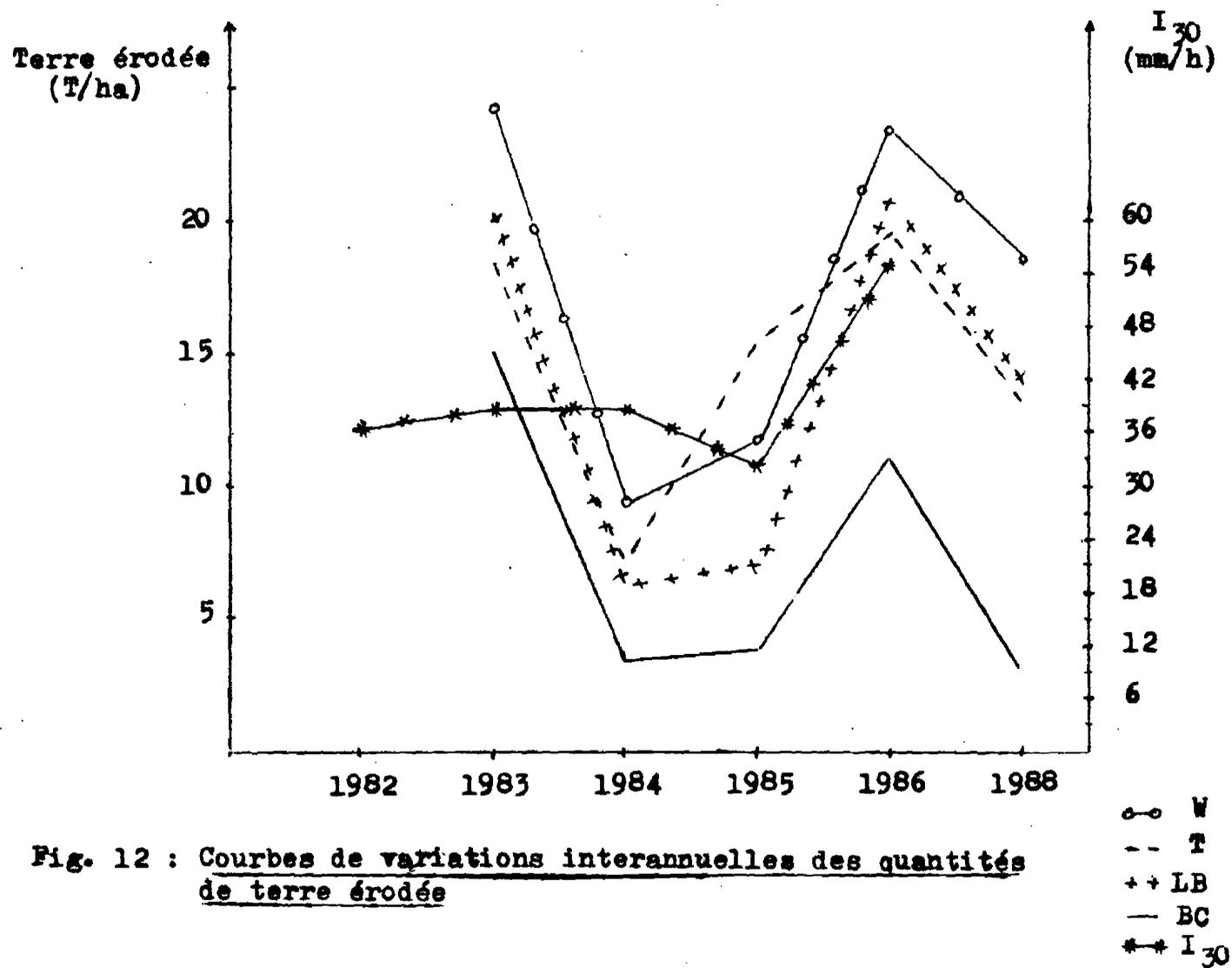


Fig. 12 : Courbes de variations interannuelles des quantités de terre érodée

l'année (933 mm) associée à une intensité moyenne (54,4 mm/h) élevée des pluies. La pluviométrie de 1988 est de l'ordre de celle de 1986 cependant l'érosion mesurée en 1988 est relativement faible malgré des pluies assez fréquentes. Ce qui laisserait supposer que ces pluies ont été de plus faibles intensités.

Un rapprochement des courbes d'érosion avec celles du ruissellement, semble montrer que les variations interannuelles des quantités de terre érodée ne sont pas superposables aux variations interannuelles des coefficients moyens de ruissellement. Par contre ces courbes d'érosion peuvent se superposer aux courbes de variation interannuelles des hauteurs d'eau ruisselées (fig. 13). Parmi les traitements expérimentés, BC est celui qui a toujours eu l'effet tampon le plus élevé sur l'érosion.

La parcelle nue, au cours des années d'étude a été la plus érodée. L'analyse détaillée de l'érosion sur les trois phases, donne les fig. 14, 15, 16, 17. Le découpage du cycle de culture en 3 phases permet de faire une approche de l'effet des traitements sur l'érosion, mais aussi de l'effet conjugué des traitements avec le couvert végétal. A toutes les phases BC est le plus efficace dans la conservation des sols. Les autres traitements ; W, T et LB pendant les phases 1 et 2 n'ont pas de comportement constant les uns par rapport aux autres.

A la phase 3, la parcelle W a toujours été la plus érodée.

La couverture du sol a permis une baisse de l'érosion par rapport au sol nu. La parcelle T a été moins érodée au cours de la phase 3 par rapport à LB. La différence de turbidité explique cet état de fait. La fig 17 montre que les quantités de terre érodée sur l'ensemble des traitements en 1984 et 1985 ont été faibles par rapport aux autres années. Cela est imputable à la sécheresse de ces années.

La durée (5 ans) et les résultats d'expérimentation sur l'érosion à la parcelle sous culture de sorgho permettent de calculer les indices des facteurs d'érosion. Ces indices peuvent être utilisés à des fins prévisionnelles de l'érosion par usage de l'équation universelle de Wischmeier et SMITH (1960-1978). Cette équation (in CTFT 1979, Roose 1981) s'écrit :

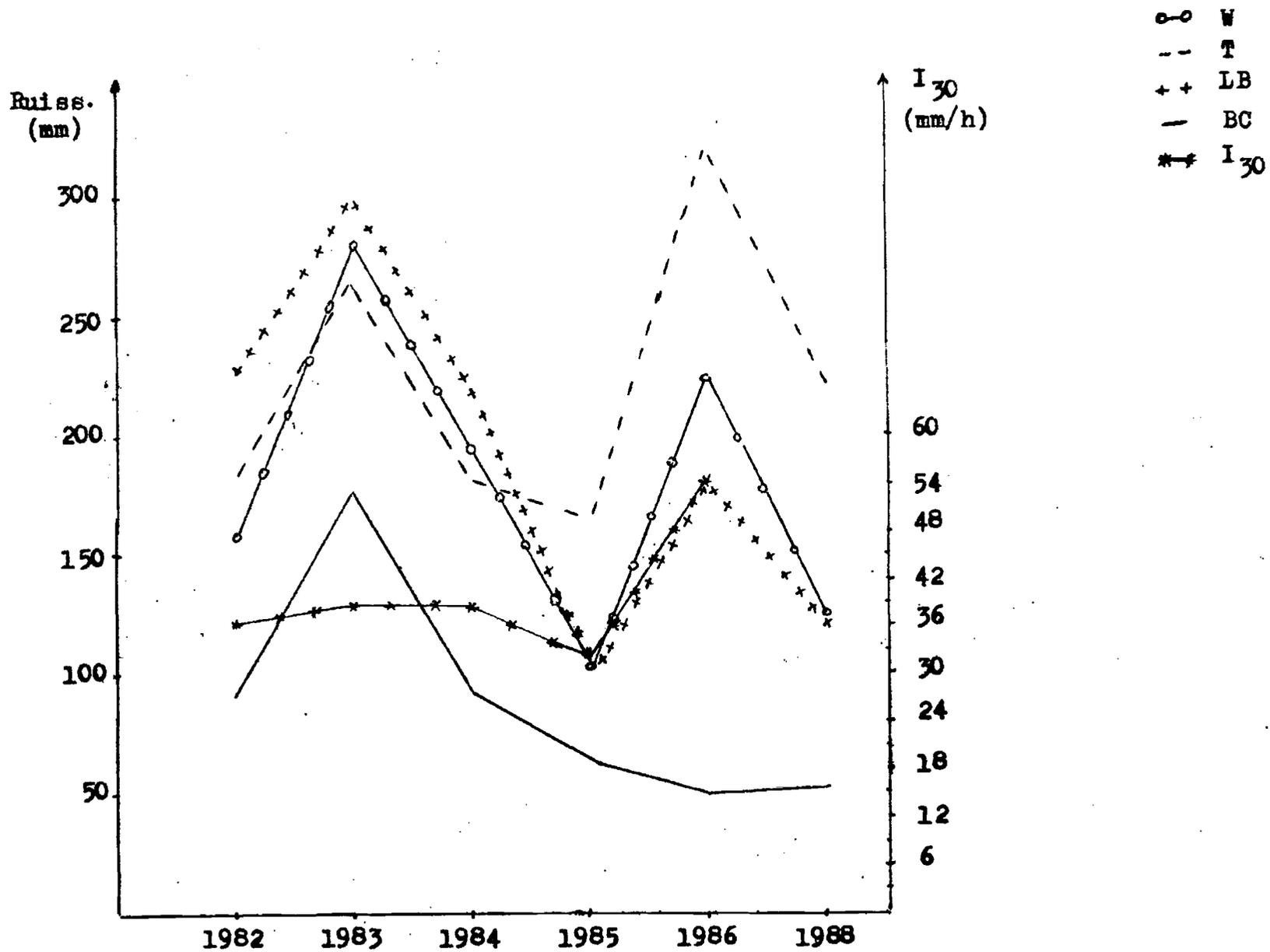


Fig. 13 : Variations interannuelles, du ruissellement par traitement et des I₃₀ moyens

Fig. 14, 15, 16 : Variations interannuelles de la quantité de terre érodée par phase

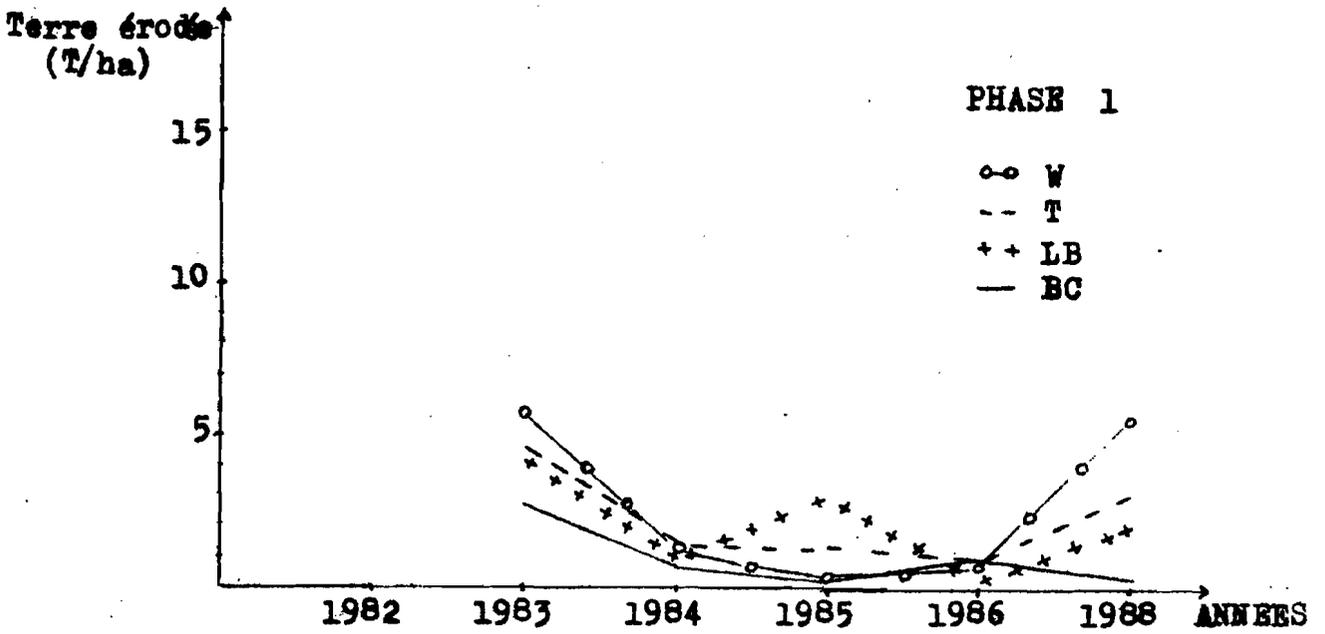


Fig. 14

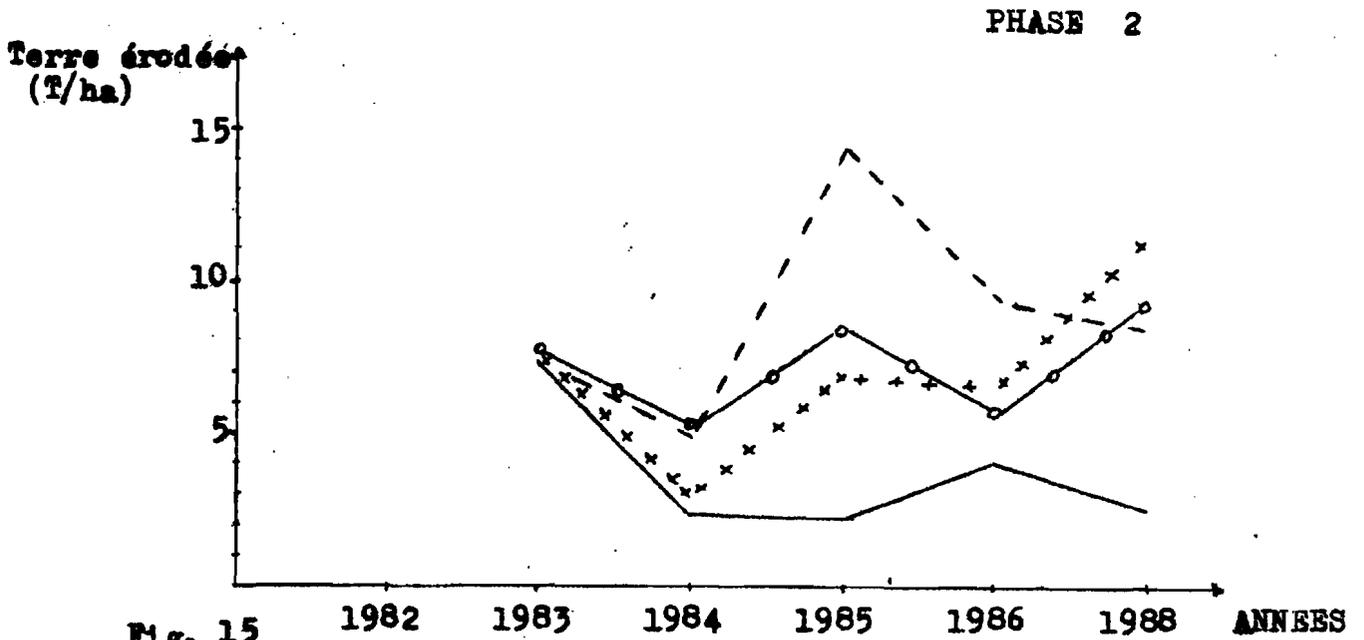


Fig. 15

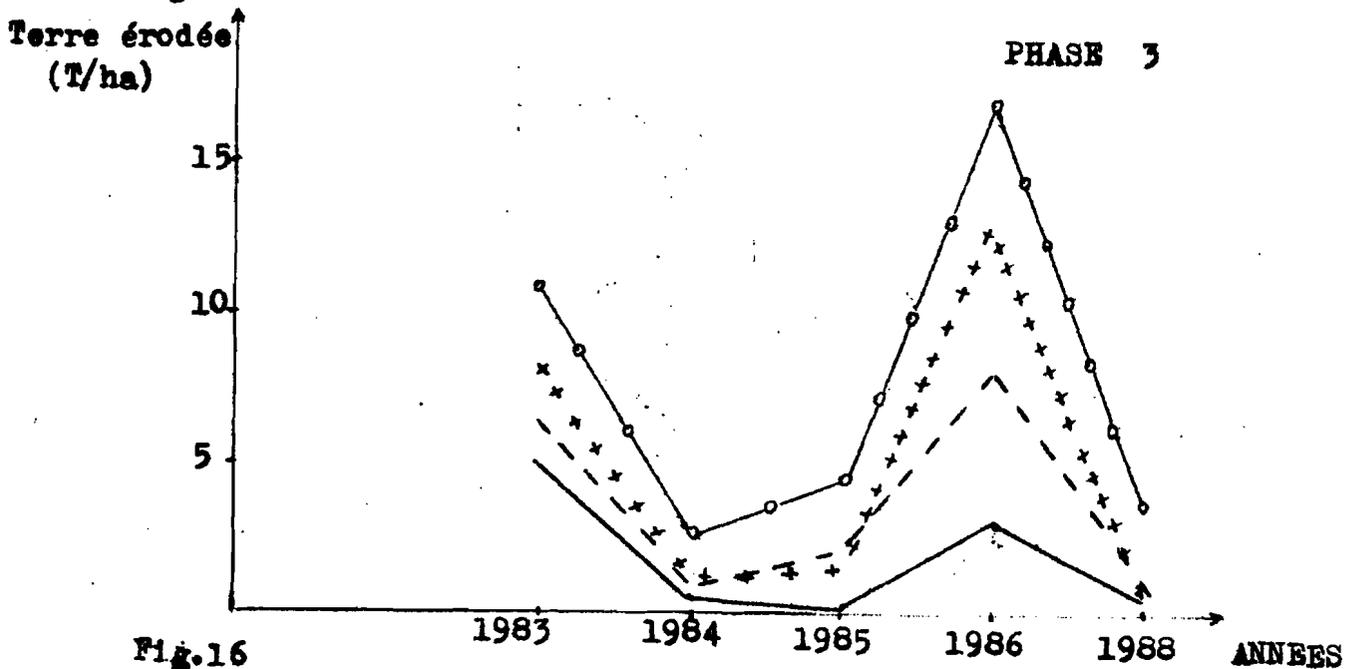


Fig. 16

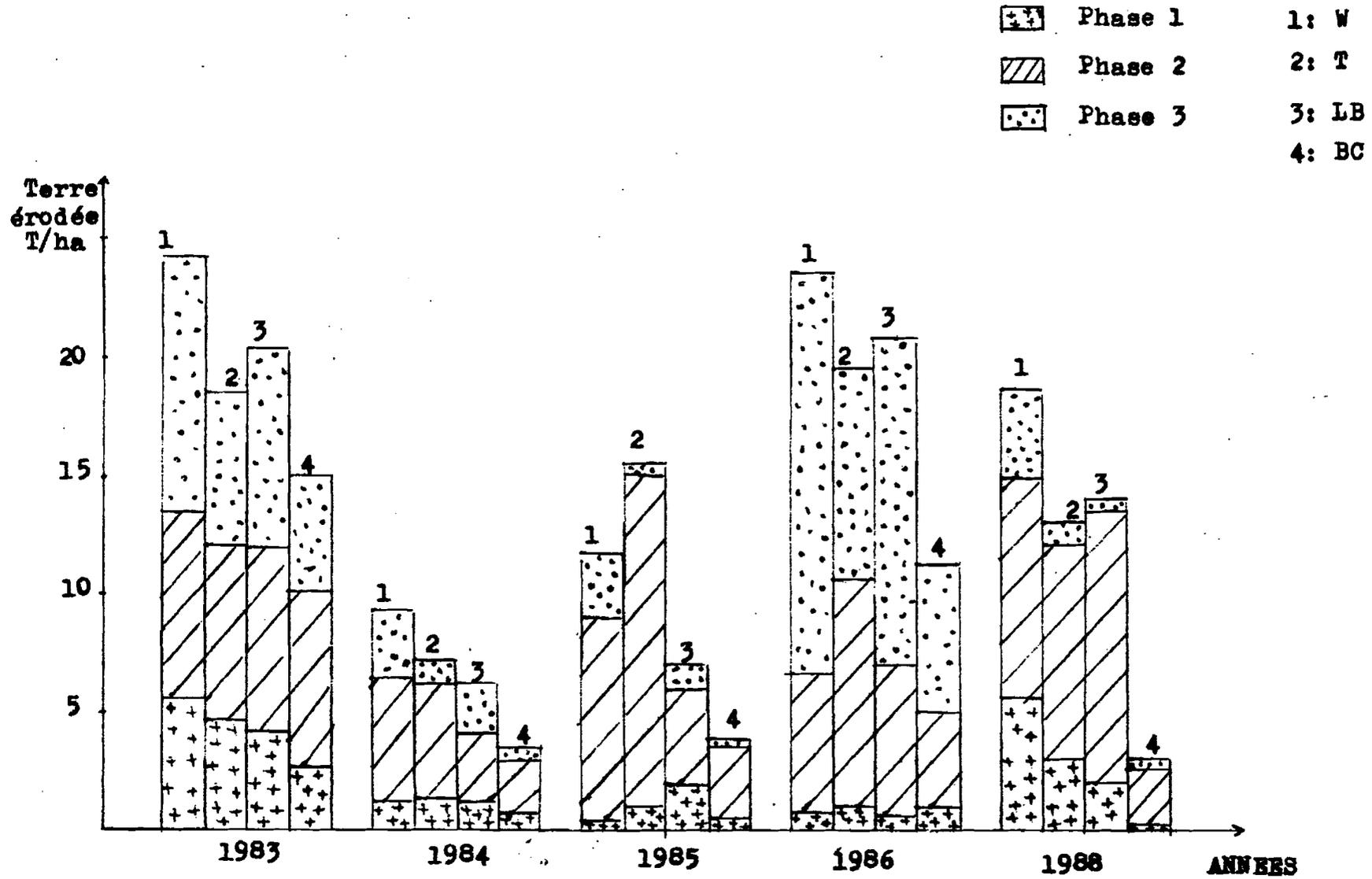


Fig. 17 : Histogrammes cumulés des quantités de terre érodée

$$A = R.K.LS.C.P$$

A = perte en terre

R = indice pluie ou indice d'agressivité climatique

K = indice sol ou érodibilité du sol en fonction de ses qualités intrinsèques

LS = indice pente ou topographique

C = coefficient exprimant l'influence du couvert végétal et des techniques culturales sur l'érosion

P = indice des traitements utilisés pour lutter contre l'érosion.

Dans le système métrique cette équation devient

$$A \text{ (t/ha)} = 2,24 R.K.LS.C P$$

Le calcul des indices suivants définit l'influence de chacun des facteurs en cause dans l'érosion étudiée sur sols ferrugineux tropicaux au centre du Burkina.

A partir des quantités annuelles de terre érodée, $A = 17,466 \text{ t/ha/an} \approx 17,5 \text{ t/ha/an}$.

D'après CTFT (op.cité), en Afrique on prend $L = 21,12 \text{ m}$

A Saria, la parcelle d'étude a une pente de 0,7 % d'où $S = 0,7$

$R = E.I_{30}$ (règle de calcul dans CTFT op. cite). La procédure de calcul de cet indice est longue. Roose (1981) a trouvé pour l'Afrique de l'Ouest une relation entre l'indice d'agressivité annuel moyen (R_{am}), sur 5 à 10 ans, et la hauteur de pluie annuelle moyenne (H_{am}) durant la même période : $R_{am}/H_{am} = 0,5 \pm 0,05$. Cette dernière relation est applicable dans la présente étude et donne :

$$H_{am} = 787,2 \text{ mm} \quad \text{et} \quad R_{am} = 393,6 \pm 39,36.$$

$$L_s = \frac{\sqrt{L}}{100} (0,76 + 0,53S + 0,076S^2) = 0,0549$$

.../...

Ces résultats permettent de calculer,

$$- \text{ la susceptibilité du sol } K = \frac{A}{R.LS.2,24} = 0,36$$

- les indices C de la couverture du sol, par le sorgho, associée aux techniques culturales :

. sorgho et grattage superficiel à la daba

$$C = \frac{\text{Terre érodée Témoin}}{\text{Terre érodée W}} = 0,8$$

. sorgho et labour à plat C = 0,7

. sorgho sur billons cloisonnés C = 0,4

- les indices P des techniques d'économie de l'eau (coefficient de réduction de l'érosion)

$$. \text{ labour à plat (LB) } P = \frac{\text{Terre érodée LB}}{\text{Terre érodée T}} = 0,9$$

. billons cloisonnés (BC) P = 0,49 0.5

A titre comparatif, Galabert, Millogo, 1968-1972 (Roose 1979 ont trouvé pour Saria :

Ham = 826 mm

Ram = 357

Roose a trouvé entre 1971-1974 (Roose 1975 pour la même localité

Ham = 694 mm

Ram = 392

K = 0,20

.../...

De cette comparaison, il ressort que l'agressivité climatique entre 1971-1974 est du même ordre que celle de 1983-1988 pour Saria. Par contre, la susceptibilité des sols à l'érosion a augmenté.

Le but de ces calculs, par utilisation de l'équation de Wischmeier est de permettre une définition de façon moins empirique (Roose 1981) des techniques culturales à mettre en oeuvre en un lieu donné dont on connaît la topographie, le climat, le sol et les cultures, sans risque de ruiner le patrimoine foncier.

Conclusion

Cette étude de l'effet des techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion sur plusieurs années a permis de se faire une idée plus au moins précise de l'efficacité des traitements sur le ruissellement et l'érosion. Les billons cloisonnés sous culture de sorgho semblent réduire de façon notable les pertes hydriques et de terre. Le labour, à un degré moindre que BC, est plus bénéfique par rapport au grattage superficiel. Dans ces conditions LB et BC pourrait avoir une incidence positive sur le bilan hydrique par rapport au grattage superficiel.

L'utilisation de l'équation de Wischmeier semble montrer une augmentation de l'érodibilité des sols de la zone centrale. Il faudra donc poursuivre et diversifier les études sur les techniques CES en adaptation avec le milieu.

II.3.2. Effet des techniques d'économie de l'eau sur le bilan hydrique

II.3.2.1. Résultats du suivi du bilan hydrique en situ

L'étalonnage de l'humidimètre neutronique a été réalisé in situ à partir de plusieurs séries de mesures neutroniques et gravimétriques (détermination des humidités à partir d'échantillons de sol recueillis à la tarière). Ne disposant pas de gammadensimètre, les densités apparentes ont été mesurées au densitomètre à membrane.

La variabilité spatiale de la densité apparente a alors accentué le problème de l'étalonnage en plus de celui des tranches supérieures de sol (Daudet et al 1977) connu en humidimétrie neutronique.

Les équations d'étalonnage obtenues (voir annexe) sont assez fiables avec des coefficients de corrélation $r > 0,83$.

a) Profils hydriques

Les parcelles T11 et T12 ne sont pas instrumentées si bien qu'on n'a pas réalisé de profils hydriques sur ces traitements.

L'évolution des profils hydriques (fig. 18 et 19) sur les traitements T1 et T3 montrent une différence de comportement hydrique entre ces deux traitements. En effet, les teneurs en eau sont plus élevées sur l'horizon 0-30 cm sur le labour que sur le témoin. Par exemple le long du tube 1 correspondant à un T1, à la date du 27/7 on avait un stock de 82 mm et à la même date on avait sur un T3 au niveau du tube 3 un stock de 109,5 mm. Cette différence est observable à d'autres dates de relevés neutroniques. Le labour à plat a un effet bénéfique sur l'infiltration et le stockage de l'eau par rapport au témoin. C'est également ce qu'avait observé Ouattara (1984) à partir des mesures hydriques à la tarière.

b) Charges hydrauliques et gradients de charge

Les mesures tensiométriques des charges hydrauliques ont été effectuées aux cotes 30, 45, 75, 110 et 150 cm. Sur le site de l'étude, les mesures sont menées sur une tranche de sol à trois classes pédologiques : sablo-limoneux sur les 10 premiers centimètres, argilo-sableux sur 10-140 cm, limon argilo-sableux sur 140-160 cm. Les fig. 26, 27, 28, 29 représentent les courbes d'évolution des charges hydrauliques au niveau des tubes 2, 9, 10 et 4.

- Autour du tube 2 (fixé sur un témoin), au départ des mesures le 8/8, la charge hydraulique la plus basse a été celle à la cote 45 cm (-602 mbars). Les autres côtes ayant des charges comprises entre -250 et -150 mbars dont la plus grande est celle de la cote 30 cm.

Fig. 18 : Evolution des profils hydriques sur le témoin

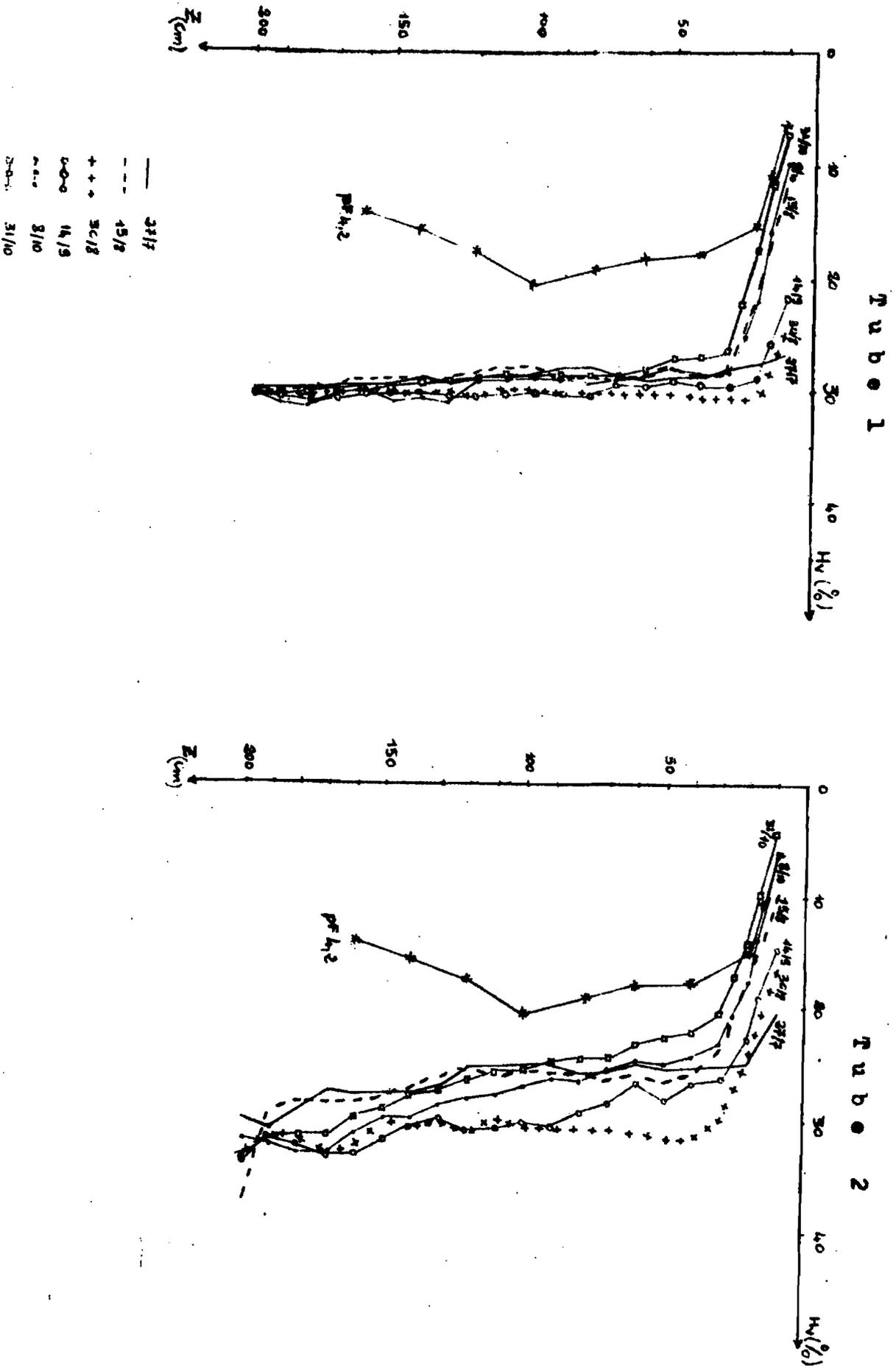


Fig. 19 : Evolution des profils hydriques sur le labour

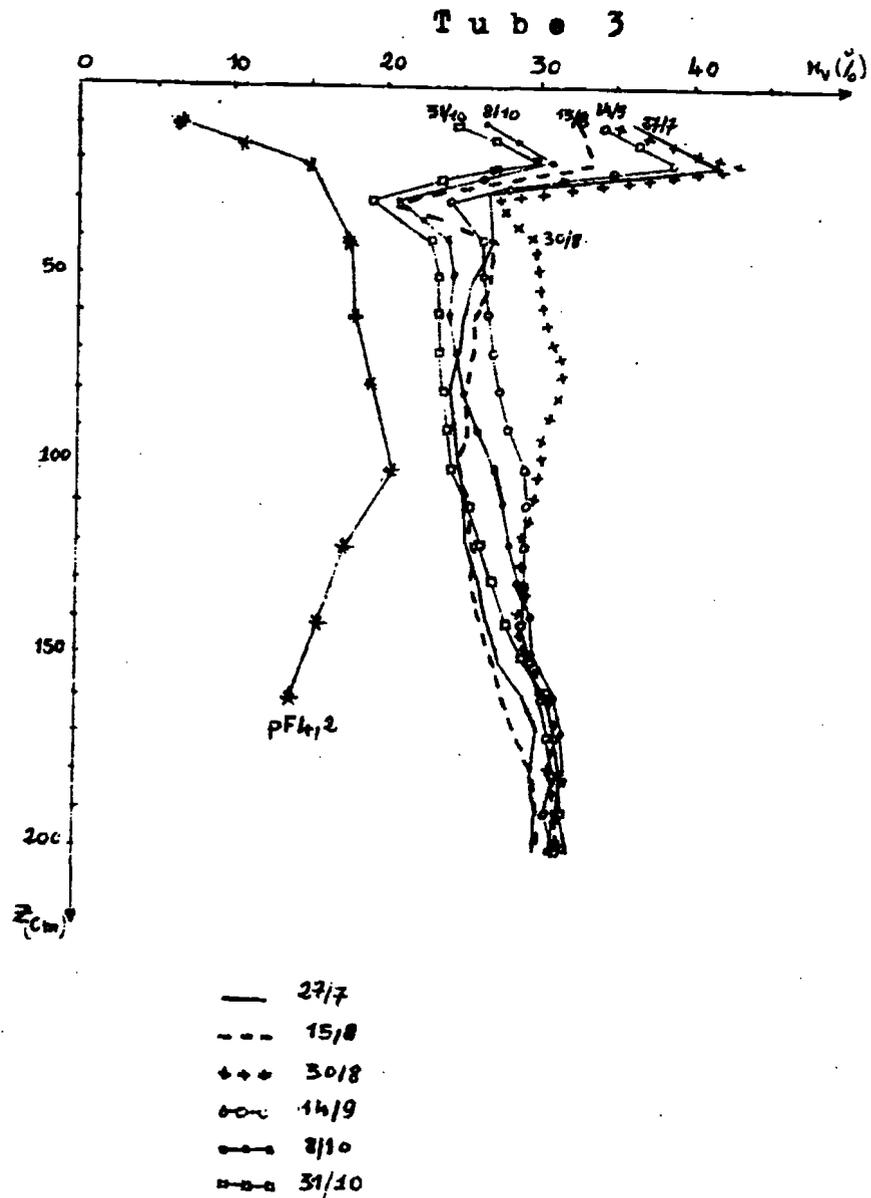
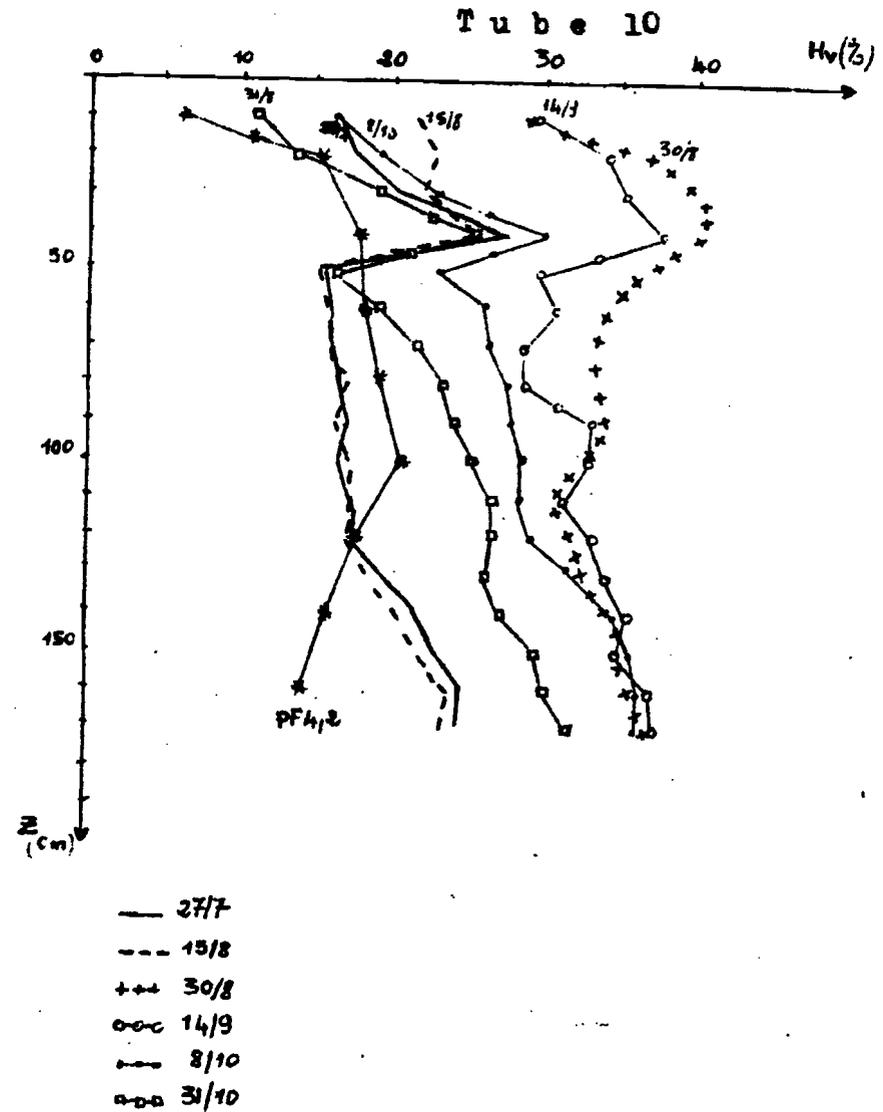


Fig. 19(bis) : Evolution des profils hydriques sur le labour



A partir du 10/8 au 19/8 les charges aux côtes 30 cm et 45 cm seront les plus basses (inférieurs à -300 mbars) les autres restants supérieures à -200 mbars. Du 19/8 au 27/8 sur tout le profil de mesure on a des charges hydrauliques comprises entre -170 et -100 mbars par ordre croissant de la surface à la dernière cote. L'augmentation de la charge s'explique par la fréquence des pluies au cours de cette période. Les charges hydrauliques les plus élevées (-50 à -40 mbars) de la campagne s'observent le 29/8 suite à la pluie de 63 mm. A partir de cette date les charges hydrauliques resteront comprises entre -140 et -30 mbars jusqu'au 27/9. Par la suite on observe une diminution progressive des charges sur le profil au cours du reste du temps de mesure. Au cours de cette dernière phase les charges sont croissantes de la surface vers la profondeur.

Cette fluctuation de la charge hydraulique sur le profil d'étude est résultant de la pluviométrie, du mouvement d'eau dans le sol, de l'extraction racinaire et d'autres facteurs liés au sol.

Les gradients de charges hydrauliques permettent de définir le sens des écoulements de l'eau du sol, de calculer le drainage ou les remontées capillaires. Les fig 24 et 25 représentent l'évolution des gradients de charge entre les cotes 30 et 45 cm et entre 110 et 150 cm.

Du 8/8 au 19/8 le mouvement d'eau est erratique entre les cotes 30-45-75-110 cm. On a un drainage entre la côte 110 et 150 cm. L'irrégularité dans les mouvements de transfert d'eau entre 45-75 et 110 cm semble être en partie due à la forte extraction racinaire correspondant à la phase de développement végétatif intense. A partir du 18/8 au 30/8 on a un drainage sur tout le profil de mesure ($0 < \left| \frac{dH}{dz} \right| < 1,05$). Cette période est marquée

par des pluies successives et parfois abondantes si bien qu'on a observé le 29/8 des gradients de flux nuls entre toutes les cotes, correspondant à une saturation du sol. Sans toutefois dépasser deux jours, la surface a été soumise de temps à autre à un régime d'évaporation. Du 31/8 au 26/9 s'installe à nouveau le mouvement erratique de l'eau du sol entre les côtes 30-45-75 et 110 cm. Cette période englobe la phase épiaison-floraison de la culture dont les besoins en eau sont élevés en ce moment. A partir de cette période jusqu'à la fin de l'étude la tranche de sol supérieure à 110 cm est restée soumise à un régime d'évaporation.

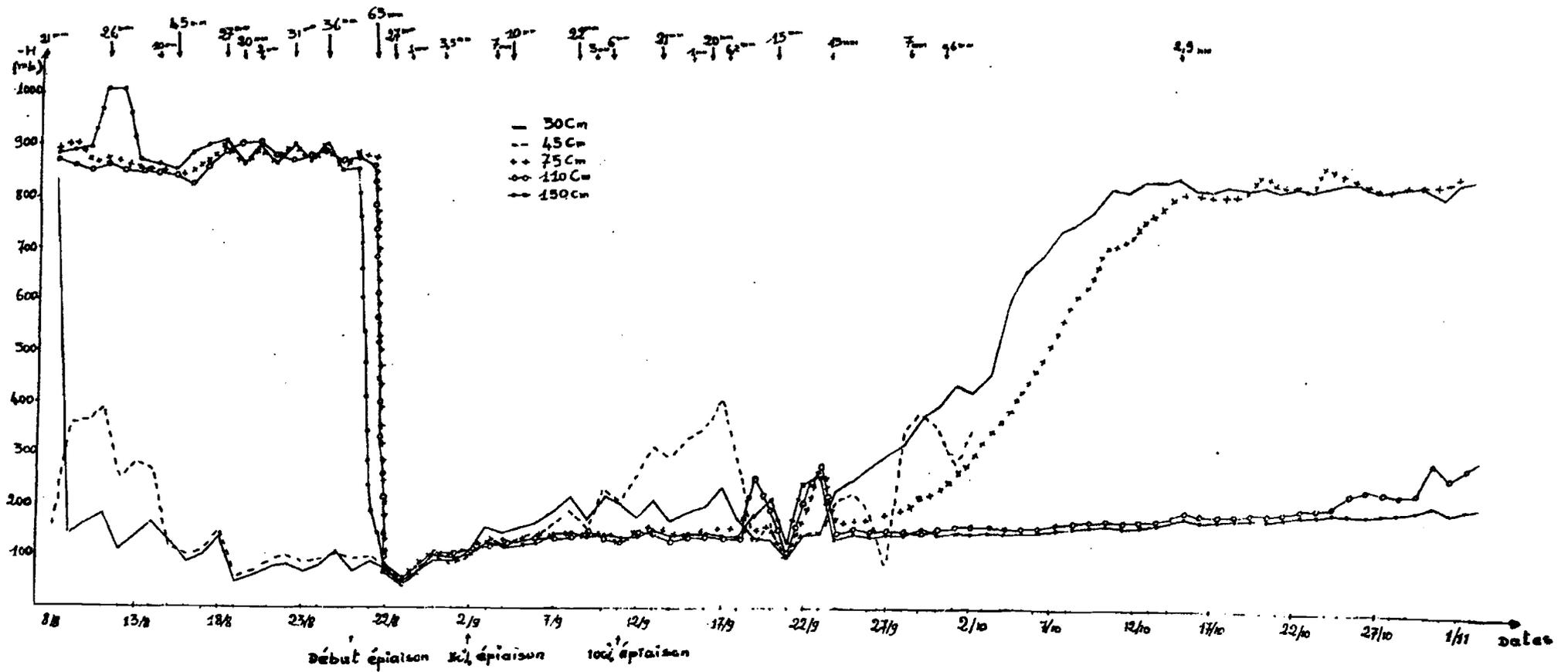


Fig. 20: Evolution des profils de charges hydrauliques sur le témoin - tube 2

- Autour du tube 9 (fixé sur un T1), du 8/8 au 28/8, la batterie de tensiomètres indique des charges hydrauliques élevées en surface (côte 30 et 45 cm) et des charges hydrauliques faibles en profondeur. Les pluies fréquentes de cette période ne semblent pas avoir atteint les profondeurs du sol. Dans ces conditions soit l'infiltration est mauvaise soit l'eau est interceptée par un système racinaire en pleine activité.

Au cours de cette période on observe constamment une remontée capillaire à la côte 150 cm tandis qu'il y a infiltration à la côte 30 cm. Il y a donc écoulement d'eau convergeant vers les côtes 50-75-110 cm correspondant à la zone d'extraction racinaire. Le 29/8 la charge hydraulique monte verticalement sur l'ensemble du profil d'étude suite à la pluie de 63 mm du 28/8. Elle restera relativement élevée jusqu'au 28/9 avec une baisse en surface malgré la fréquence des pluies. On pourrait penser à une forte extraction racinaire à cette période. On observe un drainage au delà de la côte 150 cm, flux du reste assez faible avec $\left| \frac{dH}{dz} \right| < 0,7$. La cote 30 cm restera la plupart du temps en

régime d'infiltration. Les autres cotes présentent une irrégularité dans la distribution de l'eau.

Du 29/9 jusqu'à la fin du suivi on observe une diminution progressive des charges hydrauliques sur l'ensemble du profil avec toutefois des charges relativement élevées en profondeur (côte 110-150 cm) ou $H > -200$ mbars. Tandis qu'en surface (côte 30 et 45 cm) les charges tendent vers -750 mbars. A la côte 75 cm elle reste supérieure à -450 mbars. Les côtes 45 et 75 cm ont été soumises à l'évaporation tout au long de cette période. La côte 110 cm alimentait la cote 150 cm jusqu'au 17/10 date à laquelle ces cotes ont rejoint le régime d'évaporation. En l'absence de pluie on ne peut pas expliquer la charge hydraulique plus élevée à 30 cm qu'à 45 cm.

- Au niveau du tube 10 (fixé sur T3) la succion est élevée dans l'ensemble sur tout le profil d'étude entre le 8/8 et le 28/8. Il y a cependant une pointe descendante le 23/8 suite à la pluie de 31 mm. La remontée de la succion aux cotes 30-45-75-110 après le 23/8 malgré une pluie de 36 mm le 24/8 correspond à la phase début épiaison pendant laquelle les exigences en eau de la culture sont élevées.

Du 28/8 au 29/9 la succion est relativement basse sur tout le profil avec des fluctuations plus ou moins importantes à la cote 30 cm. A partir du 29/9 on observe une baisse des charges hydrauliques aux côtes 30 et 45 cm. Aux autres côtes les charges hydrauliques restent relativement élevées (-300 mbars $< H < -100$ mbars).

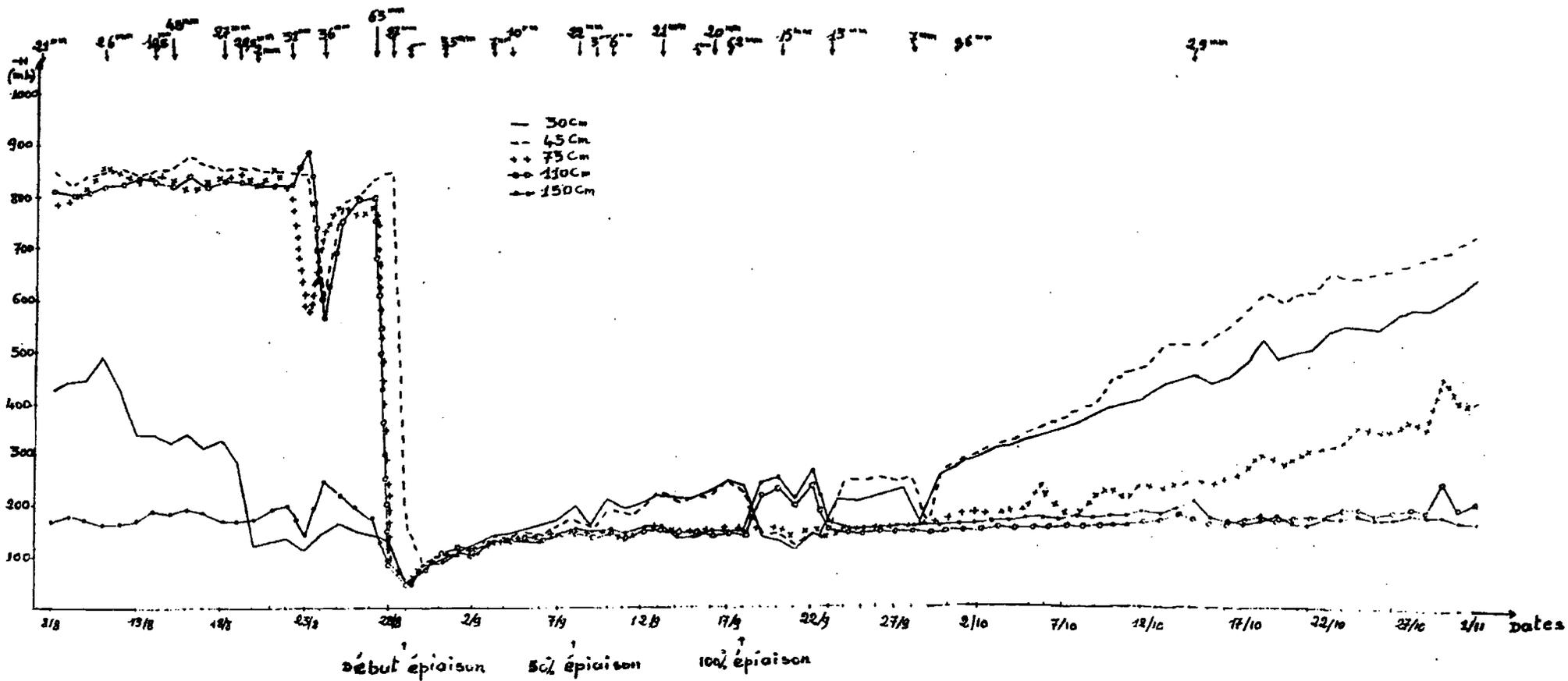


Fig. 21 : Evolution des profils de charges hydrauliques sur le témoin - tube 9

La dynamique de l'eau du sol se caractérise par une évaporation en surface, du 8/8 au 23/8, et par une distribution erratique entre les côtes 45-150 cm. Du 23/8 au 1/9 on a un régime d'infiltration à la cote 30 cm. La cote 110 cm prend ce régime avec un différé de 4 jours de remontée capillaire. L'irrégularité du sens d'écoulement de l'eau aux côtes intermédiaires est en partie, imputable à l'activité racinaire.

Du 2/9 au 24/9 on observe globalement une évaporation en surface ($Z < 45$ cm) tandis qu'au delà de 75 cm on a un régime descendant. Du 25/9 à la fin du suivi des tensiomètres l'évaporation s'accroît ($0,5 < \left| \frac{dH}{dz} \right| < 34$) aux côtes supérieures à 75 cm et le "drainage" devient négligeable en profondeur ($\left| \frac{dH}{dz} \right| < 0,3$).

- Autour du tube 4 (fixé sur un T3), du 8/8 au 28/8 la charge hydraulique est faible aux cotes 75-110-150 cm ($H < -850$ mbars) et élevée plus en surface ($-400 < H < -100$ mbars). Malgré les pluies le niveau d'humectation est encore faible en profondeur. L'activité racinaire semble intercepter les apports d'eau en surface. Le 29/8 les charges hydrauliques aux différentes côtes tombent au plus bas (-50 mbars). A partir de cette date jusqu'au 22/9 les charges hydrauliques restent relativement faibles sur l'ensemble du profil de mesure. Du 22/9 au 1/11 on observe une baisse continue et rapide des charges hydrauliques en surface ($Z < 75$ cm) pour atteindre $H < -800$ mbars en fin de période. Les côtes 110 et 150 cm conservent des charges relativement basses ($-350 < H < -150$ mbars).

Concernant la distribution de l'eau dans le sol, du 8/8 au 27/8 l'écoulement de l'eau du sol est descendant à la cote 45 cm, irrégulière aux cotes 75 et 110 cm et descendant à 150 cm. Du 28/8 au 1/9/88 les charges hydrauliques sont élevées ($-108 < H < -48$) sur tout le profil de mesure. Du 2/9 au 23/9 le mouvement d'eau est erratique avec cependant une prédominance d'un écoulement vers le bas. A partir de cette dernière date jusqu'au 1/11 le profil de mesure est soumis à l'évaporation.

Comparaison entre points de mesure

A l'exception du site du tube 2, les courbes des variations des charges hydrauliques, en fonction du temps présentent un aspect général semblable sur les sites des mesures. On distingue 3 phases principales :

- Du 8/8 au 28/8 les charges hydrauliques sont faibles au delà de 45 cm de profondeur.

.../...

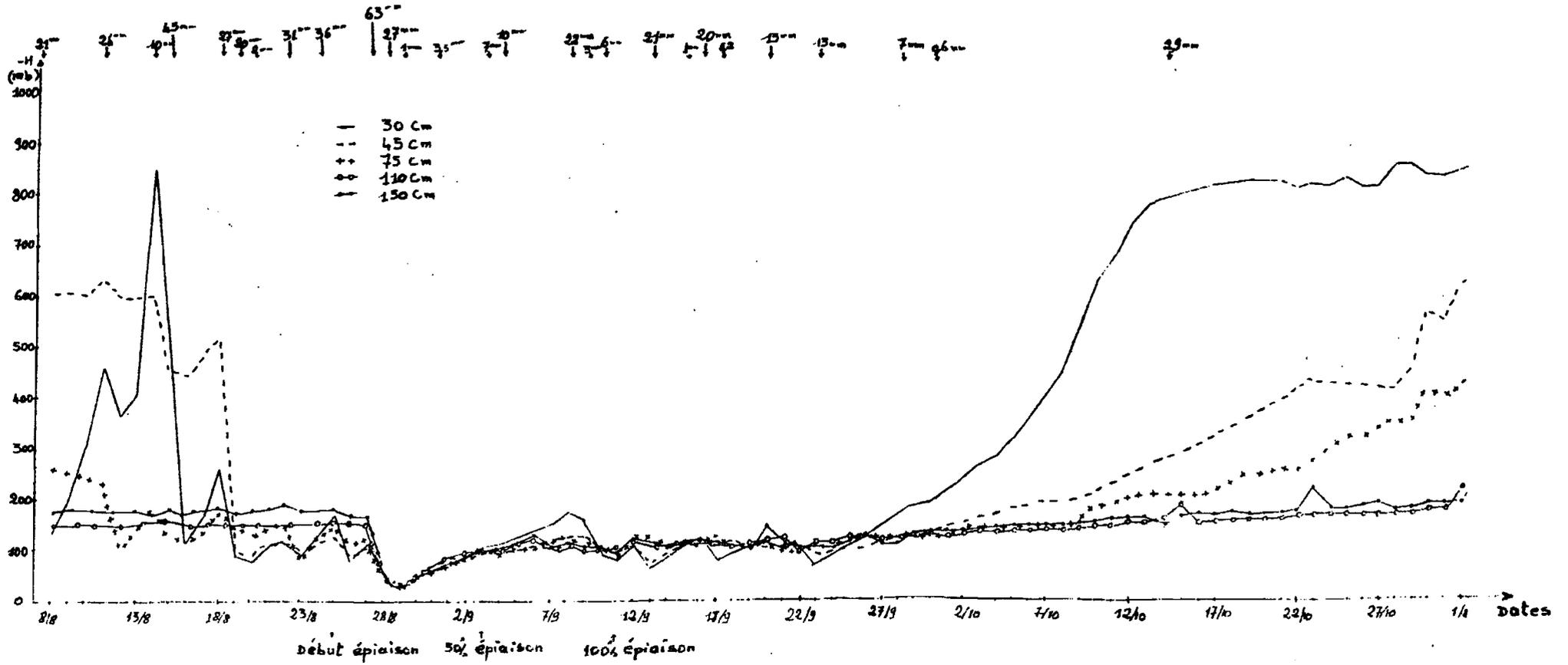


Fig. 22 : Evolution des profils de charges hydrauliques sur le labour - tube 4

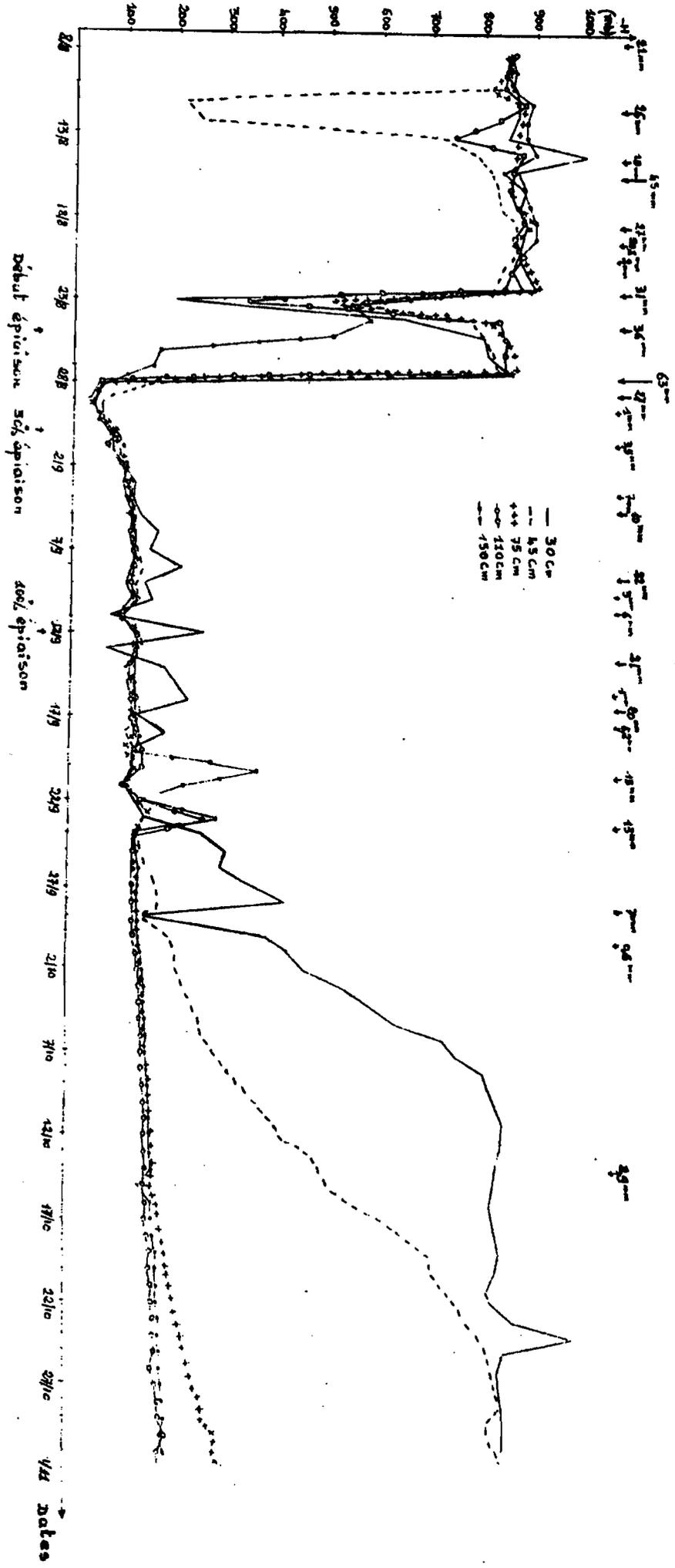


Fig. 23 : Evolution des profils de charges hydrauliques sur le labour - tube 10

- Du 28/8 à fin Septembre les charges hydrauliques sont relativement élevées sur l'ensemble des profils de mesure.
- De fin Septembre au 1/11 on a une baisse progressive des charges hydrauliques à toutes les côtes.

Pour le tube 2, seule la première phase du découpage ci-dessus cité fait sa particularité. En effet au cours de cette phase les charges hydrauliques sont déjà élevées en profondeur. A l'issue des observations et analyses de la dynamique de l'eau sur les parcelles instrumentées on peut tirer les enseignements suivants :

- Malgré une bonne pluviométrie au cours de la première phase les charges hydrauliques restent faibles en profondeur (et même en surface autour du tube 10). Même si les sols de la zone sont reconnus de faible perméabilité, le problème de perméabilité ne peut expliquer à elle seule cette faiblesse des charges hydrauliques. La succion élevée au cours de la période du 8/8 au 28/8 est en partie imputable à la phase de développement intense de la culture.

- Les pluies abondantes, survenues au cours de la phase épiaison floraison du sorgho, ont entraîné une augmentation considérable des charges hydrauliques. Cela n'a pas permis d'observer l'influence des besoins en eau élevés de la culture sur la charge hydraulique. On rejoint ainsi l'idée de Rambol et al 1983 selon laquelle la résistance rhizosphérique aux transferts d'eau est négligeable aux teneurs en eau élevées.

- Il semble exister une hétérogénéité de caractéristiques hydrodynamiques entre points de mesure. C'est ce qui peut expliquer l'aspect différent des courbes de variation des charges hydrauliques autour du tube 2.

- Les courbes des charges hydrauliques font ressortir une tendance au dessèchement plus rapide sur le labour que sur le témoin.

- Les charges hydrauliques et gradients de charge montrent que pendant la période du 28/8 les sorghos ont eu les "pieds dans l'eau".

— tube 2
 - - tube 4
 ++ tube 9
 -•- tube 10

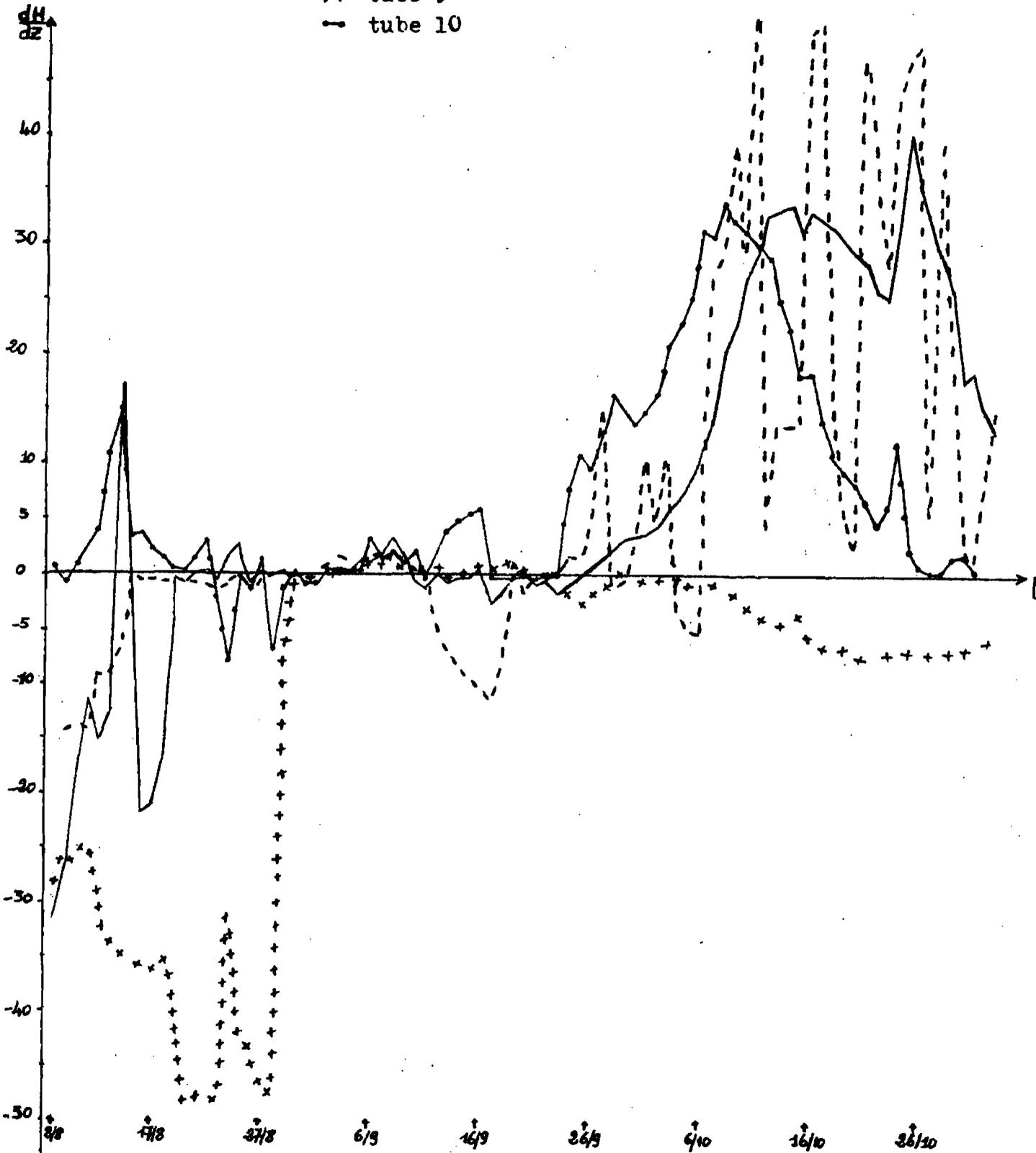


Fig. 24 : Evolution des gradients de charges entre les cotes 30 et 45 cm

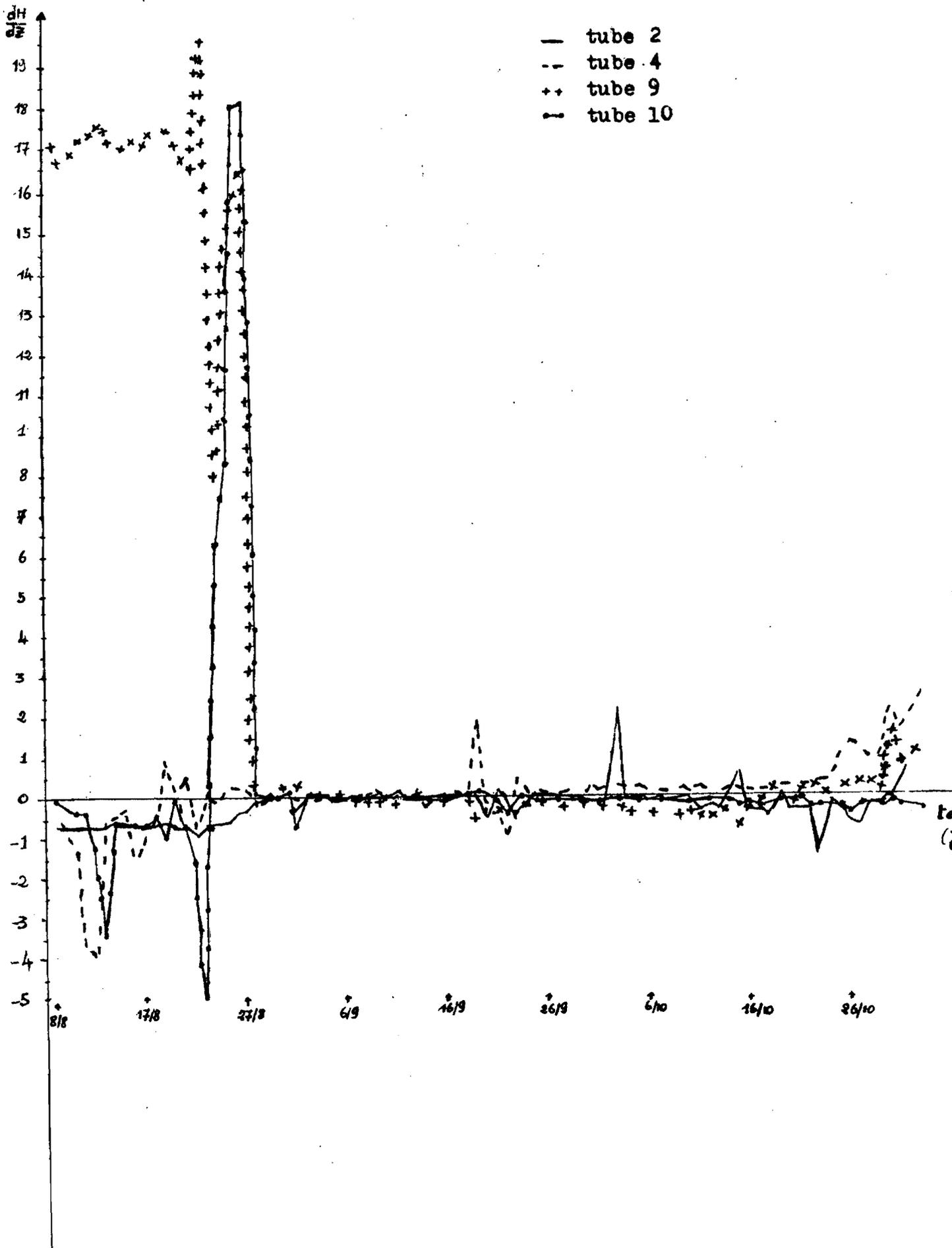


Fig. 25 : Evolution des gradients de charges entre les cotes 110 et 15

c) Variation de stock et calcul de l'ETR

A partir de la détermination des teneurs en eau à différentes dates, on a calculé la valeur du stock cumulé entre la surface du sol et la cote 60 cm, pendant le développement végétatif intense, et la cote 160 cm, pour les phases finales du cycle du sorgho. Le stock d'eau jusqu'à une cote Z est obtenu, en mm, par la formule (Vachaud et al 1977) :

$$S_z^0 = (1,5 \theta_{10} + \theta_{20} + \dots + \theta_k + \dots - 0,5 \theta_z) \cdot 100$$

Ne disposant pas des valeurs de la conductivité hydraulique, $K(\theta)$, du sol en P15, et en absence d'irrigation on utilise la formule simplifiée suivante du bilan hydrique :

$$\Delta S_z^0 = P - \text{Ruiss} - \text{ETR}$$

Les tableaux 10 et 11 présentent le bilan hydrique du sorgho E 35-1 sur grattage superficiel et sur labour à plat.

L'analyse de ces bilans fait ressortir une amélioration du bilan hydrique par le labour à plat par rapport au témoin. Les ETR plus élevés, en fin de cycle, du sorgho sur labour que sur le témoin corroborent sa plus grande tendance au dessèchement par rapport au grattage superficiel.

Il faut remarquer que ces bilans sont à considérer dans les limites de la précision de la méthode utilisée.

Conclusion

L'établissement du bilan hydrique in situ dans les conditions de cette campagne a été complexe. On n'a pas observé une évolution claire d'un plan de flux nul à partir duquel on pouvait éventuellement faire le bilan. Les conditions pluviométriques n'étaient pas pour faciliter le bilan hydrique in situ. Le bilan hydrique in situ est facilité (IRAT/CIEH 1982) lorsque le sol n'est pas trop humecté avec une percolation incontrôlée et lorsque le ruissellement est négligeable.

Tableau 10 : Variation de stock et évapotranspiration réelle journalière du sorgho E 35-1 sur témoin

Période du	N° tube	ΔS (mm)	P (mm)	Ruiss (mm)	ETR mm/j	ETR moyen mm/j	ETP mm/j	Insolation $\frac{H}{10}$ /j
27/7-6/8	1	-48,45			8,89			
	2	-34,4	40,5	0	7,49	8,2*	4,1	62,8
6/8-15/8	1	+19,4			3,4			
	2	+11,7	57,5	4,3	4,1	3,7	3,9	64,1
15/8-24/8	1	+23,1			4,0			
	2	+25,3	125,8	62,2	3,8	3,9	3,7	73,4
24/8-30/8	1	+25,3			9,3			
	2	+46,45	130,5	40,0	6,3	7,8*	3,8	66,8
30/8-7/9	1	-29,8			5,6			
	2	-37,0	20,5	0	6,4	6,0*	4,2	60,7
7/9-14/9	1	+19,7			2,2			
	2	+14,45	52	14,5	2,8	2,5	3,6	46,5
14/9-26/9	1	- 7,7			4,5			
	2	- 5,75	55,2	4,5	4,3	4,4	4,3	74,1
26/9-8/10	1	-28,35			2,8			
	2	-28,4	7,6	0	2,8	2,8	4,4	91,0
8/10-19/10	1	-16,2			1,6			
	2	-13,95	2,9	0	1,3	1,5	4,0	93,5
19/10-31/10	1	- <u>3,35</u>			<u>0,26</u>			
	2	-15,6	0	0	1,2	1,2	3,9	-

* Valeurs surestimées

- Valeurs non prises en compte

Tableau 11 : Variation de stock et évapotranspiration réelle journalière du sorgho F 35-1 sur labour à plat

Période du	N° tube	ΔS (mm)	P (mm)	Ruiss (mm)	ETR mm/j	ETR moyen mm/j	ETP mm/j	Insolation $\frac{H}{j}$ 10
27/7-6/8	3	-38,33			7,8			
	10	- 7,07	40,5	0	4,7	4,7	4,1	62,8
6/8-15/8	3	+19,1			3,5			
	10	+18,56	57,5	3	3,59	3,5	3,9	64,1
15/8-24/8	3	+21,44			7,3			
	10	+23,98	125,8	31	7,0	7,1*	3,7	73,4
24/8-30/8	3	+37,33			7,9			
	10	+74,6	130,5	36,6	2,7	5,3*	3,8	66,8
30/8-7/9	3	-32,0			5,8			
	10	-54,76	20,5	0	8,3	7,0*	4,2	60,7
7/9-14/9	3	+ 2,43			4,2			
	10	+12,52	52	9,7	0,8	2,8	3,6	46,5
14/9-26/9	3	-12,52			4,9			
	10	-16,18	55,2	3,5	5,2	5,0	4,3	74,1
26/9-8/10	3	-29,3			2,8			
	10	-66,05	7,6	0	5,6	4,2	4,4	91,0
8/10-19/10	3	-16,08			1,6			
	10	-32,91	2,9	0	2,9	2,2	4,0	93,5
19/10-31/10	3	- 8,74			0,7			
	10	-45,56	0	0	3,4	2,0	3,9	-

* Valeurs surestimées

- Valeurs non prises en compte

Au cours de la campagne 1988, le suivi hydrique de l'essai en P15, par la méthode neutronique et tensiométrique n'a pas couvert tout le cycle de la culture de sorgho. En 1987 le suivi hydrique a mieux couvert le cycle du sorgho. A titre indicatif, les résultats du bilan hydrique in situ (pour 1987) du sorgho E 35-1 sont présentés en annexe.

II.3.2.2. Résultats du bilan hydrique par simulation

A partir des études sur le ruissellement on a choisi, selon les traitements, des seuils et des coefficients de ruissellement. Les résultats de la simulation du bilan hydrique 1988, selon le modèle BIP, sont présentés dans les tableaux 12, 13 et 14.

Ces simulations semblent corroborer les conclusions de la méthode in situ quant à l'amélioration du bilan hydrique par les techniques d'économie de l'eau. En effet, même si le drainage augmente (quand il existe) avec les techniques d'économie de l'eau, on observe un certain gain en taux de satisfaction des besoins hydriques de la culture avec majoration de l'ETR.

II.3.2.3. Comparaison des deux méthodes du bilan hydrique

Pour cette analyse comparative on se propose de statuer sur les points suivants :

- la nature des informations fournies par chaque méthode
- la précision de chacune d'elle dans l'approche du bilan hydrique
- la facilité et les contraintes d'utilisation des différents modèles.

Tableau 12 : Simulation du bilan hydrique, parcelle témoin

ANNEE : 1988			SORGH0125J		125 jours							

RESERVE MAXIMALE UTILISABLE :			80.mm		PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE :			0.mm				
SEUIL DE RUISSELLEMENT :			10 mm		DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS :			0 mm				
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT:			35 mm		DOSE EN COURS DE CULTURE :			0 mm				

PERIODES :	P	HR	K	ETM	ETR	RES	RU'I	DR	SATIS	DEFI	RESS	FRONT

===== SORGH0125J =====												
JUIN 4 E PE	19.7	1.00	.40	19.0	20.4	.0	.3	.0	.97	.6	.5	20.*
JUIN 5 E PE	44.0	.70	.55	24.8	21.6	18.2	4.2	.0	.87	3.2	1.5	40.*
JUIN 6 E PE	9.0	.68	.60	27.0	22.9	4.3	.0	.0	.85	4.1	.0	40.*
JUIL 1 E PE	33.0	.55	.65	29.3	21.0	12.7	3.5	.0	.72	8.2	1.0	40.*
JUIL 2 E PE	40.5	1.00	.70	31.5	29.7	13.1	10.5	.0	.94	1.8	1.0	43.*
JUIL 3 E PE	13.0	.60	.80	30.0	22.9	2.9	.3	.0	.76	7.1	.5	43.*
JUIL 4 E PE	23.9	.32	.85	31.9	13.0	13.5	.3	.0	.41	18.9	.5	43.*
JUIL 5 E PE	20.0	.78	.90	29.7	26.7	6.6	.2	.0	.90	3.0	.5	43.*
JUIL 6 E PE	22.2	.37	.95	37.6	13.8	14.8	.2	.0	.37	23.8	1.0	43.*
AOUT 1 E PE	21.2	.84	1.00	25.0	23.1	12.7	.2	.0	.93	1.9	.5	43.*
AOUT 2 E PE	22.0	.79	1.05	26.3	23.8	9.9	1.0	.0	.91	2.4	1.0	43.*
AOUT 3 E PE	80.0	.70	1.10	27.5	23.6	48.8	17.5	.0	.86	3.9	3.0	72.*
AOUT 4 E PE	44.0	1.00	1.10	27.5	25.9	54.1	1.3	11.5	.94	1.6	1.5	80.*
AOUT 5 E PE	71.0	1.00	1.10	33.5	31.6	48.4	5.9	39.1	.94	1.9	2.0	80.*
AOUT 6 E PE	77.8	1.00	1.10	40.3	38.3	41.7	7.1	39.0	.95	1.9	2.0	80.*
SEPT 1 E PE	15.7	.72	1.00	27.5	23.9	33.5	.0	.0	.87	3.6	.0	80.*
SEPT 2 E PE	25.0	.73	1.00	27.5	24.1	34.2	.2	.0	.87	3.4	.5	80.*
SEPT 3 E PE	21.5	.69	.95	26.1	22.5	32.9	.3	.0	.86	3.7	1.0	80.*
SEPT 4 E PE	37.0	.87	.90	24.8	23.1	46.6	.3	.0	.93	1.6	1.0	80.*
SEPT 5 E PE	12.2	.73	.80	24.0	21.4	37.3	.0	.0	.89	2.6	.5	80.*
SEPT 6 E PE	7.7	.56	.70	21.0	17.6	27.4	.0	.0	.84	3.4	.0	80.*
OCTO 1 E PE	.0	.34	.60	19.5	13.7	13.7	.0	.0	.70	5.8	.0	80.*
OCTO 2 E PE	.0	.17	.55	17.9	9.3	4.4	.0	.0	.52	8.6	.0	80.*
OCTO 3 E PE	3.5	.10	.50	17.5	6.9	1.0	.0	.0	.39	10.6	.0	80.*
OCTO 4 E PE	.0	.01	.45	15.7	1.0	.0	.0	.0	.07	14.7	.0	80.*
=====												
OCTO 5 E PE	.0	.00	.00	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.0	.0	1.*

TOTAUX :	682.	SOMETP	3023.	662.	540.		54.	90.		142.	20.	

****INDICE DE SATISFACTION ETR/ETM ****												
*****IDV*****	FL1	*****	FL2	*****	MATUR	*****	CYCLE	*****	ETR	CULTURE**		
	.75		.90		.91		.57		.79		517.1	

Tableau : 13 : Simulation du bilan hydrique
Traitement : Labour à plat

ANNÉE : 1988													
SORGH0125J 125 jours													

RESERVE MAXIMALE UTILISABLE : 80. mm				PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE : 0. mm									
SEUIL DE RUISSELLEMENT : 15 mm				DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS : 0 mm									
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT: 25 mm				DOSE EN COURS DE CULTURE : 0 mm									

PERIODES	P	HR	K	ETM	ETR	RES	RUI	DR	SATIS	DEFI	RESS	FRONT	

===== SORGH0125J =====													
JUIN 4	E PE	19.7	1.00	.40	19.0	20.7	.0	.0	.97	.6	.5	21.*	
JUIN 5	E PE	44.0	.70	.55	24.8	21.6	21.3	1.1	.0	.87	3.2	1.5	43.*
JUIN 6	E PE	9.0	.71	.60	27.0	23.3	7.0	.0	.0	.86	3.7	.0	43.*
JUIL 1	E PE	33.0	.61	.65	29.3	22.7	16.3	.9	.0	.78	6.5	1.0	43.*
JUIL 2	E PE	40.5	1.00	.70	31.5	29.7	24.0	3.1	.0	.94	1.8	1.0	54.*
JUIL 3	E PE	13.0	.69	.80	30.0	25.2	11.8	.0	.0	.84	4.8	.5	54.*
JUIL 4	E PE	23.9	.67	.85	31.9	25.8	9.9	.0	.0	.81	6.1	.5	54.*
JUIL 5	E PE	20.0	.26	.90	29.7	11.1	18.8	.0	.0	.37	18.6	.5	54.*
JUIL 6	E PE	22.2	.76	.95	37.6	33.3	7.7	.0	.0	.89	4.3	1.0	54.*
AOUT 1	E PE	21.2	.24	1.00	25.0	11.2	17.6	.0	.0	.45	13.8	.5	54.*
AOUT 2	E PE	22.0	.73	1.05	26.3	23.1	16.1	.4	.0	.88	3.1	1.0	54.*
AOUT 3	E PE	80.0	1.00	1.10	27.5	25.9	54.1	4.9	11.2	.94	1.6	3.0	80.*
AOUT 4	E PE	44.0	1.00	1.10	27.5	25.9	54.1	.3	17.8	.94	1.6	1.5	80.*
AOUT 5	E PE	71.0	1.00	1.10	33.5	31.6	40.4	3.4	41.7	.94	1.9	2.0	80.*
AOUT 6	E PE	77.8	1.00	1.10	40.3	38.3	41.7	4.7	41.5	.95	1.9	2.0	80.*
SEPT 1	E PE	15.7	.72	1.00	27.5	23.9	33.5	.0	.0	.87	3.6	.0	80.*
SEPT 2	E PE	25.0	.73	1.00	27.5	24.1	34.4	.0	.0	.88	3.4	.5	80.*
SEPT 3	E PE	21.5	.70	.95	26.1	22.5	33.2	.1	.0	.86	3.6	1.0	80.*
SEPT 4	E PE	37.0	.88	.90	24.8	23.1	47.0	.0	.0	.93	1.6	1.0	80.*
SEPT 5	E PE	12.2	.74	.80	24.0	21.5	37.8	.0	.0	.89	2.5	.5	80.*
SEPT 6	E PE	7.7	.57	.70	21.0	17.7	27.8	.0	.0	.84	3.3	.0	80.*
OCTO 1	E PE	.0	.35	.60	19.5	13.8	14.0	.0	.0	.71	5.7	.0	80.*
OCTO 2	E PE	.0	.17	.55	17.9	9.4	4.6	.0	.0	.53	8.5	.0	80.*
OCTO 3	E PE	3.5	.10	.50	17.5	7.0	1.1	.0	.0	.40	10.5	.0	80.*
OCTO 4	E PE	.0	.01	.45	15.7	1.1	.0	.0	.0	.07	14.6	.0	80.*
=====													
OCTO 5	E PE	.0	.00	.00	.0	.0	.0	.0	.00	.0	.0	.0	1.*

TOTAUX :		682.	SOMETP	3023.	662.	552.		19.	112.		131.	20.	

****INDICE DE SATISFACTION ETR/ETM ****													
*****IDV****FL1****FL2****MATUR****CYCLE****ETR CULTURE**													
		.81	.76	.91	.57	.80					528.9		

Tableau 14 : Simulation du bilan hydrique
Traitement : Billons cloisonnés

ANNEE : 1988		SORGH0125J		125 jours								
RESERVE MAXIMALE UTILISABLE :		80 mm		PLUIE POUR LE SEMIS PRECOCE :		0 mm						
SEUIL DE RUISSellement :		20 mm		DOSE D'IRRIGATION AU SEMIS :		0 mm						
COEFFICIENT DE RUISSellement :		10 mm		DOSE EN COURS DE CULTURE :		0 mm						
PERIODES :	P	HR	K	ETM	ETR	RES	RUTI	DR	SATIS	DEFI	RESS	FRONT
SORGH0125J												
JUIN 4 E PE	19.7	1.00	.40	19.0	20.7	.0	.0	.97	.6	.5	21.*	
JUIN 5 E PE	44.0	.70	.55	24.8	21.6	22.1	.3	.0	.87	3.2	1.5	44.*
JUIN 6 E PE	9.0	.71	.60	27.0	23.4	7.7	.0	.0	.87	3.6	.0	44.*
JUIL 1 E PE	33.0	.63	.65	29.3	23.1	17.3	.2	.0	.79	6.1	1.0	44.*
JUIL 2 E PE	40.5	1.00	.70	31.5	29.7	27.6	.5	.0	.94	1.8	1.0	57.*
JUIL 3 E PE	13.0	.71	.80	30.0	25.6	15.0	.0	.0	.85	4.4	.5	57.*
JUIL 4 E PE	23.9	.68	.85	31.9	26.2	12.7	.0	.0	.82	5.7	.5	57.*
JUIL 5 E PE	20.0	.57	.90	29.7	21.9	10.9	.0	.0	.74	7.8	.5	57.*
JUIL 6 E PE	22.2	.58	.95	37.6	25.1	7.9	.0	.0	.67	12.5	1.0	57.*
AOUT 1 E PE	21.2	.21	1.00	25.0	10.3	18.9	.0	.0	.41	14.7	.5	57.*
AOUT 2 E PE	22.0	.71	1.05	26.3	22.9	18.0	.0	.0	.87	3.4	1.0	57.*
AOUT 3 E PE	80.0	1.00	1.10	27.5	25.9	54.1	.7	17.2	.94	1.6	3.0	80.*
AOUT 4 E PE	44.0	1.00	1.10	27.5	25.9	54.1	.0	18.1	.94	1.6	1.5	80.*
AOUT 5 E PE	71.0	1.00	1.10	33.5	31.6	48.4	.3	44.8	.94	1.9	2.0	80.*
AOUT 6 E PE	77.8	1.00	1.10	40.3	38.3	41.7	.8	45.3	.95	1.9	2.0	80.*
SEPT 1 E PE	15.7	.72	1.00	27.5	23.9	33.5	.0	.0	.87	3.6	.0	80.*
SEPT 2 E PE	25.0	.73	1.00	27.5	24.1	34.4	.0	.0	.88	3.4	.5	80.*
SEPT 3 E PE	21.5	.70	.95	26.1	22.6	33.3	.0	.0	.86	3.6	1.0	80.*
SEPT 4 E PE	37.0	.88	.90	24.8	23.1	47.2	.0	.0	.94	1.6	1.0	80.*
SEPT 5 E PE	12.2	.74	.80	24.0	21.5	37.9	.0	.0	.90	2.5	.5	80.*
SEPT 6 E PE	7.7	.57	.70	21.0	17.7	27.9	.0	.0	.84	3.3	.0	80.*
OCTO 1 E PE	.0	.35	.60	19.5	13.8	14.1	.0	.0	.71	5.7	.0	80.*
OCTO 2 E PE	.0	.18	.55	17.9	9.4	4.7	.0	.0	.53	8.4	.0	80.*
OCTO 3 E PE	3.5	.10	.50	17.5	7.0	1.2	.0	.0	.40	10.5	.0	80.*
OCTO 4 E PE	.0	.01	.45	15.7	1.2	.0	.0	.0	.07	14.6	.0	80.*
OCTO 5 E PE	.0	.00	.00	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.0	.0	1.*
TOTAUX :	682.	SOMETP	3023.	662.	554.		3.	125.		128.	20.	
***INDICE DE SATISFACTION ETR/ETM ***												
*****IDV*****FL1*****FL2*****MATUR*****CYCLE*****ETR CULTURE**												
.84	.74	.91	.57	.81								531.7

a) La nature des informations fournies par chaque méthode

La présentation sommaire du modèle BIP et les principes de la méthode neutronique et tensiométrique sont assez précis à cet égard. Aussi, on se contentera de préciser que la méthode du bilan hydrique in situ permet d'acquérir plus d'informations sur la dynamique réelle de l'eau du sol en fonction des traitements, de la culture et des caractéristiques pédologiques du sol, par rapport au modèle BIP de simulation.

Le point fort de la méthode de simulation du bilan hydrique est l'estimation de la satisfaction des besoins en eau de la culture tout au long de son cycle. Ainsi, le modèle BIP permet de chiffrer (Forest, 1984) les risques de sécheresse. Aucune mesure simple de terrain (le Corvec et al 1984) ne permet d'évaluer ce critère.

b) La précision dans l'approche du bilan hydrique

Tandis que la méthode in situ est plus réelle, la méthode de simulation du bilan hydrique a un aspect beaucoup plus probabiliste. Le modèle de simulation n'est pas affecté par le niveau de fertilisation du sol qui a une incidence sur la croissance et le développement de la culture.

Cependant les résultats des deux méthodes sont assez proches. La moyenne journalière de l'ETR pendant la floraison du sorgho E 35-1 par le modèle BIP a été de 5,3 mm/j sur le témoin et sur le labour. La méthode in situ donne des valeurs autour de 4 mm/j. A la maturation, par la méthode in situ les ETR journalières sur grattage superficiel et sur labour à plat ont été respectivement de 2,5 mm/j et 3,3 mm/j. Pour la même phase la simulation donne 2,2 mm/j et 2,3 mm/j pour ces traitements. Dancette et al (1982) étaient également arrivés à des résultats assez identiques par ces deux méthodes du bilan hydrique. Ils trouvaient qu'il y avait souvent une légère sous-estimation des ETR de la part du modèle de simulation du bilan hydrique.

c) Facilité d'application et contraintes

Le développement prodigieux de la science et de la technique, en particulier l'informatique a rendu aisé le modèle BIP de simulation du bilan hydrique. Du point de vue technique, la méthode in situ est relativement simple. La manipulation des

appareillages étant facile. Sans prétendre être exhaustif, les contraintes de la méthode in situ sont principalement des contraintes sur le terrain. En effet, l'installation des tubes d'accès, l'étalonnage de la sonde, le suivi hydrique à la parcelle sont assujettis à des difficultés d'ordre humaine et de physique des sols. A ce sujet, Moutonnet et al (1983), Sicot (1983), Collas et al (1984) sont plus explicites. Lors du suivi hydrique à la parcelle, au cours de cette étude, on a observé un gradient de charge nul à toutes les cotes de mesure après une pluie de 63 mm. Ce qui rend impossible l'estimation du flux d'eau à travers la dernière cote de mesure.

L'estimation du terme ruissellement reste un problème pour les deux méthodes d'approche du bilan hydrique. Cependant lorsqu'on dispose d'un dispositif d'étude du ruissellement on est à mesure, de façon moins empirique, de déterminer la hauteur d'eau ruissellée pour chaque pluie. On peut ainsi établir une fiche des pluies utiles. Lors de l'établissement du bilan hydrique, en lieu et place de la pluviométrie reçue, se substitue alors la pluviométrie utile.

II.3.3. Effet des traitements sur la plante

Les résultats précédents montrent en certain effet des techniques d'économie de l'eau sur le ruissellement et l'érosion. Les résultats des mesures de hauteurs des plantes, des profils racinaires et de la production, expliciteront l'incidence des traitements sur la culture de sorgho, voir sur son bilan hydrique.

II.3.3.1. Effet des traitements sur la croissance végétative du sorgho

Les séries de mesures des hauteurs des plants en P7 et P15 permettent d'apprécier l'incidence des techniques d'économie de l'eau sur le développement végétatif de la plante.

En P7 les histogrammes de croissance (fig. 26) tracés à partir des mesures successives des hauteurs des plants permettent de tirer les enseignements suivants :

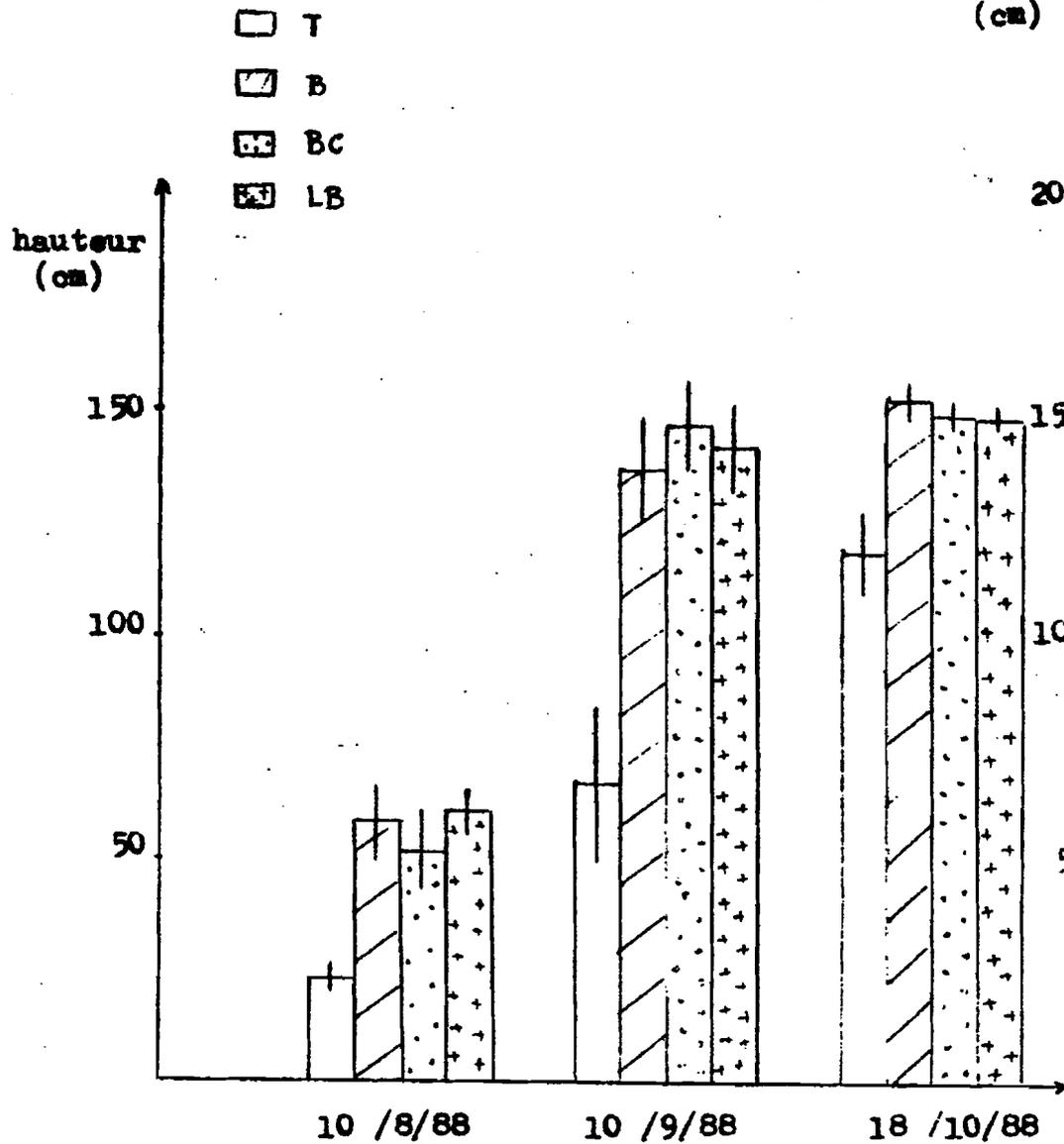
hauteur
(cm)

Fig. 26 : Histogrammes de la croissance du Sorgho IRAT 204 en P7

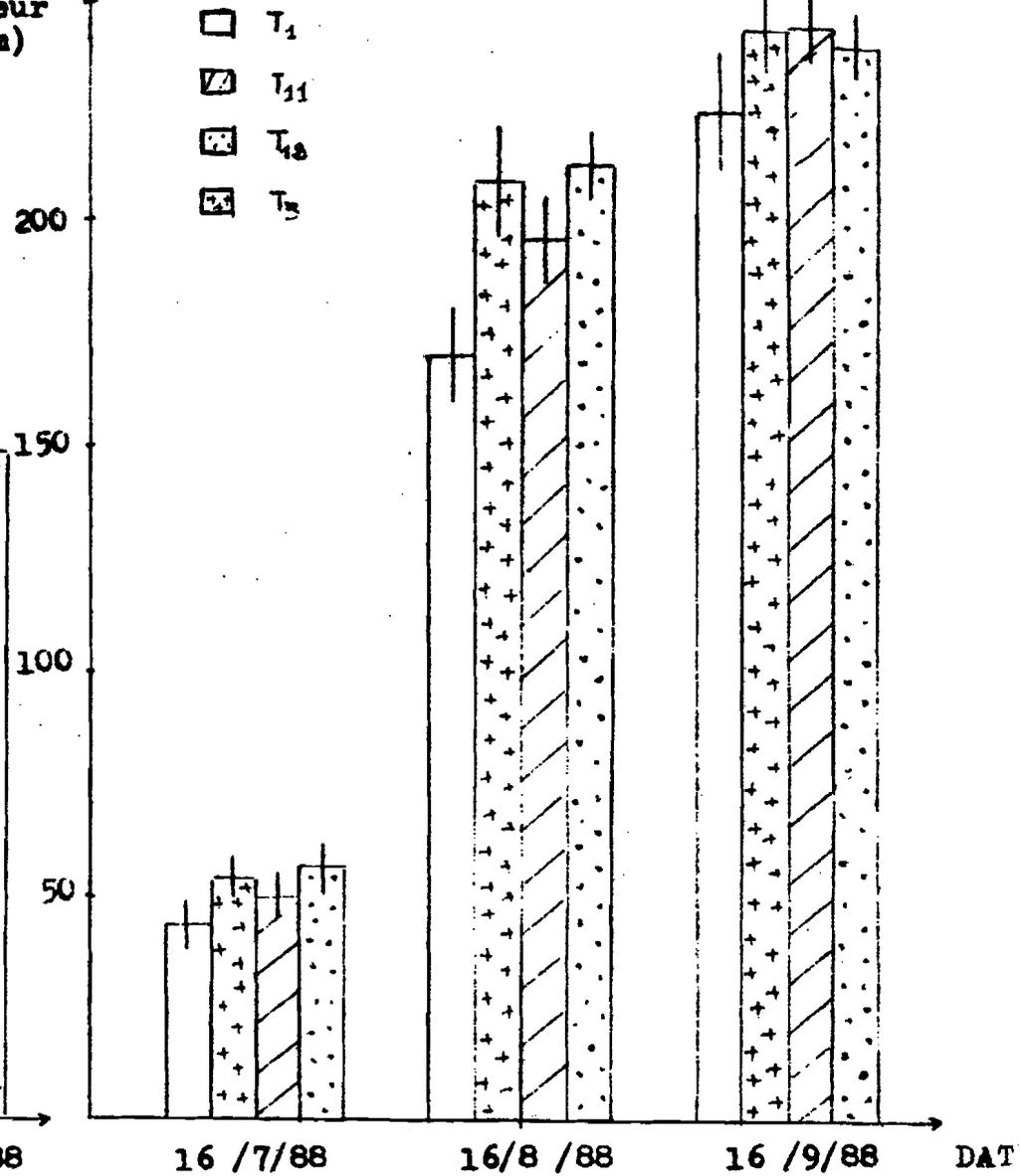
hauteur
(cm)

Fig. 27 : Histogrammes de la croissance du Sorgho E 35-1 en P15

- sur les traitements LB, BC et B la croissance du sorgho IRAT 204 a été la même. Cependant,

- . en début de cycle la croissance végétative est en faveur de la parcelle LB, suivi de B.
- . au bout de deux mois, les plantes sur la parcelle BC prennent l'avance sur celles de LB.
- . En fin de cycle on observe une sensible homogénéité entre plantes sur les trois parcelles LB, BC et B.

En P15, avec la bonne pluviométrie, l'irrigation de complément n'a pas été apportée. On a donc procédé à un recanagement des traitements pour l'interprétation des résultats. Les "traitements irrigués" deviennent des traitements correspondants à la technique culturale utilisée sur la parcelle d'étude (ex : LB_i devient LB).

Les histogrammes de la croissance végétative du sorgho E 35-1 (fig. 18) montrent qu'il n'y a pas de différence notable entre la croissance végétative sur T3, T11 et T12. Il faut cependant remarquer qu'après le cloisonnement, sur T11, on a un gain de vitesse de croissance. Car à la deuxième date de mesure des hauteurs, tout comme à la 1ère date, T11 était légèrement en retard par rapport à T3 et T12. A la dernière date de mesure, les plants sur T11, T3 et T12 sont de hauteurs équivalentes.

La différence de croissance entre plantes sur témoin et sur les autres traitements est significative à la deuxième date de mesure.

L'observation des dates des différentes phases d'épiaison du sorgho IRAT 204 en P7 et de E 35-1 en P15 (cf tableau 15 et 16) corrobore les conclusions sur la croissance végétative.

Les effets des techniques d'économie de l'eau sur la croissance et les dates d'épiaison du sorgho sont plus marquées en P7 (en haut de toposéquence) qu'en P15 (en bas de toposéquence).

Tableau 15 : Dates des différentes phases d'épiaison
en IAS (Jours Après Semis) du sorgho
IRAT 204 en F7

	Début épiai- son	50 % épiai- son	100 % épiai- son
T	58	69	80
B	50	54	65
BC	51	55	67
LB	50	55	65

.../...

Tableau 15 : Dates des différences classes d'éclairson
 ne 228 du sorgho S 38-1 en pis

Bloc	Début éclairson				50 % éclairson				100 % éclairson						
	Moyen				Moyen				Moyen						
Traitement	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	pe		
T1	72	71	73	71	72	82	80	85	79	82	88	89	95	89	90
T3	69	70	71	71	70	82	80	79	80	80	88	89	89	89	88
T11	70	69	71	71	70	76	80	76	82	79	88	89	88	89	89
T12	71	71	71	71	71	79	80	76	78	78	89	89	89	88	88
CV %	CV = 1,00				CV = 3,2				CV = 28,82						
Signification	NS				NS				NS						

111 311 211 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111

II.3.3.2. Effet des traitements sur le système racinaire

La plante assure son alimentation en eau et en éléments minéraux par les racines. L'étude du système racinaire peut donc fournir des informations dans l'appréciation de la possibilité d'alimentation hydrique des plantes.

A ce titre il n'est pas superflu d'étudier l'enracinement du sorgho sur les différents traitements d'économie de l'eau pour apprécier leurs effets sur le bilan hydrique.

Des profils racinaires ont été réalisés au début du stade gonflement du sorgho, en P15. Les schémas de ces profils racinaires par traitement (fig. 28, 29, 30, 31) montrent :

- que sur T1 et T3 la majorité des racines se situe au niveau de l'horizon 0-15 cm.
- Une abondance des racines sur T12 par rapport aux autres traitements. Les racines sont régulièrement réparties sous le sorgho sur T12 jusqu'à 30 cm de profondeur.

Les fiches de notations (fig. 32 et 33) montrent que sur l'ensemble du profil racinaire T1 et T3 semblables. Nicou et al 1984 dans une étude antérieure ont montré qu'au stade grain laiteux, les différences entre les effets induits par le travail du sol ne sont pas aussi marquées qu'au stade début montaison.

Les diagrammes (fig. 34) du nombre de racines cumulé par tranche de sol indique,

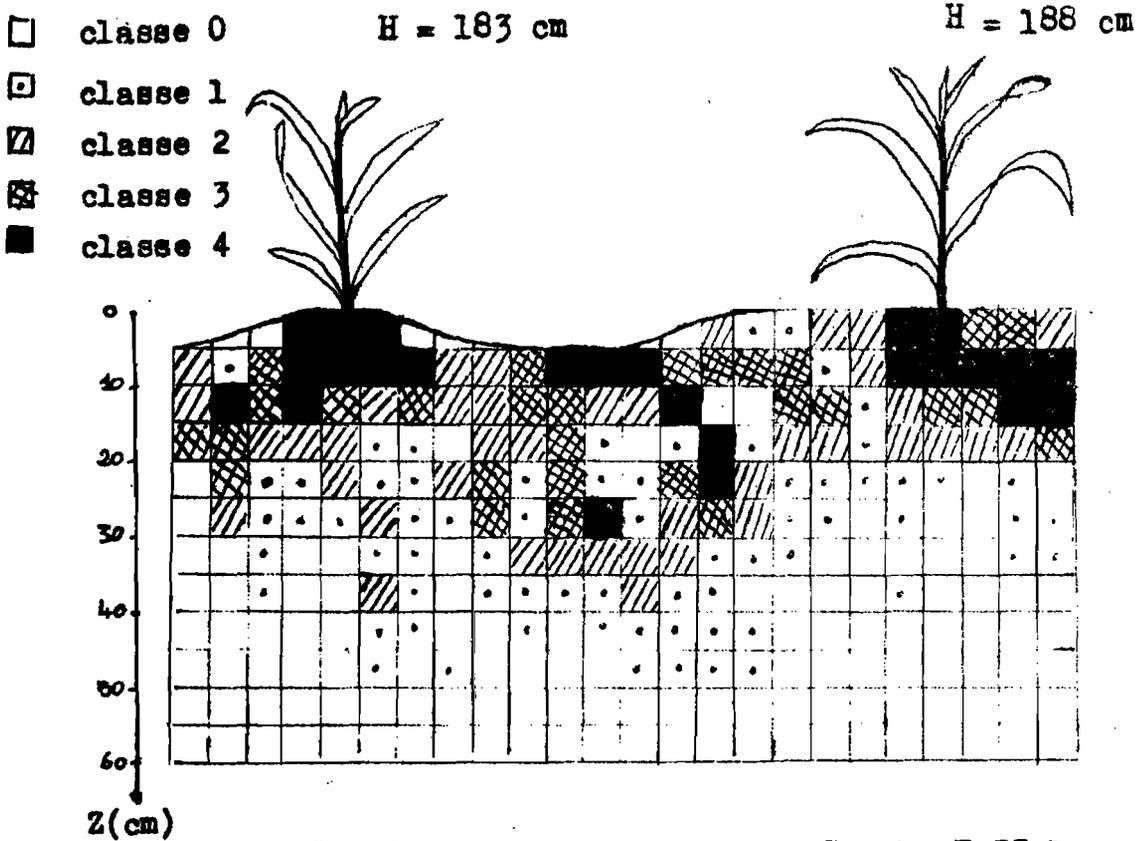


Fig. 28 : Profil d'enracinement, Sorgho E 35-1
Traitement : Témoin (T1)

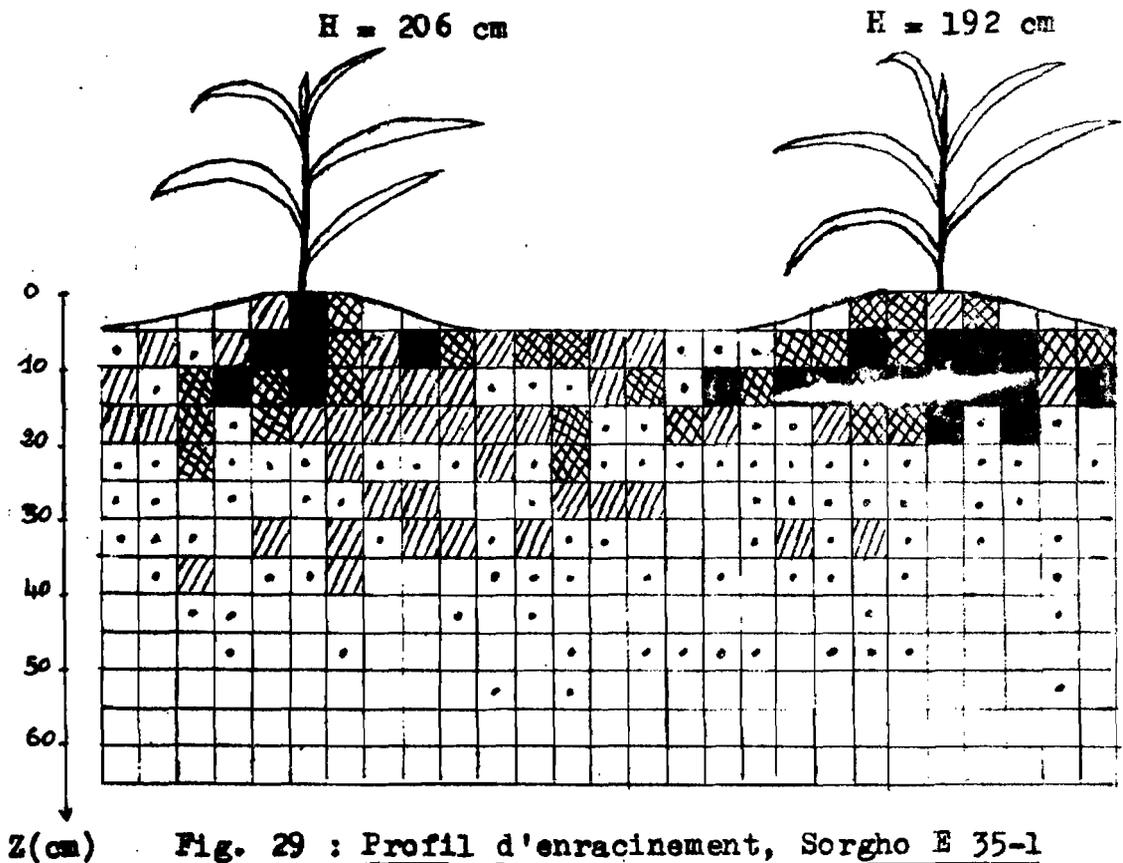


Fig. 29 : Profil d'enracinement, Sorgho E 35-1
Traitement : LB (T3)

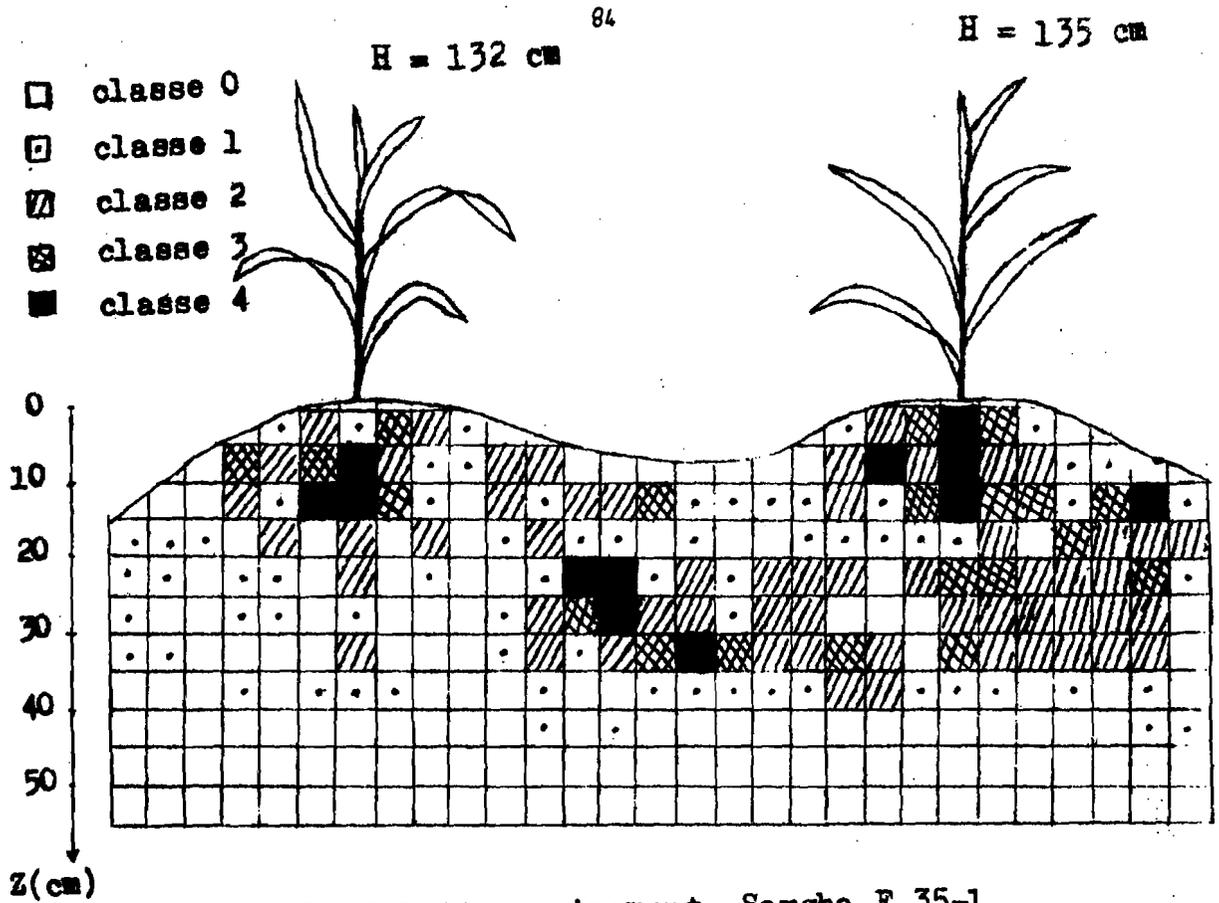


Fig. 30 : Profil d'enracinement, Sorgho E 35-1
 Traitement : LB + BC (T11)

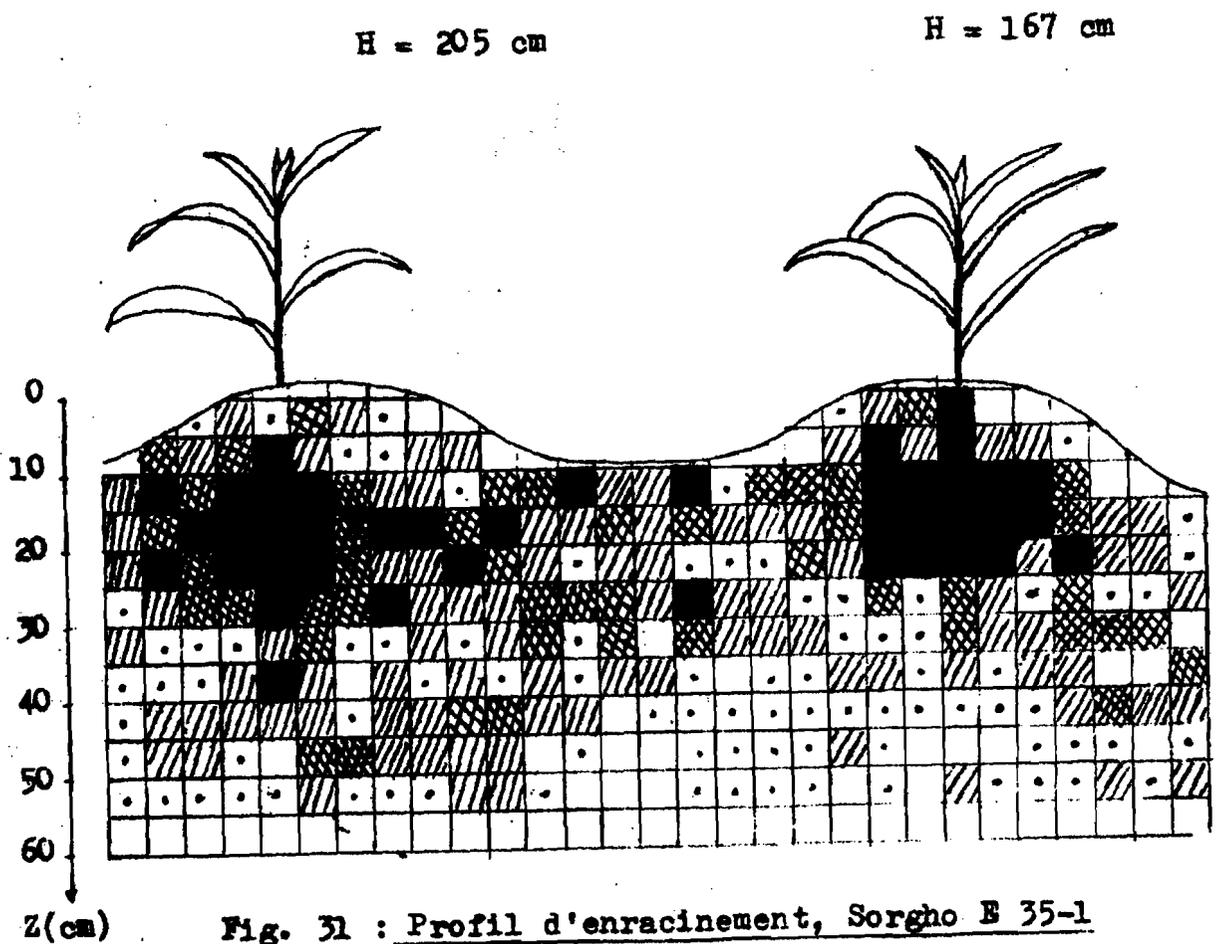


Fig. 31 : Profil d'enracinement, Sorgho E 35-1
 Traitement : BC (T12)

Fig. 32 : Fiche de notation de l'enracinement

Essai : 15
 Culture : Sorgho E 35-1
 Stade : Début gonflement
 Date de mesure : 18.8.88

lignes de semis

Z (cm)	lignes de semis																				Σ notes	%							
0				2	4	3	0											3	3	2	3	21	6						
10	1	2	1	2	4	4	3	2	4	3	2	3	3	2	2	1	1	1	3	3	4	3	4	4	4	3	3	72	21
20	2	1	3	4	3	4	3	2	2	2	1	1	1	2	3	1	4	3	4	4	3	4	4	4	4	2	4	75	22
30	2	2	3	1	3	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	3	2	1	1	2	3	3	4	1	4	1	0	55	16
40	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	31	9
50	1	1	0	1	0	1	1	2	2	0	0	1	2	2	2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	23	7
60	1	1	1	0	2	0	2	1	2	2	1	2	1	2	0	0	0	1	2	1	2	1	0	1	0	1	0	26	7,7
70	0	1	2	0	1	1	2	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	16	4,7	
80	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	6	1,7
90	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	10	3
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0,8
																												338	100

Traitement : LB (T3)

lignes de semis

Z (cm)	lignes de semis																				Σ notes	%							
0				4	4	4												2	1	1	2	2	4	4	3	3	2	56	10,6
10	2	1	3	4	4	4	4	2	2	3	4	4	4	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	76	22,4
20	2	4	3	4	3	2	3	2	2	3	3	2	2	4	2	2	3	3	4	2	3	3	4	4	4	4	4	66	19,5
30	3	3	2	2	2	1	2	0	2	2	3	1	0	1	4	1	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	44	13,0
40	0	3	1	1	2	1	1	2	3	1	3	1	1	3	4	2	2	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	35	10,3
50	0	2	1	1	1	2	1	1	3	1	3	4	1	2	3	2	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	33	9,7
60	0	0	1	0	0	1	1	0	1	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	19	5,7
70	0	0	1	0	0	2	1	0	1	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13	3,8
80	0	0	0	0	2	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3,0
90	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2,0
																												338	100

Traitement : Témoin (T1)

Fig. 33 : Fiche de notation de l'enracinement

Essai : P15
 Culture : Sorgho E 35-1
 Stade : Début gonflement
 Date de mesure : 18.8.88

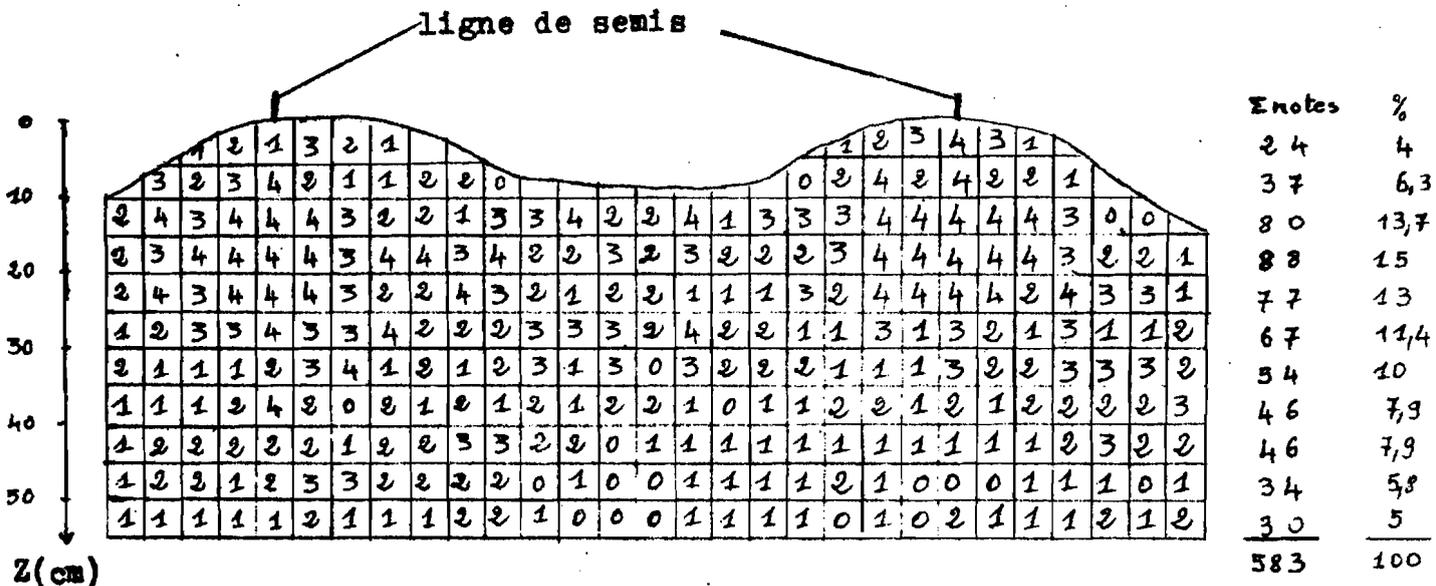
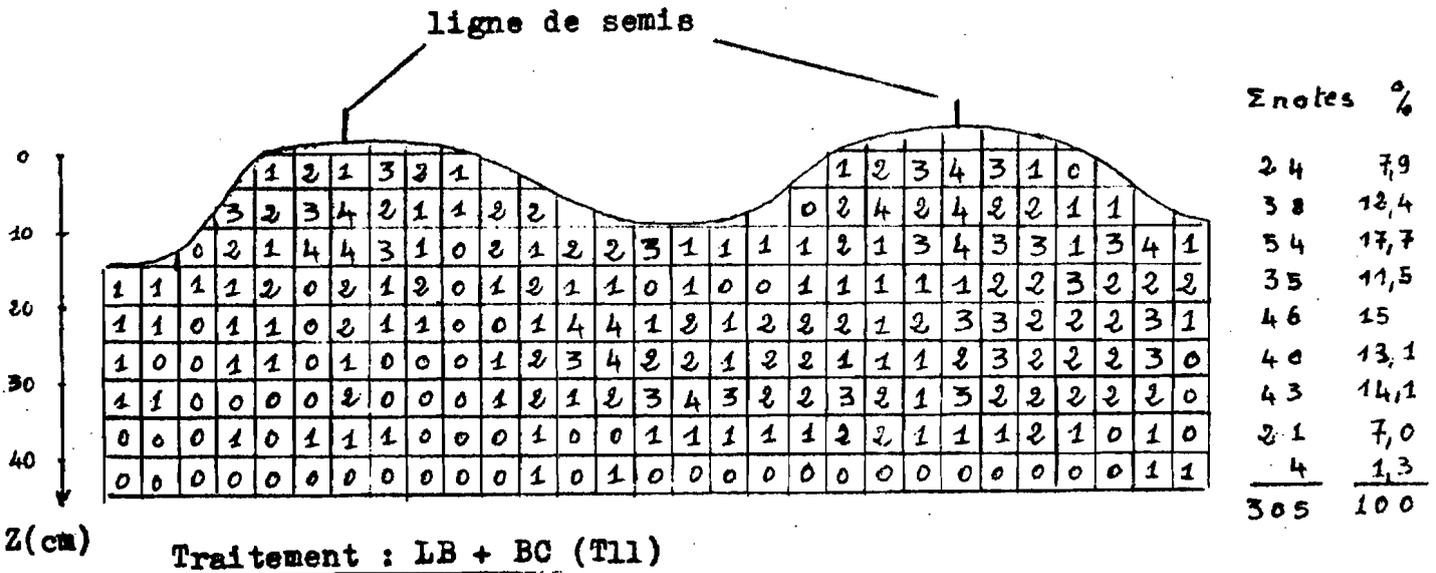
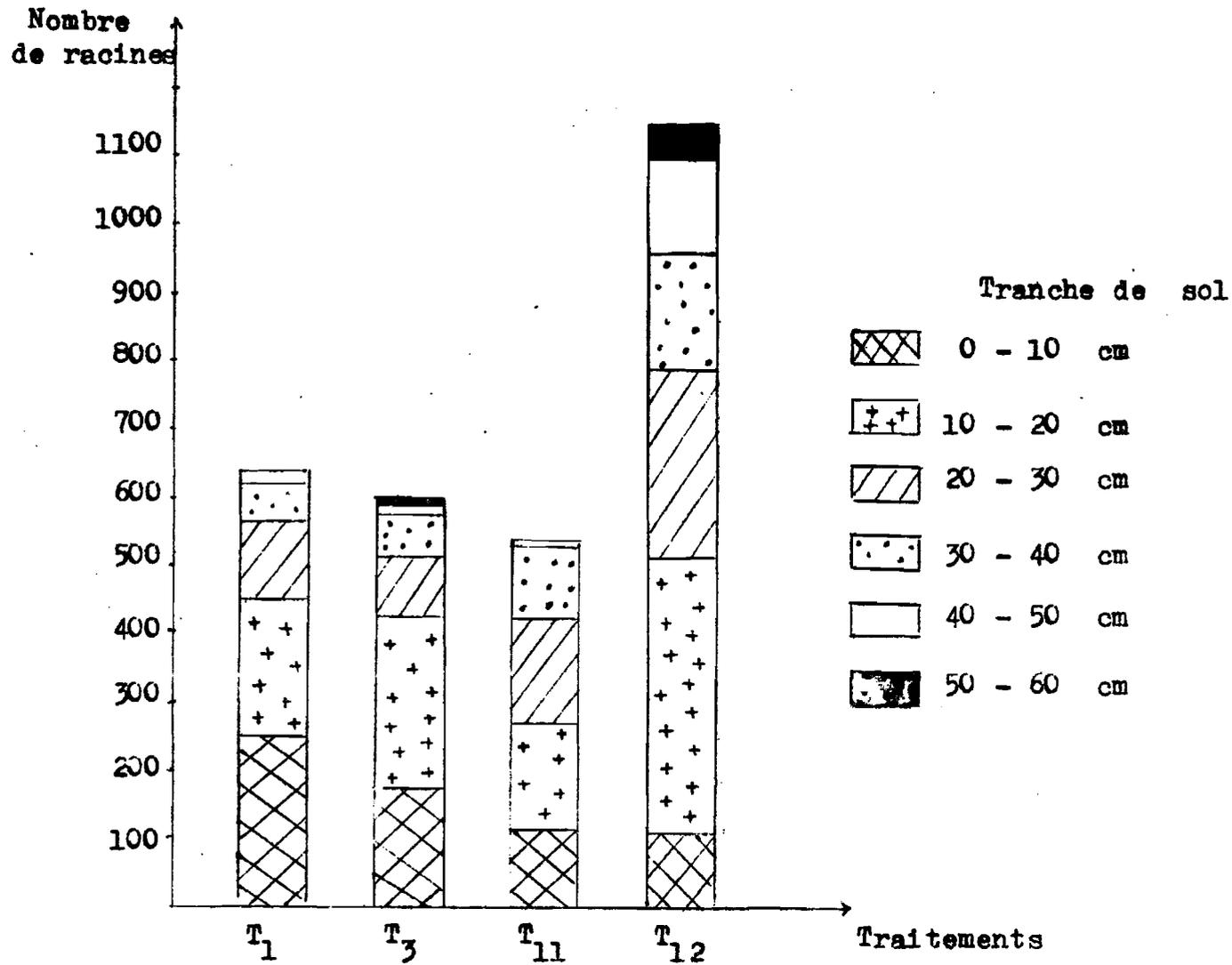


Fig. 34 : Histogrammes du cumul du nombre de racines par Tranche de sol et par traitement



- que le sorgho sur T1 a un enracinement très superficiel. En effet la majorité des racines se trouve dans la tranche 0-10 cm

- que sur T11 et T12 les sorgho sont moins pourvus en racines sur la **tranche** de sol 0-10 cm. Mais en revanche sont les plus pourvus sur la tranche de sol 20-30 cm

- qu'il n'existe pratiquement plus de racines au delà de la cote 50 cm sous les sorghos sur T1 et T11. Seuls T3 et T12 ont des racines plus en profondeur.

Une étude plus détaillée du système racinaire du sorgho a été faite par Chopart (1980), Quattara (1984), Affolder (1985)

Conclusion

Les sorghos sur labour à plat et sur grattage superficiel sont comparables en nombre de racines, mais sur labour à plat les racines du sorgho vont plus en profondeur. Le sorgho sur T12 a un bon profil racinaire tant du point de vue nombre de racines que du point de vue du volume de sol colonisé. Le système racinaire du sorgho sur le labour permet une meilleure exploitation des réserves hydriques par rapport à celui du sorgho sur témoin. C'est ce que montre l'évolution des charges hydrauliques et les ETR en fin de cycle.

II.3.3.3. Effet des traitements sur la production

Les rendements constituent le résultat matériel de la nutrition hydrique et minérale de la culture. Ils sont les plus en vue, avec l'ETR, dans l'appréciation du bilan hydrique des cultures. Les techniques d'économie de l'eau déployées en P7 et P15 ont donné, pour la production de matière, les résultats présentés aux tableaux 17 et 18.

Ces tableaux suscitent les observations suivantes :

En P7 les effets du labour et du billonnage sur la production apparaissent équivalents. Ces deux traitements précités ont été plus bénéfiques que EC dans les conditions de cette campagne agricole.

La performance, en rendement de la parcelle témoin a été médiocre. La difficulté de croissance du sorgho, observée sur le témoin, explique en partie son bas rendement.

Tableau 17 . Caractéristiques des rendements du sorgho
1941-2021, 2018

	Nombre de particules	Nombre de parti- cules par paquet	Poids particule par paquet (H)	Grains par particule (G)	Poids de 1000 grains (g)	Rendements grains (t/ha)
T	401	1,4	36,0	14,7	21,65	0,729
B	690	2,2	110,7	99,0	18,63	2,640
SC	625	2,1	103,7	76,8	20,07	2,921
LB	466	2,3	106,6	81,3	17,11	2,541

11/11

Tableau 19 : Caractéristiques des rendements du sorgho E 35-1
sq. 215

	Nombre de particules	Nombre de parti- cules/poquet	Poids particules par poquet (g)	Poids graine particules (g)	Foids de 1000 grains (g)	Rendements grains (T/ha)	Rendements saillies (T/ha)
T4	1074,9	2,9	111,2	39,2	29,45	2,735	6,648
T3	1143,7	2,7	114,4	37,2	27,44	3,074	7,484
T11	1077,7	2,9	110,3	35,8	26,40	2,790	7,515
T12	1116	2,6	106,6	35,1	27,01	2,679	7,788
C.V. %			9,44		3,9	9,99	8,21
Signifi- cation			NS		NS	NS	NS

En absence de répétition, les résultats en P7 sont donnés à titre indicatif.

En P15 il n'y a aucune différence significative, par rapport aux rendements, entre traitements. Cela est imputable à la bonne pluviométrie enregistrée au cours de la campagne agricole. La fréquence des pluies a même causé des problèmes d'engorgement sur les parcelles T11 et T12 ce qui a quelque peu affecté les rendements obtenus.

Conclusion

L'irrigation de complément ne semble pas nécessaire tous les ans mais plutôt 8 années sur 10.

En année de bonne pluviométrie, 2 années sur 10, les techniques additionnelles, buttage et billonnage cloisonné sont peu efficaces. Elles ont même un effet dépressif à cause du risque d'engorgement en bas-fond (comme en P15). C'est seulement en milieu et en haut de toposéquence (comme en P7) que l'on peut attendre d'elles une incidence bénéfique sur la production. Dans tous les cas les techniques d'économie de l'eau assurent une meilleure stabilité du rendement.

Conclusion Générale

Les études antérieures de l'équipe "économie de l'eau en cultures pluviales" ont montré que les techniques d'économie de l'eau peuvent garantir un niveau acceptable de production dans les régions à déficit hydrique fréquents. C'est pourquoi cette équipe a entrepris pendant la campagne 1988 de tester en milieu paysan certains traitements (labour à plat, labour + billonnage cloisonné).

Les éléments d'appréciation, obtenus au cours de cette étude, de l'action des techniques d'économie de l'eau sur le bilan hydrique, à savoir :

- action directe sur le terme ruissellement
- augmentation de la teneur en eau du sol par une meilleure infiltration
- meilleure utilisation de l'eau par la culture, grâce à un enracinement plus performant,

peuvent conforter l'équipe dans son action en milieu réel.

L'obstacle à la vulgarisation de ces techniques sera d'abord le problème de matériels adéquats et accessibles aux masses laborieuses.

La simulation du bilan hydrique est une estimation de la probabilité d'évolution de la situation hydrique de la culture. Appliquée à la parcelle elle se heurte à la,

- méconnaissance de la dynamique réelle de l'eau du sol
- méconnaissance du développement physiologique (actuel) de la culture.

La méthode du bilan hydrique in situ estime de façon plus réelle l'alimentation hydrique des cultures.

Les résultats de la présente étude sont encourageants quant à la validité de la méthode neutronique et tensiométrique comme moyen d'investigation de la dynamique de l'eau du sol dans nos conditions.

La physique nucléaire peut être d'un grand apport à la recherche fondamentale au Burkina. Elle peut également fournir des informations précieuses en vue de rationaliser des systèmes de production comme dans les plantations de canne à sucre de la SO.SU.CO. où la sonde à neutrons est utilisée pour l'irrigation.

- . La contrainte majeure de cette méthodologie réside dans les problèmes d'étalonnage de l'humidimètre à neutrons. Surtout en l'absence de gamma-densimètre permettant de déterminer la densité apparente sèche des éléments constitutifs du sol sur la verticale de mesure.

BIBLIOGRAPHIE

Baldy CH. 1978

Utilisation d'une relation simple entre le bac classe 0 et la formule de Penman pour l'estimation de l'ETP en zone soudano-sahélienne. Ann. Agron. 1978, 29/5 P. 439-452

Baldy CH, Ouédraogo J.P. 1976

Etude agrométéorologique de la région de Bobo. Nov. 1976

Charoy J., Forest F., Legoupil J.C. 1978

L'eau-le sol-la plante. Publication CIEH Fév. 1983 réédition.

Charoy J., Dancette C., Duc T.M., Forest F., Freteaud J.P., Ibernou J., Legoupil J.C. et Lidon B. 1984

Etablissement et diffusion de recommandations agricoles à partir d'un suivi agroclimatique. 1984

Chapart J.C. 1980

Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide-mil-sorgho-riz pluvial) Thèse de docteur Ingénieur Juin 1980

Couchat Ph. 1983

Les applications de la méthode neutronique dans la recherche agronomique. Colloque international IAEA-3M-267/42 Av. 1983.

Collas Ph., Normand M. 1984

Résultats comparatifs obtenus avec plusieurs humidimètres à neutrons dans diverses conditions de sol : Bulletin du G.F.H.N. n.15 Juin 1984 P 35-56

C.T.F.T. 1979

Conservation des sols au sud du SAHARA 1979 2^{ème}
édition

Dancette C. 1984

Les contrariétés pédoclimatiques et adaptation de
l'agriculture à la sécheresse en zone intertropicale.
La sécheresse en zone intertropicale, pour une lutte
intégrée colloque "Résistance à la sécheresse en milieu
intertropical : quelles recherches pour le moyen terme"
tenu à Dakar du 24-27/9/84 1985 P. 27-36

Daudet F.A et Vachaud G. 1977

La mesure neutronique du stock d'eau du sol et de ses
variations. Application à la détermination du bilan
hydrique.
Ann. Agro 1977, 25 (3) P. 503-519

Eldin M. 1985

Caractérisation de la sécheresse. La sécheresse en zone
intertropicale pour une lutte intégrée. 1985 F. 13-20

Forest F. 1984

Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales.
Présentation et utilisation du logiciel BIP 1984

François AFFHOLDER 1986

Suivi multilocal de l'enracinement du sorgho au Mali.
Conséquences sur la réserve utile racinaire. DEA/ENSAO
Oct. 1986

Millet D. 1984

L'eau et le sol : Principes et processus physiques
Vander édition 1984

IRAT/CIEH 1982

Valorisation agricole des ressources pluviométriques.
Synthèse de l'atelier IRAT-CIEH tenu à Ouagadougou du
27-11-82 au 4-12-82 1982

IRAT/CIRAD 1984

Fiches descriptives des variétés de sorgho créées par
l'IRAT. 1984

Jenny H. 1984

Etude agropédologiques des stations de Saria et de
Farako-bâ 1984 doc. IRAT

Luc J.P. 1978

Caractérisation hydrique des sols, utilisation des
mesures d'humidité et de charge in situ, comparaison
avec les mesures de laboratoire. Thèse de docteur de
spécialité en agronomie option pédologie académie de
Montpellier 1978

Le Corvec D. et Guideau P. 1984

Simulation du bilan hydrique d'un sol en culture
pluviale. CIEH 2ème édition Juil. 1984.

Mery J., Moutonnet P., Vernet F. 1984

Economie de l'eau d'une culture de soja (Glycine Max.
Merryl) en irrigation localisée. Bulletin du G.F.H.V.
Nov. 1984 n.14

Moutonnet P., Perrochet P., Couchat Ph. 1983

Variabilité spatiale des caractéristiques neutroniques d'un sol : incidence sur la détermination des courbes d'étalonnage des humidimètres à neutrons. Colloque international IAEA-SM-267/28 Av. 1983

Nicou R., Quattara B., Somé L., 1984

Techniques d'économie de l'eau. Rapport analytique des campagnes 1982-1983 et 1983-84 Juin 1984

Quattara B. 1984

Action des techniques de travail du sol sur le bilan hydrique et les rendements d'une culture de sorgho en fonction du type de sol. Mémoire de fin d'études ISP/Université de Ouagadougou Juin 1984

Rambal S., Berger A. et Parisot J.M. 1983

Evapotranspiration réelle, extraction racinaires. Régime hydrique et production de cultures de luzerne. Colloque international IAEA-SM-267/24 Av. 1983

Roose E. 1981

Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et documents de l'ORSTOM n. 130 1981

Ruelle P., Aouina M.S., Vauclin M., Vachaud G. 1983

Bilan hydrique sous cultures par mesures tensiométriques, neutroniques et gravimétriques Av. 1983

Sicot A.M. 1983

Variabilité de la teneur en eau et de la réserve hydrique du sol en milieu sahélien, dispersion spatiale et rationalisation du réseau de mesure. Bulletin du G.F.H.N. Nov. 1983 n. 14 P. 73-115

Somé L. 1985

Bilan hydrique d'une culture de cotonnier sous deux régimes d'irrigation. Mémoire de DEA de sciences agronomiques coton phytotechnie Oct. 1985

Vachaud G., Dancette C., Senko M., Thony J.L. 1977

Méthode de caractérisation hydrodynamique "in situ" d'un sol non saturé. Sept 1977

Liste des figures

- Fig. 1 Pluviométrie annuelle de Saria (1929-1988)
- Fig. 2 Schéma du bilan hydrique sous culture
- Fig. 3 Un tensiomètre
- Fig. 4 Profils de charge et détermination du sens de l'écoulement
- Fig. 5 Diagramme des précipitations mensuelles de Saria, 1988
- Fig. 6 Histogramme de la croissance du sorgho IRAT 204
- Fig. 7 Courbes d'évolution des coefficients de ruissellement annuels et des I moyens annuels.
- Fig. 8, 9, 10 courbes d'évolution des coefficients de ruissellement annuels aux différentes phases
- Fig. 11 Histogrammes cumulés des coefficients de ruissellement
- Fig. 12 Courbes de variations interannuelles des quantités de terre érodée
- Fig. 13 Variations interannuelles du ruissellement par traitement et des I₃₀ moyens
- Fig. 14, 15, 16 Variations interannuelles de la quantité de terre érodée par phase
- Fig. 17 Histogrammes cumulés des quantités de terre érodée
- Fig. 18,19 Evolution des profils hydriques
- Fig. 20,21,22,23 Evolution des profils de charges hydrauliques
- Fig. 24,25 Evolution des gradients de charges hydrauliques.
- Fig. 26 Histogramme de la croissance du sorgho 204 en P7
- Fig. 27 Histogramme de la croissance du sorgho E35-1 en P15
- Fig. 28, 29, 30, 31 Profils d'enracinement du sorgho E35-1 selon les traitements
- Fig. 32, 33, 34 Fiches de notation de l'enracinement
- Fig. 34 Histogramme du cumule du nombre de racines par tranche de sol et par traitement.

Liste des tableaux

- Tableau 1 Analyse fréquentielle des pluies de Saria sur 21 ans, de 1968 à 1988
- Tableau 2 Pluviométrie décadaire et fréquence des pluies de Saria, 1988
- Tableau 3 Dates d'épiaison du sorgho IRAT 204
- Tableau 4 Rendement et composantes du rendement, sorgho IRAT 204
- Tableau 5 Coefficients culturaux du sorgho IRAT 204
- Tableau 6 K'c sorgho IRAT 204 et sorgho CE 67
- Tableau 7 Coefficients culturaux de quelques variétés de sorgho
- Tableau 8 Ruissellement à la parcelle sous culture de sorgho
- Tableau 9 Quantité de terre érodée en T/ha
- Tableau 10, 11 Variation de stock et ETR journalière du sorgho E35-1
- Tableau 12, 13, 14 Bilan hydrique par simulation
- Tableau 15 Dates des différentes phases d'épiaison du sorgho IRAT 204, en P7
- Tableau 16 Dates des différentes phases d'épiaison du sorgho E35-1 en P15
- Tableau 17 Caractéristiques des rendements du sorgho IRAT 204 en P7
- Tableau 18 Caractéristiques des rendements du sorgho E35-1 en P15

A N N E X E

Annexe 2

Totaux Terres arables 82-88 t/ha

Periode	pluie	W	T	LS	BC	Culture
82/83	F		F	F	F	sorgho S6
	T	0,4161	S 0,5578	S 0,6301	T 0,2978	
83/84	F	1,06	F 1,09	F 0,87	F 0,45	sorgho S10
	S	23,19	S 17,36	S 19,45	S 14,55	
	T	24,25	T 18,45	T 20,32	T 15	
84/85	F	0,84	F 1,17	F 1,42	F 0,90	sorgho S10
	S	8,47	S 6,09	S 4,84	S 2,63	
	T	9,31	T 7,6	T 6,26	T 3,53	
85/86	F		F	F	F	sorgho E35-1
	S		S	S	S	
	T	11,8	T 15,6	T 7,0	T 4,2	
86/87	F	1,24	F 0,93	F 0,56	F 1,45	sorgho IRAT 277
	S	22,27	S 18,70	S 20,22	S 9,70	
	T	23,51	T 19,63	T 20,78	T 11,15	
88/89	F	0,39	F 1,39	F 0,97	F 1,02	sorgho IRAT 204
	S	15,07	S 11,81	S 12,55	S 1,98	
	T	18,46	T 13,13	T 13,92	T 3,00	
TOTALUX	F		F	F	F	
	S	103,03	T 92,09	T 80,98	T 39,25	
Moyenne	F		F	F	F	
	S	14,72	T 13,15	T 11,57	T 5,61	

Annexe 3.

Bilan hydrique in situ (1987), culture : sorgho E35-1,
traitement : témoin irrigué

Période	P + I mm	Tube 1			Tube 2			Moyenne	
		ΔS mm	ETR mm	etr mm/j	ΔS mm	ETR mm	etr mm/j	ETR mm	etr mm/j
14/7-20/7	9	-5,41	14,41	2,0	+1,36	7,64	0,8	11,0	1,5
20/7-25/7	19	-5,71	7,71	1,3	-1,52	3,52	0,4	5,6	0,9
25/7-30/7	40,5	+7,7	32,8	5,4	-1,24	41,74	6,9	37,2	6,2
30/7-8/8	98	+1	96,93	9,6	+51,37	46,63	4,6	71,7	7,1
8/8-18/8	86,7	-8,48	95,18	8,6	+7,66	79,04	7,1	87,1	7,9
18/8-22/8	0	+11	-	-	-19,91	19,91	4,0	19,9	4,0
22/8-28/8	36,5	-3,6	40,1	5,7	-4,11	40,61	5,8	40,3	5,7
28/8-3/9	18,5	+6,91	11,59	1,6	+9,44	9,06	1,3	10,3	1,4
3/9-8/9	4,5	-18,04	22,54	3,7	-23,82	28,32	4,7	25,4	4,2
8/9-10/9									
10/9-17/9	31,7	-2,58	34,28	3,1	+1,59	30,1	2,7	32,2	2,9
17/9-25/9	55	-19,14	74,14	8,2	-19,14	74,14	8,2	74,1	8,2
25/9-1/10	20	+11	9	1,3	-3,0	23	3,2	16	2,2
1/10-8/10	14,50	+10,50	4,0	0,5	+5,72	8,78	1,1	6,4	0,8
8/10-15/12	3,5	-12,64	16,14	2,0	-9,81	13,31	1,6	14,7	1,0
15/10-3/11	0	+5,2	-	-	-12,64	12,64	0,6	12,6	0,6
								total	moyenne
								464	3,7

Annexe 4.

Bilan hydrique in situ (1987), culture sorgho E35-1,
traitement : labour à plat

Période	P + I mm	Tube 10			Tube 11			Moyenne	
		ΔS mm	ETR mm	etr mm/j	ΔS mm	ETR mm	etr mm/j	ETR mm	etr mm/j
14/7-20/7	9	+22,7	-	-	+30,69	-	-	-	-
20/7-25/7	19	+11,94	30,94	5,1	-13,5	32,5	5,4	31,7	5,2
25/7-30/7	24,5	+8,87	33,7	5,5	-20	44,3	7,4	38,9	6,4
30/7-8/8	98	+34,7	63,3	6,3	+46,66	51,34	5,1	57,3	5,7
8/8-18/8	86,7	-12,11	98,81	8,9	+56,19	30,51	2,7	64,6	5,8
18/8-22/8	36	+13,39	54,4	4,5	-19,04	55,5	4,6	54,9	4,5
22/8-28/8									
28/8-3/9	18,5	+4,86	13,64	1,9	+7,27	14,23	2,0	13,9	2,0
3/9-8/9	4,5	-11,51	16,01	2,6	-40,81	45,31	7,5	30,6	5,1
8/9-10/9									
10/9-17/9	10,7	-9,47	20,17	1,8	+10,84	21,54	1,9	20,8	1,9
17/9-25/9	55	-20,3	75,3	8,3	-17,57	72,57	8,0	73,9	8,2
25/9-1/10	20	+16,93	3,07	0,4	+15,52	4,48	0,6	3,7	0,5
1/10-8/10	14,50	+ 8,72	5,72	0,7	+ 1,91	12,59	1,5	9,1	1,1
8/10-15/12	3,5	- 8,12	12,22	1,5	+ 2,64	0,86	0,1	6,5	0,8
15/10-3/11	0	-82,14	82,14	4,1	-34,34	34,34	2,9	58,2	2,9
								TOTAL	Moyenne
								475	3,8

Annexe 5.

Bilan hydrique in situ (1987), culture : sorgho E35-1,
traitement : labour à plat irrigué

Période	P + I mm	Tube 1			Tube 2			Moyenne	
		ΔS mm	ETR mm	etr mm/j	ΔS mm	ETR mm	etr mm/j	ETR mm	etr mm/j
14/7-20/7	9	-10,67	19,67	2,1	- 5,29	14,29	2,0	17,0	2,4
20/7-25/7	19	+ 0,72	1,28	0,2	+ 5,82	13,18	2,2	7,2	1,2
25/7-30/7	38,5	-15,29	53,79	8,9	+ 2,7	21,8	3,6	37,8	6,3
30/7-8/8	98	-27,22	70,78	7,0	+12,61	85,39	8,5	78,0	7,8
8/8-18/8	86,7	-15,35	102,05	9,2	- 0,39	87,09	7,9	94,5	8,5
18/8-22/8	0	- 4,05	4,05	0,8	-24,71	24,71	4,9	14,4	2,8
22/8-28/8	36,5	- 7,26	43,76	6,2	- 4,25	32,25	4,6	38,0	5,4
28/8-3/9	18,5	+18,84	-	-	- 9,28	27,77	3,9	27,7	3,9
3/9-8/9	4,5	-27,11	31,61	5,2	-26,22	30,72	5,1	31,1	5,1
8/9-10/9									
10/9-17/9	31,7	+ 2,37	34,07	3,0	-16,69	48,39	4,39	41,2	3,7
17/9-25/9	55	- 2,04	57,04	6,3	-26,26	81,26	9,0	69,1	7,6
25/9-1/10	20	-29	49	7,0	- 4,55	24,55	3,5	36,7	5,2
1/10-8/10	14,5	+28,67	-	-	+11,24	3,24	0,4	3,24	0,4
8/10-15/12	3,5	-14,38	17,88	2,2	-47,4	50,9	6,3	34,4	4,3
15/10-3/11	0	-27,04	27,04	1,3	47,88	47,88	2,3	37,4	1,8
								TOTAL	Moyenne
								567	4,4

Annexe 6.

(suite)

ANALYSE TEXTURALE PIS SARRA DU 29/01/87

D'après laboratoire ESPINA physique des sols de Farako-bé

N. de sondage	4		4		6		6		6		7		7		7		8		8		8		9		9		9	
	40-60	40-60	40-60	60-100	60-100	60-100	60-100	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120	120-140	120-140	120-140	120-140	120-140	120-140	140-160	140-160	140-160	140-160	140-160	140-160	140-160	140-160
Profondeur	30	50	50	80	80	80	80	110	110	110	110	110	110	130	130	130	130	130	130	150	150	150	150	150	150	150	150	150
X Sable	52	52	49	49	49	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
X Limon	17	12	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
X Argille	36	36	43	43	43	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Classe	AS	AS	LAS	LAS	LAS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	LAS								
Dens. app.	1,66	1,69	1,71	1,50	1,69	1,57	1,59	1,65	1,66	1,66	1,66	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
H.P. à 1,5	20,7	20,5	19,2	22,6	19,8	19,4	21,3	19,1	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
H.V. à 1,5	34,4	34,7	32,7	33,9	33,4	30,5	33,8	31,4	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7
H.P. à 2,0	17,9	18,1	17,5	19,1	17,5	14,2	17,7	16,3	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
H.V. à 2,0	29,7	30,5	29,9	28,7	29,6	25,5	28,1	26,9	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4
H.P. à 2,5	15,7	16,0	15,2	16,1	15,7	13,5	14,5	14,0	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
H.V. à 2,5	26,0	27,1	25,9	24,2	26,4	21,3	23,0	23,0	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9
H.P. à 4,2	11,0	12,1	12,9	12,7	12,7	11,4	9,8	11,1	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
H.V. à 4,2	18,3	20,4	21,8	19,1	21,4	17,9	15,5	18,3	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
R.U. à 1,5	161	143	189	148	120	126	183	131	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	105	105	105	105	105	105	105	105	105
R.U. à 2,0	114	101	81	95	82	76	126	86	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	62	62	62	62	62	62	62	62	62
R.U. à 2,5	77	67	41	51	50	34	75	47	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

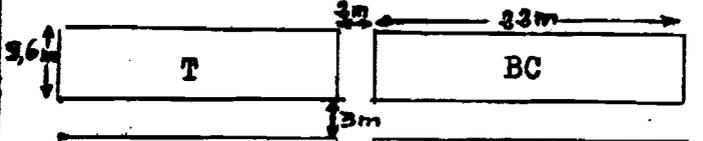
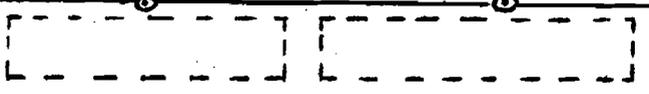
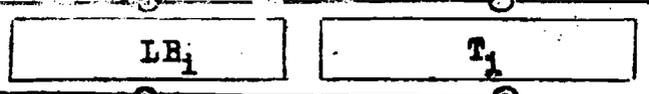
LAS = limon argilo-sableux

Annexe 7.

Fiche analytique du profil de P7 (Rosse 1984)

Horizons	gris		beige		brun-jaune		gravill. gris		gravill rouge		argile		bariolée			
	mini (cm)	0	20	35	55	100	110	150	175	200	225	250	300	350	400	450
	maxi (cm)	15	35	55	100	150	200	250	300	350	400	450				
Argile %		12,9	30,1	33,9	23,9	16,0	18,7	30,6	30,7	45,6						
Limon fin %		5,3	6,6	6,1	7,9	8,4	9,2	10,8	12,1	14,8						
Limon grossier %		20,2	17,8	19,4	9,9	11,2	10,0	12,2	12,2	10,1						
Sable fin %		21,7	17,0	14,1	12,9	11,8	13,6	11,4	12,6	9,2						
Sable grossier %		40,6	28,3	25,6	12,6	31,5	45,7	34,5	32,0	19,4						
Refus %		4,0	6,0	9,0	59	39	30	20	19	27						
SF/SS %		0,53	0,60	0,55	0,30	0,23	0,34	0,33	0,39	0,47						
PF - 2		18,2	24,8													
PF - 2,5		12,5	17,1													
PF - 3		-														
PF - 4,2		4,2	9,4	10,0	9,9	10,4	12,6	12,7	13,9	14,2						
Instabilité Struc.(%)		2,3	1,8	-	-	-	-	-	-	-						
Indice perméabilité																
K (cm/h)		3,5	5,2	6,2	4,9	4,4	3,3	2,9	2,1	1,9						
Densité apparente		1,71	1,60	1,75	2,35	2,30	2,25	1,95	1,75	1,80						
Densité réelle		2,66	2,63	2,70	2,75	2,79	2,74	2,73	2,75	2,70						

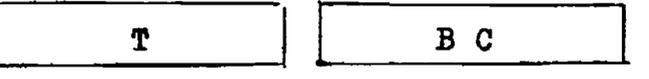
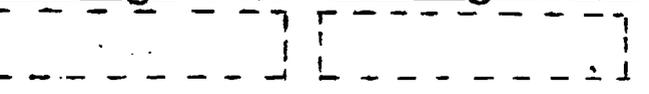
B I



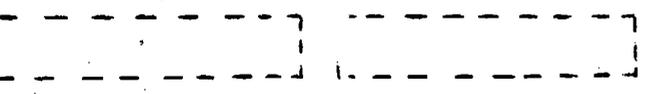
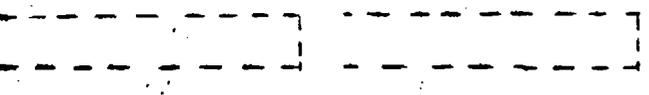
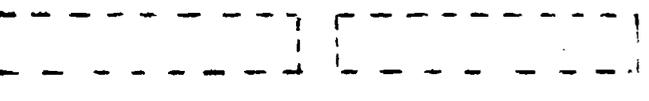
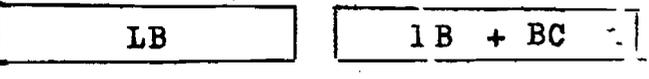
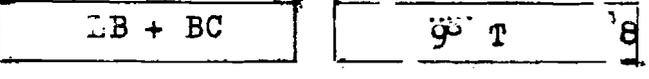
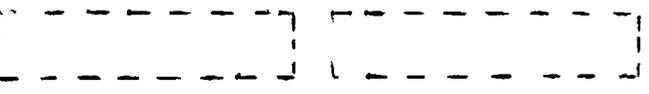
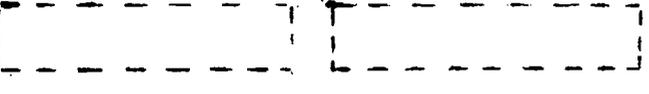
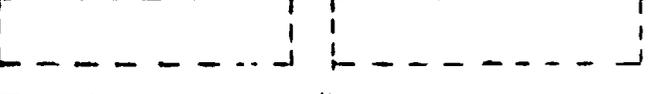
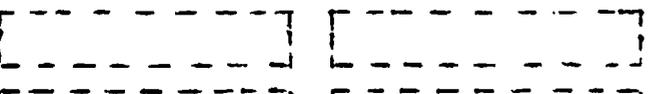
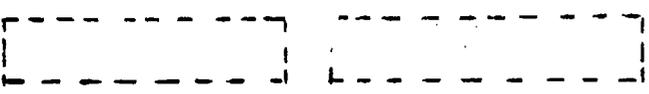
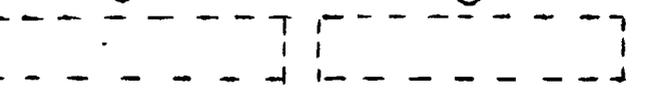
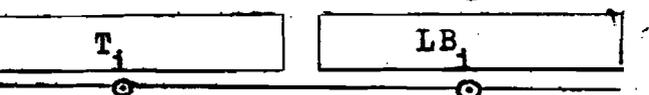
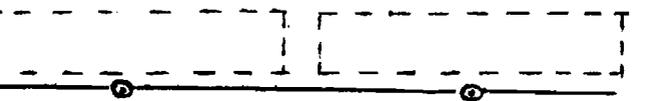
B II



B III



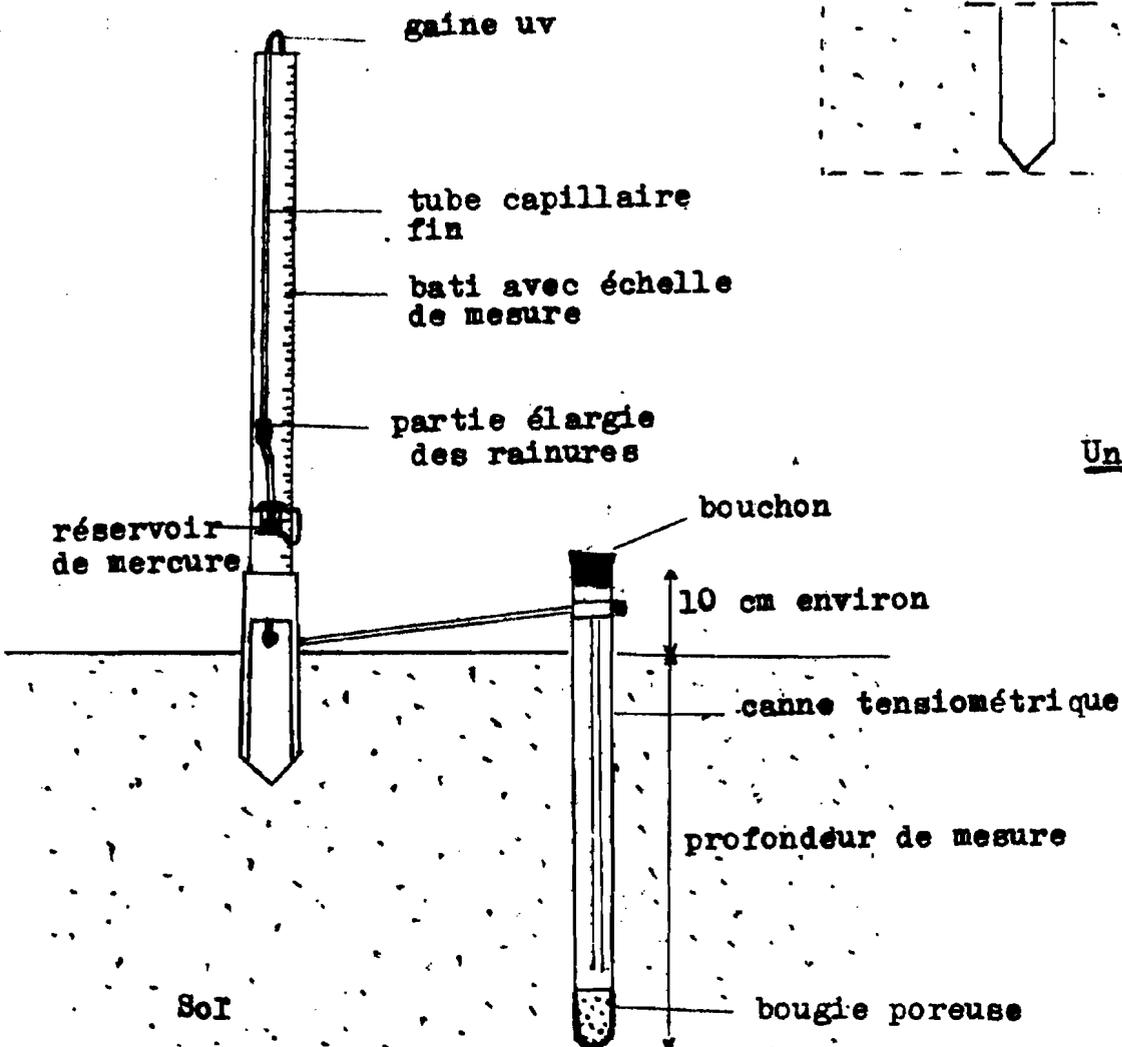
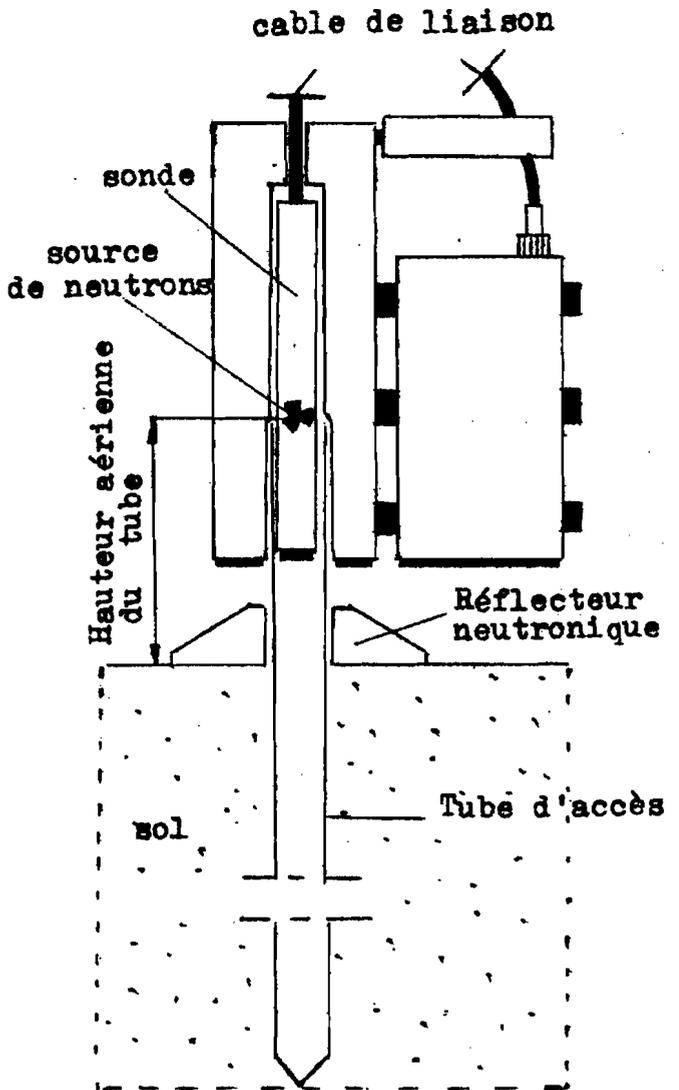
B IV



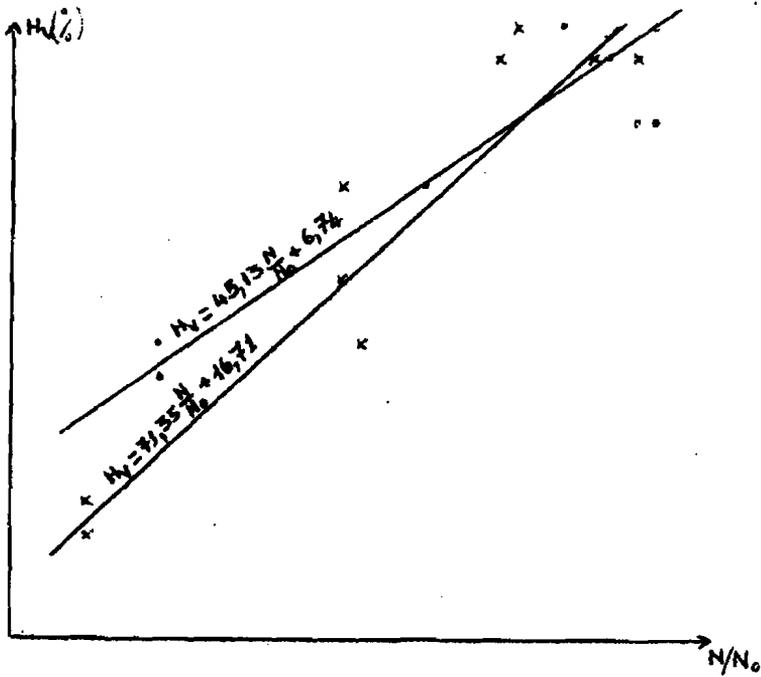
- ↑ p. 2
- parcelle de remplissage
- parcelle d'étude
- réseau d'irrigation + sprinklers
- tube d'accès pour humidimètre
- tensiomètres

Dispositif instrumenté en P15

Humidimètre à neutrons



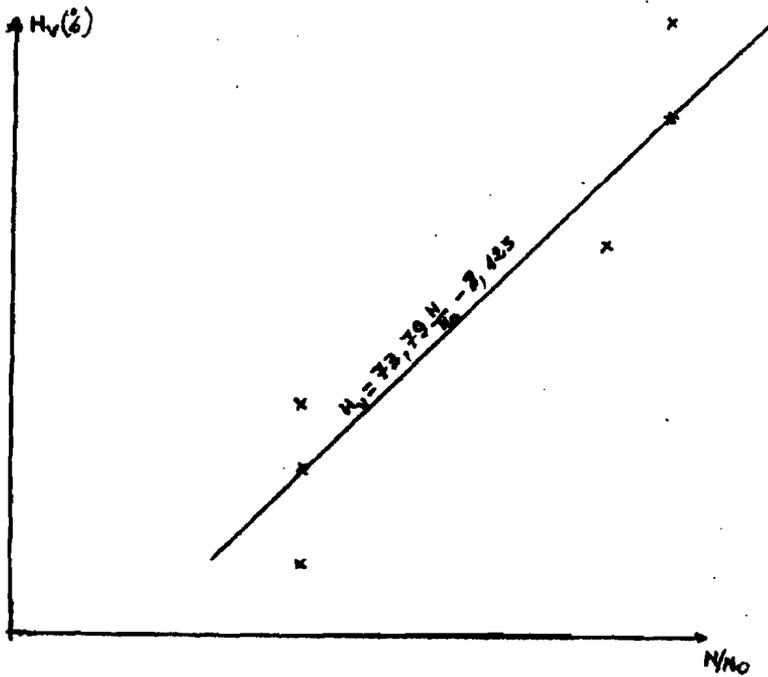
Un Tensiomètre



tube 3

\times Surface (0-20cm)

\bullet Profondeur (20-200cm)



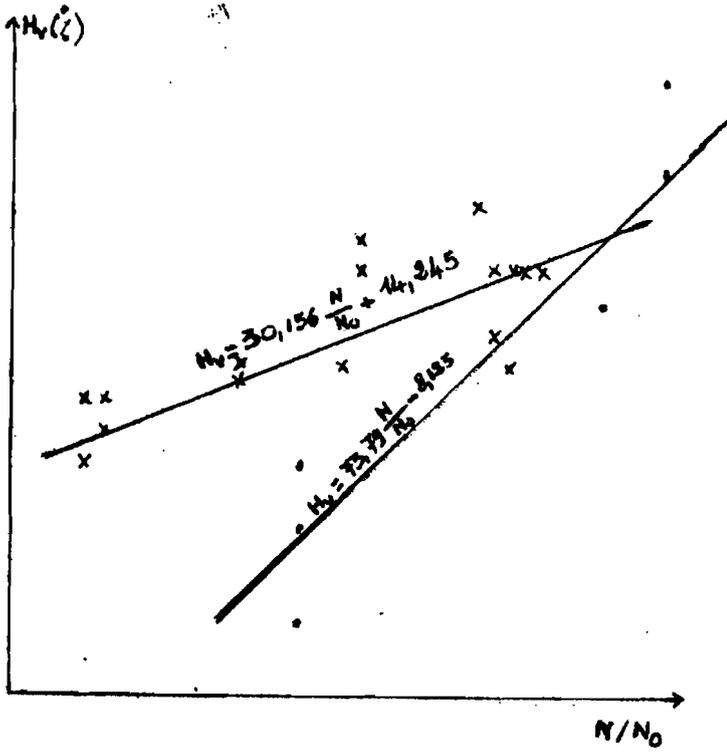
tube 2

\times Surface (0-20cm)

\bullet Profondeur (20-200cm)

Étalonnage de la sonde solo 35 en P₁₅

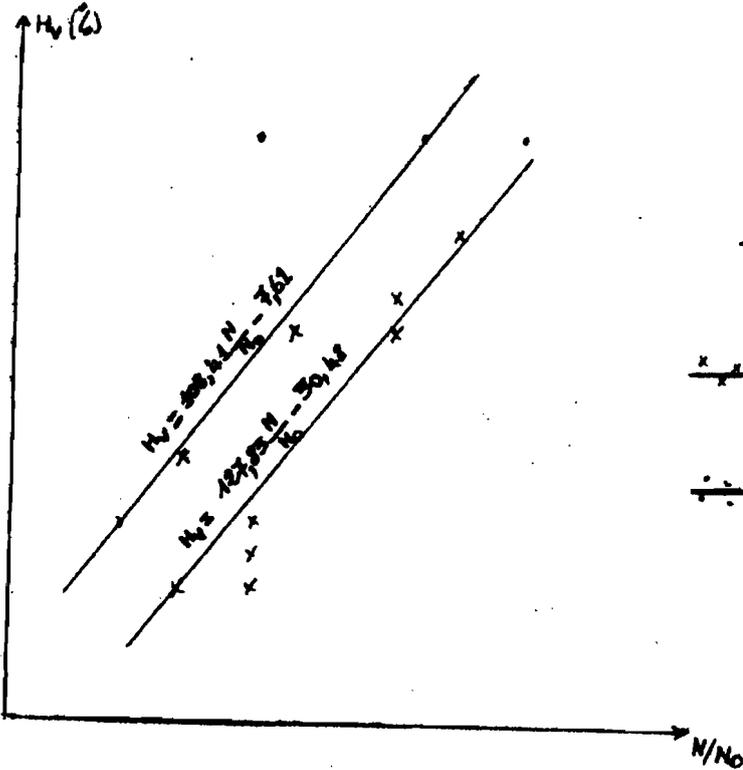
Annexe 11



tube 1

\times Profondeur (20-200 cm)

\circ Surface (0-20 cm)



tube 4

\times Profondeur (20-200 cm)

\circ Surface (0-20 cm)

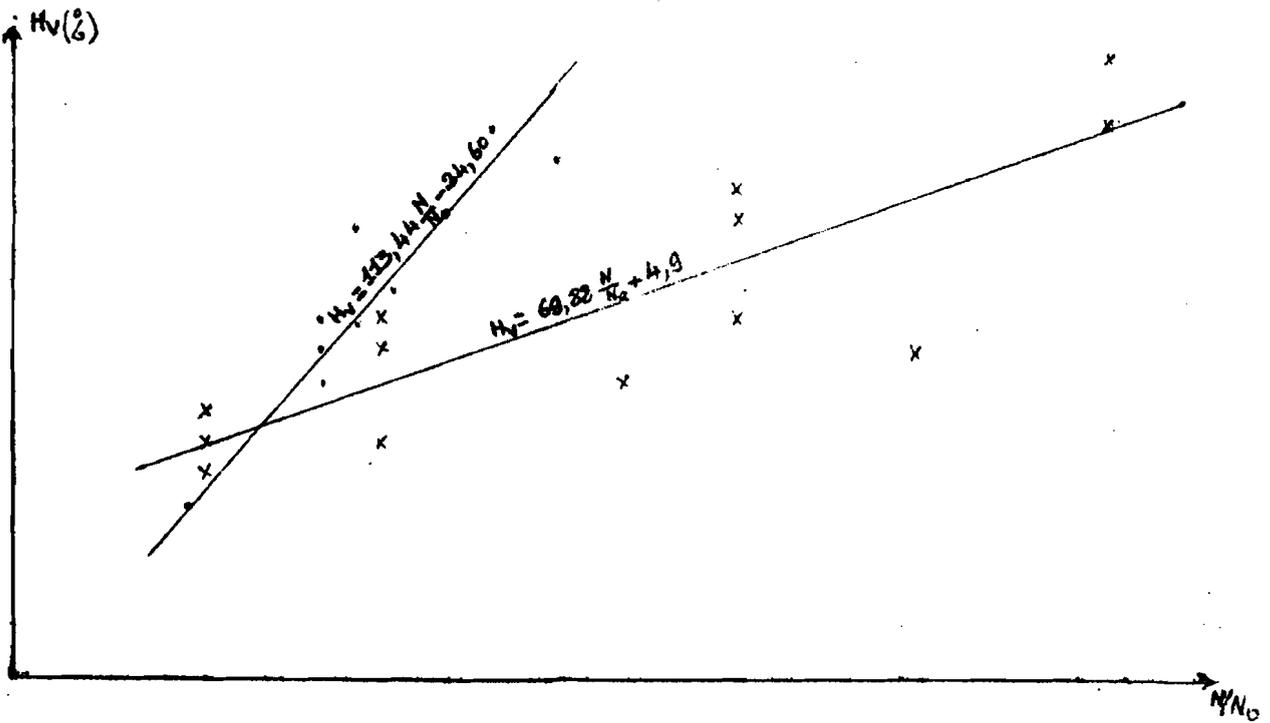
etalonnage de la sonde solo 35 en P₁₅

tube 10

Annexe 12

$\frac{\bullet}{\bullet}$ Profondeur (40-200cm)

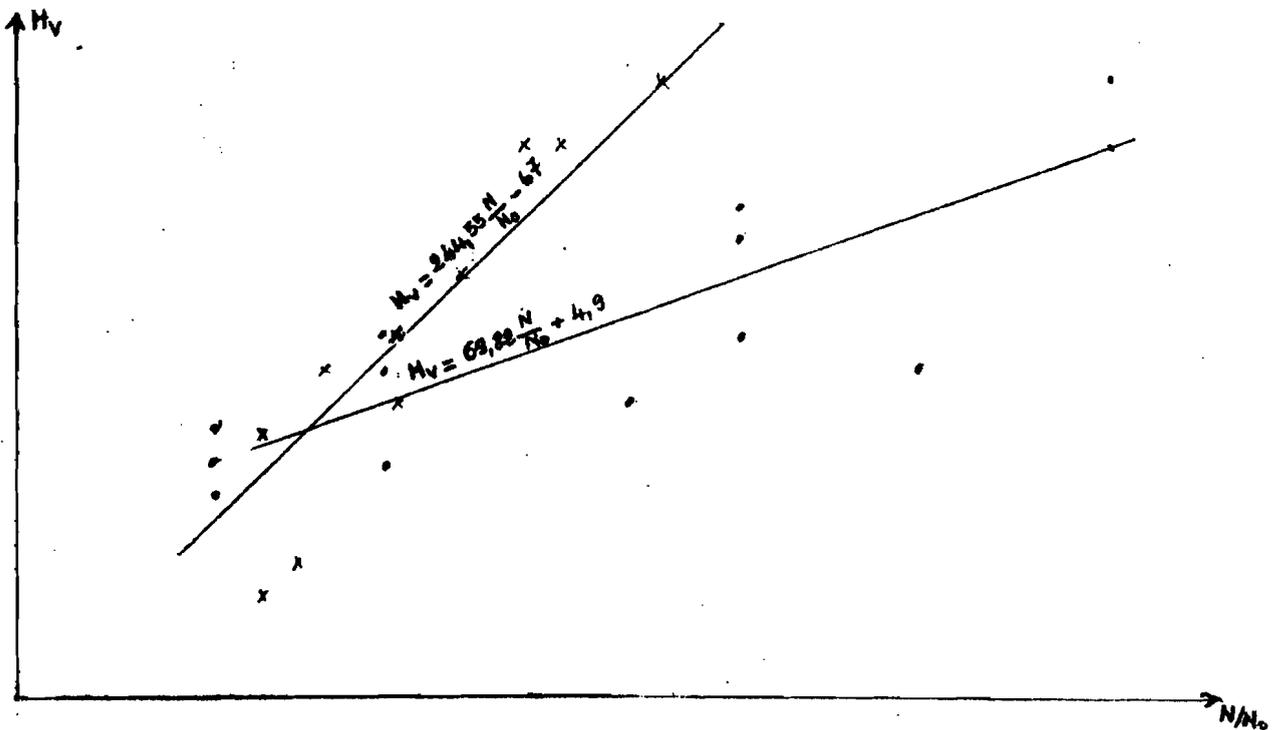
$\frac{x}{x}$ Surface (0-40cm)



tube 11

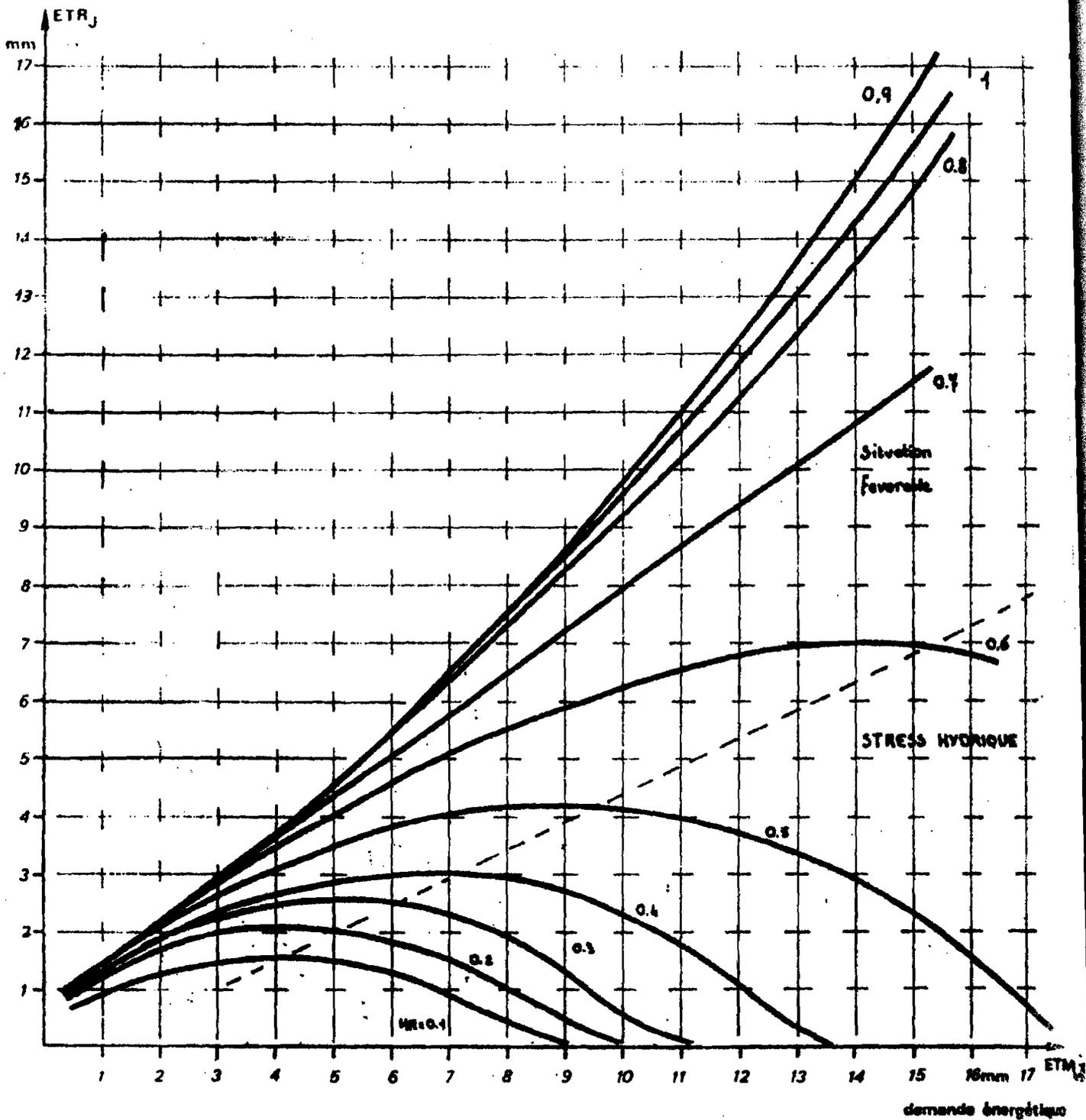
$\frac{\bullet}{\bullet}$ Surface (0-40cm)

$\frac{x}{x}$ Profondeur (40-200cm)



etalonnage de la sonde solo 25 en Pis

Relation entre l'évapotranspiration réelle journalière ETR_J et la demande ETM_J en fonction de l'humidité disponible



Fonction d' EAGLEMANN

$$ETR_J = 0.732 - 0.050 ETM_J + \left[4.97 ETM_J - 0.661 ETM_J^2 \right] HR - \left[8.57 ETM_J - 1.56 ETM_J^2 \right] HR^2 + \left[4.35 ETM_J - 0.880 ETM_J^2 \right] HR^3$$

demande énergétique