

# Tunisie

## Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées

1962-1969

Rapport technique

Programme des Nations Unies  
pour le développement  
Elément Fonds spécial

Organisation des Nations Unies  
pour l'éducation, la science  
et la culture

T U N I S I E

RECHERCHE ET FORMATION EN MATIERE  
D'IRRIGATION AVEC DES EAUX SALEES

1962 - 1969

RAPPORT TECHNIQUE

Tech.Rpt./Unesco/UNDP(SF)  
TUN.5  
(Publié également en  
anglais)

Paris  
août 1970

## S O M M A I R E

	Pages
AVANT - PROPOS	I
Liste des abréviations	II
Bibliographie	III
"	IV
INTRODUCTION	1
A. LE PROJET	1
1. Importance de l'eau saumâtre dans l'agriculture tunisienne	1
a. L'agriculture dans l'économie nationale	1
b. Les périmètres irrigués et les eaux d'irrigation	2
2. Le centre de recherches sur l'utilisation de l'eau salée en irrigation	3
a. Objectifs	3
b. Méthodes et moyens	4
3. Déroulement des opérations	5
B. AGENCEMENT DU RAPPORT	6
I. MOYENS ET METHODES DE TRAVAIL	7
A. LES STATIONS	9
1. Choix des stations	9
2. Monographie des stations	11
a. Conditions naturelles	11
(1) Sols	11
(2) Eaux	14
(3) Climats	15
b. Equipement	15
B. ESSAIS ET ETUDES	17
1. Présentation d'ensemble	17
2. Terminologie et commentaires techniques	18
3. Essais "dose et fréquence"	22
a. Principe de ces essais	22
b. Conduite de ces essais	23
(1) Principe de la méthode d'essai	24
(2) Pratique de la méthode d'essai	24
C. METHODES DE TRAVAIL	25
1. Méthodes statistiques	25
a. Plan d'essai	25
b. Traitements	26
c. Nombre de répétitions	26
d. Analyse statistique	27

	Pages
2. Méthodes et techniques de prélèvement et d'analyse	28
a. Prélèvement	28
b. Analyses	28
II. LES RECHERCHES ET LEURS RESULTATS	29
A. MAITRISE DE LA SALINITE ET DE L'ALCALISATION DES SOLS	31
1. Salinité	33
a. Influence de différents facteurs	33
(1) Qualité de l'eau	33
(2) Dose et fréquence	37
(3) Mode d'apport	45
b. Exemples d'évolution de la salinité	52
(1) Cas d'un sol surirrigué	52
(2) Lessivage des sols très salés	59
c. Efficacité du lessivage	66
(1) Description de la méthode utilisée	66
(2) Tozeur	67
(3) Cherfech	69
2. Alcalisation	71
a. Influence des facteurs	71
(1) Qualité d'eau	71
(2) Dose et fréquence	73
b. Désalcalisation d'un sol	74
c. Relation entre alcalisation et salinité	75
B. REACTION DES CULTURES	77
1. Effets de la salure	79
a. Effets de la salure sur la production	79
(1) But de l'étude	79
(2) Conduite de l'étude	80
(3) Résultats	81
b. Etudes et observations de points spécifiques	86
(1) Germination et levée	86
(2) Sulfato-réduction rhizosphérique et Sulfato-réduction spermosphérique	87
(3) Composition minérale de quelques végétaux	91
2. Mesure de la consommation d'eau	94
a. Méthode du bilan hydrique	94
(1) Terrain à drainage naturel	95
(2) Terrain à drainage artificiel	99
(3) Conclusion	103
b. Méthode du bilan d'énergie	104
(1) Description	104
(2) Mesure du rayonnement net	106
(3) Mesure de la résistance des stomates	106
(4) Etude des différences entre les consommations en lysimètre et au champ dans le cas des tomates	108
(5) Conclusion	110

	Pages
3. Apport d'eau et production	111
a. Généralités	111
b. Etude par culture	112
(1) Phénologie de la plante	
(2) Réaction à l'irrigation	
(3) Modèle d'irrigation	
Cultures étudiées :	
- fourragères (luzerne, sorgho fourrager, maïs, ray-grass, bersim, orge en vert)	
- légumières (tomates d'été, fèves, asperges de primeur)	
- palmier dattier	
c. Observations	146
d. Conclusions	147
C. AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DU TERRAIN	153
1. Irrigation	153
a. Irrigation de surface	154
(1) Sols sableux	154
(2) Sols argilo-limoneux	166
b. Aspersions	169
(1) But et intérêt	169
(2) Restrictions imposées par les conditions météorologiques	170
(3) Débit à utiliser	171
(4) Effets	171
2. Drainage	172
a. But	172
b. Calcul de l'espacement des drains	173
c. Drainage à Cherfech et à Tozeur	176
(1) Cherfech	176
(2) Tozeur	178
III. REVUE DES RESULTATS ET SYNTHESE GENERALE	181
A. REVUE DES RESULTATS	184
1. Maîtrise de la salinité et de l'alcalisation	184
2. Réaction des cultures	185
3. Aménagement hydraulique du terrain	187
B. SYNTHESE GENERALE	188
C. RECOMMANDATIONS	191
1. Eléments à retenir pour la Tunisie	191
a. Recherches	191
b. Etudes économiques	192
c. Formation et information	192
2. Enseignements au niveau international	192
a. Aspect scientifique	192
b. Aspect méthodologique	193

## A V A N T - P R O P O S

Le Gouvernement tunisien, pour résoudre les problèmes de mise en valeur agricole rendus difficiles par l'existence d'eaux saumâtres dans une grande partie du pays, a créé en 1962, avec l'assistance du Fonds Spécial des Nations Unies et de l'UNESCO, un Centre de Recherches sur l'Utilisation des Eaux Salées en Irrigation (CRUESI).

Les résultats des travaux accomplis par le Centre ont été présentés à un Séminaire organisé à l'initiative du Gouvernement tunisien pour informer les responsables de ses services agricoles et discuter les conclusions à la lumière de l'expérience acquise par des chercheurs d'origines diverses.

Les séances ont été suivies par plus de 250 spécialistes dont 150 étaient venus de 15 pays ; parmi ces ingénieurs se trouvaient plusieurs Directeurs et codirecteurs de projets de la FAO, et des représentants de grandes organisations de recherches de divers pays européens et méditerranéens ainsi que des Etats-Unis.

Le présent rapport a pour base le document établi en vue de ce Séminaire ; les discussions et observations qui ont lieu à l'occasion de cette réunion ont permis de le compléter. Nous tenons à remercier ici tous les participants qui nous ont éclairés de leurs avis et critiques.

Liste des abréviations

avec mention des unités habituellement utilisées

C	concentration, en g/l ;
C.E.C.	"Cation-Exchange-Capacity" = T (capacité totale d'échange), en milliéquivalents par 100 g de sol sec ;
Cs	concentration de la solution du sol, en g/l ;
D	dose, en mm ;
EC	conductivité électrique, en mmho/cm à 25°C ;
ECe	conductivité électrique de l'extrait de pâte de sol saturé (extrait de saturation), en mmho/cm à 25°C ;
ECs	conductivité électrique de la solution du sol, en mmho/cm à 25°C ;
E.S.P.	"Exchangeable-Sodium-Percentage" = $Na \times 100 / C.E.C.$ ;
Hc	humidité pondérale correspondant à celle de la capacité de rétention, en g/100 g de sol sec ;
Hs	humidité pondérale au champ, en g/100 g de sol sec ;
me/l	milliéquivalent par litre ;
M.V.	matière verte, en T/ha ;
Na/T	rapport entre la quantité de sodium absorbé et la capacité totale d'échange, exprimées en milliéquivalents par 100 g de sol sec. En fait c'est $Na \times 100 / T$ , qui est indiqué ;
P	penne, en ‰ ;
S.A.R.	"Sodium-Absorption-Ratio " = $Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}$ ; $Na^+$ , $Ca^{++}$ et $Mg^{++}$ sont exprimés en milliéquivalents par litre ;
R.S.	résidu sec, en g/l ;
S.P.	humidité pondérale de la pâte de sol saturé, en g/100 g de sol sec ;
U.F.	unité fourragère ;

### Bibliographie

Le but de ce projet était une recherche appliquée dans le cas de la Tunisie et non une étude générale de la salinité et de l'alcalisation : c'est pourquoi la bibliographie ne mentionne par principe que des ouvrages de base dans ce domaine. Une exception a été faite pour quelques publications étrangères très récentes qui viennent appuyer certains résultats ; en outre ont été mentionnées les sources tunisiennes disposant de nombreux documents, qui ont permis de faire le point de la situation, en particulier à la date de création du projet .

- BOWER, C.A. , OGATA G. and J.H. TUCKER 1969 . Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction . Agronomy Journal, Vol 61, Sept.- Oct. 1969 : 783-785
- CHARLOT , G. 1961 . Les méthodes de la chimie analytique Analyse quantitative minérale . Masson et C<sup>ie</sup> Paris.
- DURAND , J.H. 1958. Les sols irrigables. Imp. Albert, Alger
- FAO/UNESCO International sourcebook on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity (sous presse)
- ISRAELSEN , O.W. and W.E. HANSEN 1962 . Irrigation principles and practices. John Wiley and sons, Inc. , New York
- International Commission on irrigation and Drainage Rapport des congrès de 1951 à 1969 . I.C.I.D., New Delhi . Plus particulièrement :
- NIELSEN , D.R. , J.W. BIGGAR and J.M. LUTHIN . Desalinization of soils under controlled unsaturated flow conditions ; Rapport 2-Question 19. 6ème Congrès, 1966.
- KOOPMAN , G.J. , C.H. SWAN and J.H. Van GESSEL. Field investigations of crop water requirements in Syria . Rapport 21-Question 23 . 7ème Congrès 1969
- SOUSA DIAS, M.M. de and A. LONSADA dos SANTOS. Evaluation of water requirements of crops in Portugal. Rapport 42-Question 23. 7ème Congrès, 1969

- JACKSON, M.L. 1958 . Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.Y. - USA
- LUTHIN , J. (editor) 1957 . Drainage of agricultural lands . Amer. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- RODTER, J. 1966 . L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau . Dunod . Paris.
- UNESCO 1957 . Utilisation des eaux salines. Recherches sur la zone aride . IV
- 1961 . Les problèmes de la salinité dans les régions arides . Actes du colloque de Téhéran. Recherches sur la zone aride . XIV .  
Plus particulièrement :
- BOWER. C.A. Prédiction of the effects of irrigation waters on soils.
- KIZILOVA. A.A. Movements of easily soluble salts in solonchak soils under leaching.
- KOVDA . V.A.Principles of the theory and practice of reclamation and utilization of saline soils in the arid zones.
- 1961 . Echanges hydriques des plantes en milieu aride ou semi-aride. Actes du colloque de Madrid Recherches sur la zone aride . XVI .  
Plus particulièrement :
- GARDNER W.R.soil water relations in arid and semi-arid conditions.
- U.S.D.A. 1964 . Salt tolerance' of plants. Agriculture Information Bulletin N° 283
- U.S. Salinity Laboratory 1954 . Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Agriculture Handbook n° 60
- Publications et rapports internes dans différents services en Tunisie :
- Bureau d'Inventaire des Ressources Hydrauliques
  - Institut National de la Recherche Agronomique Tunisienne (antérieurement Service Botanique et Agronomique Tunisienne )
  - Office de la Mise en Valeur de la Basse Vallée de la Medjerdah
  - Service Pédologique et Mission O.R.S.T.O.M.

## I N T R O D U C T I O N

Il convient avant d'examiner les travaux du projet de dégager les raisons qui ont motivé ces recherches.

### A. LE PROJET

#### 1. IMPORTANCE DE L'EAU SAUMATRE DANS L'AGRICULTURE TUNISIENNE

##### a. L'AGRICULTURE DANS L'ECONOMIE NATIONALE .

L'agriculture tient une place de premier ordre dans l'économie de la Tunisie. Elle se place en effet en tête de toutes les branches productrices du point de vue "valeur ajoutée".

Les variations climatiques et leur répercussion sur la production agricole nous conduisent à raisonner "en année moyenne".

La valeur brute totale de l'agriculture pouvait, sous cette réserve être évaluée en 1968 à 134 millions de Dinars provenant par ordre décroissant de l'élevage, de la grande culture, de l'arboriculture, du maraîchage et des forêts, tandis que les achats totaux de l'agriculture se montaient en chiffre rond à 38 millions de Dinars : ainsi la "valeur ajoutée" apparaissait égale à 96 millions de Dinars.

Ce chiffre est à rapprocher de celui fourni par l'estimation récente effectuée par la Direction du Plan pour l'année "réelle" 1968, soit 79 millions de Dinars. La différence de 17 millions, qui apparaît, peut être raisonnablement imputée aux aléas climatiques.

Par rapport à 1962 on enregistre une croissance annuelle de la "valeur ajoutée" de l'ordre de 3 % .

La valeur totale des importations est estimée à 13.860.000 Dinars les céréales se situant en tête des produits importés et représentant 34,6 % de la valeur totale. Le reste est partagé entre le sucre (21,4 %) le lait (15,1 %) et l'huile (28,9 %). Les exportations de produits agricoles s'élèvent à 27.300.000 Dinars et consistent essentiellement en huiles (51,2%) fruits (22 %), vin (14,7 %), animaux (5,5 %), légumes et légumineuses (6,6 %) Le bilan export/import est donc positif à plus de 13 millions de Dinars.

Le Produit Intérieur Brut théorique en année moyenne étant de 570 millions de Dinars, on en déduit que la production agricole totale représente 17 % de ce P.I.B. En regroupant l'agriculture et la branche des industries agricoles et alimentaires, on obtient une valeur ajoutée de plus de 27 millions de Dinars, soit près de 26 % du P.I.B.

## b. LES PERIMETRES IRRIGUES ET LES EAUX D'IRRIGATION

Bien que les superficies irriguées ne soient en 1968 que de 80.000 ha, contre 60.000 en 1962, sur un total de 4.500.000 ha de terres arables, la valeur de leur production peut être estimée à près de 13 millions de Dinars en évaluant à 160 Dinars le produit brut moyen par hectare. Ceci représente environ 11 % de la production agricole totale, correspondant à une productivité moyenne à l'hectare au moins 12 fois supérieure à celle de l'agriculture de l'ensemble du territoire.

Les prévisions du plan étant de porter les superficies irriguées à environ 200.000 ha dans un proche avenir, la part de l'irrigation dans la production agricole totale se trouverait ainsi considérablement augmentée.

Les ressources en eau de la Tunisie sont actuellement estimées à 2.720 millions de m<sup>3</sup> dont 720 millions de m<sup>3</sup> d'eaux souterraines. L'Oued Medjerdah, seul cours d'eau permanent du pays, apporte la moitié des 2.000 millions de m<sup>3</sup> d'eaux de surface. Toutefois les analyses de ces eaux révèlent qu'elles sont plus ou moins chargées en sels solubles.

L'irrigation effectuée dans de telles conditions a très souvent provoqué une dégradation du sol, causant une baisse rapide des rendements, et provoquant parfois la stérilisation progressive du périmètre mis en valeur.

Les processus qu'impliquent de pareils phénomènes, ainsi que les méthodes de mise en valeur et de culture qui permettent de les éviter, ont depuis longtemps été étudiés au laboratoire et sur le terrain dans différents pays.

La Tunisie s'est également intéressée à ce problème dès 1935, par les études de G. Novikoff, L. Yankovich, P. Dessus et R. Sabathe. Les observations faites sur le terrain ont été reprises plus récemment sur un réseau de champs d'expérimentation mis en place par le Sous-Secrétariat d'Etat à l'Agriculture et l'Office de la Mise en Valeur de la Vallée de la Medjerdah (stations de Melloulèche, Henchir el Hicha, Hazeg, El Habibia, Bejaoua etc...).

Dans le cadre du "Projet Majeur pour l'étude de la Zone Aride", l'UNESCO a cherché à faire le point sur cet important problème, notamment au cours du colloque qui s'est tenu à Téhéran en 1958.

A la lecture des différents documents, on a alors été frappé du fait que bon nombre de ces recherches n'avaient pas dépassé le stade du laboratoire ou de la parcelle expérimentale ; leurs résultats n'étaient ainsi pas immédiatement transposables à la grande culture. Bien plus, les règles d'utilisation de ces eaux salées n'étaient pas les mêmes, dans les divers pays : d'après certaines normes, la plupart des eaux d'irrigation tunisiennes ne devraient pas être utilisées.

## 2. LE CENTRE DE RECHERCHES SUR L'UTILISATION DE L'EAU SALEE EN IRRIGATION

Ce qui vient d'être exposé fait apparaître la nécessité de rationaliser les recherches afin de pouvoir disposer de données permettant l'utilisation des eaux saumâtres dans les futurs périmètres irrigués. C'est pourquoi le Gouvernement Tunisien a créé en décembre 1962 avec l'aide du Fonds Spécial des Nations Unies et de l'UNESCO en tant qu'agence exécutive, un projet pilote intitulé Centre de Recherches sur l'Utilisation de l'Eau Salée en Irrigation (CRUESI).

### a. OBJECTIFS

Un double but était assigné au CRUESI :

- recherche scientifique appliquée
- formation de cadres et de techniciens.

La première tâche conditionne évidemment la seconde, elle est la plus difficile et la plus longue : c'est donc elle qui est l'objet principal de ce rapport.

Le projet visait à "formuler, dans les conditions culturelles de la Tunisie et à l'échelle agricole, les règles d'utilisation de l'eau salée pour l'irrigation". En effet, comme déjà mentionné, un mauvais emploi d'eaux passablement minéralisées risque de provoquer une évolution défavorable des sols et ainsi une réduction de leur capacité de production pouvant aller jusqu'à la stérilité. En conséquence le CRUESI s'est fixé pour tâche essentielle d'étudier l'évolution dans le temps de la salure des sols et des rendements agricoles pour des terrains arrosés avec différentes qualités d'eau et selon divers programmes, l'objectif final étant de fournir les éléments devant permettre les décisions relatives à la valorisation des ressources en eau.

Les principaux paramètres qui interviennent dans la salinité et l'alcalisation sont :

- le type de sol, caractérisé par son profil et par :
  - la structure et la texture des différents horizons pédologiques qui influencent la fixation des sels ;
  - la présence ou l'absence d'un encroûtement en profondeur qui agit sur la perméabilité et la composition de la solution du sol ;
- la présence ou l'absence d'une nappe phréatique peu profonde qui risque lorsqu'elle est alimentée par les apports dus aux irrigations, de s'élever progressivement et d'atteindre l'horizon sain prospecté par les racines des cultures ;
- la pluviosité annuelle, sa valeur et sa répartition au cours de l'année car elle intervient par son pouvoir lessivant ;
- les facteurs agissant sur l'évapotranspiration tels que la température, la vitesse du vent etc...

Par ailleurs, il est établi que toutes les cultures ne sont pas aussi sensibles les unes que les autres à la salure. Il s'agit donc de déterminer la sensibilité des diverses cultures et de proposer des méthodes de production économiquement intéressantes et agrologiquement correctes.

Il est donc nécessaire :

- d'étudier la salinité en vue de pouvoir la maintenir à un niveau acceptable ;
- de tester la réaction des différentes cultures à la salure et à l'apport d'eau ;
- de définir les meilleures méthodes d'aménagement en ce qui concerne l'irrigation et le drainage d'un périmètre où l'on utilise de l'eau saumâtre.

#### b. METHODES ET MOYENS

L'accent a été mis en général sur l'étude des problèmes en plein champ. Cette méthode a certains désavantages :

- on n'est pas maître de toutes les conditions : le climat, notamment la pluie, peut intervenir dans le choix du régime d'irrigation prévu pour un essai
- l'hétérogénéité du terrain joue un rôle limitant dans la précision des mesures.

En revanche cette méthode présente l'avantage de se rapprocher autant que possible des conditions réelles. La transposition des résultats obtenus vers l'application pratique est donc assez facile.

Les stations expérimentales, décrites en détail plus loin, ont été choisies de façon à couvrir les combinaisons les plus importantes qui se présentent en Tunisie du point de vue du sol, de l'eau d'irrigation et de la pluviosité. Au début ont été installées trois stations principales (Cherfech, Ksar Gheriss et Tozeur), plus tard trois stations complémentaires (Messaoudia, Nakta et Zarzis) ont été ajoutées.

Les essais effectués sur les stations expérimentales ont été suivis très méthodiquement par des analyses de laboratoire. Compte tenu du nombre considérable d'échantillons à traiter, des laboratoires de chimie, de physique du sol et de physiologie végétale ont été spécialement prévus dans le bâtiment central, construit pour le projet à Ariana (Tunis).

Outre ces laboratoires et le service administratif ce bâtiment comprend aussi un centre de documentation qui a permis aux chercheurs non seulement de bénéficier d'une documentation de base mais aussi de se tenir informés de l'état des recherches dans leur domaine.

### 3. DEROULEMENT DES OPERATIONS

Le calendrier des travaux ne présente pas d'intérêt majeur, il faut seulement noter que l'infrastructure du bâtiment central et des stations expérimentales principales a été réalisée en 1963-64. L'exécution du programme d'études a effectivement débuté au printemps 1964.

Afin de définir ce programme de recherches un Conseil Consultatif Scientifique et Technique avait été constitué dès le début de l'année 1963 ; il a joué un rôle important tout au long du projet. Il regroupe en comité restreint les experts et les homologues du projet, des consultants envoyés par l'UNESCO, le superviseur du projet comme représentant de l'UNESCO, un représentant de la FAO et le président du Comité National Tunisien pour la Zone Aride, représentant du Secrétaire d'Etat à l'Education Nationale, qui assume la présidence. En comité élargi le Conseil comprend des représentants des services Tunisiens intéressés.

Ce Conseil, qui s'est réuni deux fois en 1963 et ensuite une fois par an à partir de 1965, a eu comme tâche de définir le programme de recherches, d'étudier les résultats obtenus qui sont présentés dans les rapports annuels, de les évaluer en vue de leur application pratique et de recommander éventuellement une extension des essais.

Le CRUESI s'est attaché à ce que les conclusions se dégageant des résultats puissent être utilisées dans la pratique puisqu'il avait à assurer une mission de formation, ce terme étant pris au sens large.

Trois voies de diffusion de l'expérience acquise ont été utilisées :

- les publications. Chaque année à partir de 1965 un rapport annuel de recherches a été préparé et soumis au Conseil Consultatif. A partir de 1967 des notes techniques ont été publiées visant à vulgariser les résultats acquis et leur application pratique.
- les réunions. En Novembre 1968 le réaménagement des oasis a été discuté avec les responsables de l'agriculture dans le Sud-Tunisien. En Mars 1969 un colloque a été tenu à Sfax concernant "Quelques aspects de l'irrigation à l'eau saumâtre dans le Centre-Sud Tunisien", auquel ont assisté un grand nombre d'ingénieurs et de techniciens des Services Agricoles. Enfin le séminaire international de clôture, en Octobre 1969, a permis aux ingénieurs tunisiens d'avoir une vue sur l'ensemble des résultats et d'en discuter avec des spécialistes étrangers.
- la formation du personnel. Le projet a d'abord assuré la formation de son propre personnel de laboratoire et de terrain. Des homologues ont été entraînés aux travaux de recherches et des stages à l'étranger leur ont permis d'approfondir leur connaissance sur des points spécifiques. En outre le projet a, au niveau supérieur, accueilli des élèves de 4ème année de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture Tunisienne (E.N.S.A.T.) et, au niveau professionnel, assuré sur le terrain l'entraînement

des moniteurs des services agricoles destinés à l'encadrement technique rural.

## B. AGENCEMENT DU RAPPORT

Le présent rapport donne une vue d'ensemble sur les travaux effectués par l'équipe des experts et des homologues ; il ne peut pas contenir le détail des résultats obtenus pendant cinq années de recherches, l'abondance des données traitées ne peut qu'être évoquée.

Il cherche à dégager des enseignements tant en ce qui concerne les résultats des essais que les méthodes qui ont permis de les obtenir. Il veut mettre en lumière des notions clefs.

Il faut signaler que par ailleurs des publications fournissent soit des détails relatifs à des points de recherche soit des recommandations concernant des problèmes spécifiques aux périmètres irrigués en Tunisie.

Dans une première partie le cadre de travail et les outils de recherches sont présentés. C'est en quelque sorte le choix, l'équipement et le fonctionnement du vaste ensemble que constituent les stations et les laboratoires, qui sont exposés. Il a paru indispensable de bien préciser le cadre des recherches avant de discuter les résultats.

Ces résultats constituent la seconde partie. Les deux sujets essentiels sont l'évolution des sols et le comportement des cultures. Dans un cas comme dans l'autre le régime hydrique est le facteur primordial. Il fallait par conséquent être renseigné aussi exactement que possible d'une part sur les quantités d'eau à fournir, d'autre part sur la manière de réduire l'hétérogénéité des apports et d'évacuer les excès d'eau. C'est pourquoi des études ont été entreprises aussi sur la consommation d'eau des cultures, elles ont mis en évidence des discordances très instructives et ont fourni des données de référence ; des expérimentations relatives aux techniques d'irrigation et de drainage ont été le complément naturel de ces travaux.

Dans une dernière partie les renseignements ont été groupés afin d'aboutir à une synthèse. Après avoir ainsi fait le point de la situation il a paru opportun de présenter les recommandations que l'expérience acquise incite à proposer.

I. MOYENS ET METHODES DE TRAVAIL



## A. LES STATIONS

Les stations sont réparties à travers la Tunisie ; leur gestion est assurée par la section agronomique . Les laboratoires de chimie, de physiologie végétale et de physique des sols ainsi que le service de documentation sont installés à EL ARIANA près de Tunis, dans un bâtiment spécialement construit pour le projet.

### 1. CHOIX DES STATIONS

Dès le début du projet trois stations ont été implantées dans des secteurs dont les sols et climats ont des caractéristiques différentes à savoir :

- la Basse Vallée de la Medjerdah où l'eau d'irrigation est moyennement salée, le sol lourd, la nappe phréatique saumâtre et peu profonde.
- le Centre-Sud où l'eau disponible est fortement salée et les sols légers.
- l'oasis de Tozeur où l'eau de forage est peu minéralisée, les terrains salés et gypseux, la nappe phréatique saumâtre et peu profonde.

Ainsi des études pouvaient être accomplies dans trois types de conditions agro-hydrologiques, cet "échantillonnage" reflétant bien les principales préoccupations agricoles de la Tunisie.

Ultérieurement, les méthodes d'étude ayant été mises au point et les analyses de départ, en nombre considérable, ayant été accomplies, le rythme de travail a permis d'envisager une extension territoriale des études. Afin de compléter l'échantillonnage et de couvrir ainsi la quasi totalité des combinaisons présentes en Tunisie du point de vue sol, eau d'irrigation et pluviosité, trois stations d'une surface réduite ont été installées dans des zones irriguées du Centre et du Sud.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques agro-climatologiques dominantes des stations et la carte ci-jointe (figure I.A-1) donne un aperçu des régions dans lesquelles les conclusions obtenues dans les stations peuvent être appliquées, compte tenu de la similitude des situations. Il est évident qu'une certaine prudence est nécessaire : si l'on considère le nombre de paramètres qu'il faut retenir en matière de gestion agricole chaque zone présente une hétérogénéité plus ou moins grande

Station (x)	Terre	Salure moyenne de l'eau (g/l)	Pluviosité (mm/an)
Cherfech (x x)	forte	2,0 (xxx)	420
Ksar Ghériss	légère	4,0	150
Tozeur (x x) (Helba)	sable gypseux	2,1	90
Messaoudia	forte	2,0	280
Nakta	moyenne	3,8	200
Zarzis	légère	6,5	150

(x) Dans les pages suivantes les caractéristiques des stations sont exposées en détail.

(x x) nappe à moins de 2 m

(xxx) en outre on dispose pour une surface limitée d'eaux de - 0,2 - 1,5 et 3,5 g/litre

## 2. MONOGRAPHIE DES STATIONS

### a. CONDITIONS NATURELLES

#### (1) Sols

##### (a) Texture

Les analyses granulométriques effectuées sur les sols des stations ont conduit, d'une part à définir la texture de ces sols, d'autre part à dresser les cartes des taux d'éléments fins à différentes profondeurs ce qui est apparu nécessaire en raison d'une hétérogénéité marquée dans la composition des sols de chaque périmètre.

Sans entrer dans le détail des résultats obtenus, et en se limitant à la profondeur la plus intéressante sur le plan agronomique, on peut dire que les sols des 4 stations de Cherfech, Ksar Gueriss, Nakta et Messaoudia ont des textures nettement différentes les unes des autres (figures I, A-f2 et 3). En allant des textures les plus fines vers les textures les plus grossières, on trouve :

Les sols de CHERFECH, sols peu évolués d'apport fluviatile à hydromorphie de nappe en profondeur, qui se sont formés sur des dépôts alluviaux de la Medjerdah, alternativement fins et grossiers selon les modalités locales de l'alluvionnement. Ils comportent en général 3 niveaux distincts : un niveau supérieur argilo-limoneux de 60 à 80 cm d'épaisseur, un niveau moyen limono-argileux à limoneux épais de 40 à 60 cm, un niveau profond argilo-limoneux à argileux. Si l'on ne tient compte que des 60 à 80 cm supérieurs du profil, on peut considérer que les sols de Cherfech ont le plus souvent des taux d'argile (0 - 2  $\mu$ m) compris entre 20 et 45 % des teneurs en limons fins et grossiers (2 - 50  $\mu$ m) de 50 à 60 %. Les cartes I.A -f4 à 7 indiquent la distribution des teneurs en éléments fins (0-20  $\mu$ m) sur la station à des profondeurs différentes, et rendent bien compte de l'hétérogénéité du sol.

Les sols de MESSAODIA, sols peu évolués sur alluvions fluviales récentes, présentent eux aussi de fortes discontinuités texturales dans le profil, avec des différences très sensibles d'un point à l'autre de la station. Sur les parcelles étudiées, la texture est argileuse, argilo-limoneuse ou limono-argileuse, avec des taux d'argile voisins de ceux signalés à Cherfech (20 à 45 %), mais des teneurs en limons fins et grossiers inférieures de 20 %, se situant donc vers 30 à 40 %.

Les sols de NAKTA, sols peu évolués halomorphes (intergrade à sols halomorphes) sur limons complexes à hydromorphie de nappe, présentent également une grande hétérogénéité. La dominante texturale est argilo-sableuse à sablo-argileuse, mais la granulométrie peut devenir nettement sableuse localement, par exemple dans les parcelles DF<sub>4</sub> et D1. En outre, il peut exister par places des niveaux plus argileux de faible épaisseur susceptibles de jouer un rôle important dans les processus d'infiltra-

tion. Les cartes I.A - f8 à 11 donnent un aperçu de la distribution des teneurs en éléments fins (0-20  $\mu\text{m}$ ) sur la station.

Les sols de KSAR GHERISS, sols bruns isohumiques (intergrade à sols peu évolués) sur matériau sableux polyphasé, sont dans tous les cas nettement sableux dans leurs horizons supérieurs, alors que l'existence en profondeur d'un niveau à nodules calcaires entraîne l'apparition de taux d'argile un peu plus élevés, correspondant à une texture sablo-argileuse. Les cartes jointes I.A-f12, 13 traduisent donc non seulement la texture des sols de Ksar Ghériss, mais aussi la profondeur d'apparition du niveau à nodules.

Les sols de TOZEUR, sols salins à encroûtement gypseux de nappe sur matériau sableux, n'ont pas fait l'objet d'analyses granulométriques par suite de leur haute teneur en gypse (ordre de grandeur 40 à 60 %). Toutefois, les déterminations des courbes humidité-pF autorisent à dire qu'il s'agit de sols sablo-limoneux en surface, fortement sableux en profondeur.

#### (b) Densité apparente

Les graphes de la figure I.A-f4 indiquent la densité apparente en fonction de la profondeur pour les différentes stations. Pour tenter de définir quantitativement la structure des sols, on a procédé en premier lieu à des déterminations de la densité apparente à diverses profondeurs sur les différentes stations (figure I.A-f14). Exception faite de la couche de surface, les sols de Cherfech et de Messaoudia ont des densités apparentes de 1,5 à 1,6, les valeurs plus basses correspondant en général à des textures plus légères, les valeurs plus élevées à des textures plus argileuses. Bien que la texture de Nakta soit plus légère que celle des stations précédentes, la densité apparente est de l'ordre de 1,6. C'est le sol de Ksar Ghériss, qui montre les valeurs les plus élevées, de l'ordre de 1,7, bien qu'il y ait également des parties, où la densité apparente est un peu moins élevée, de l'ordre de 1,6. En revanche, le sol de Tozeur a la densité apparente la plus basse de toutes les stations (1,3 à 1,4).

La densité apparente des sols des stations est en général élevée, elle est même très élevée dans le cas de Ksar Ghériss, atteignant 1,5 à 1,7 ce qui implique une médiocre porosité (44 à 36 %).

Il a été également tenté de définir, dans certains cas, la stabilité structurale des sols, tout au moins dans leurs horizons de surface (0-10 cm). C'est le cas à la station de Cherfech où on a pu constater que la stabilité de la structure était toujours faible (valeurs élevées de l'indice  $I_s$  de HENIN), mais plus particulièrement dans les zones caractérisées par les taux d'éléments fins les moins élevés. C'est ce qui ressort de l'examen de la carte de distribution des valeurs de  $I_s$  (carte I.A-f15) et de sa comparaison avec la carte I.A-f4.

On a pu constater également que la stabilité structurale subissait des variations saisonnières, passant par un maximum en fin d'hiver et un minimum en été.

(c) Caractéristiques hydriques

Les mesures des humidités pour différentes valeurs de la succion sur les sols des stations ont confirmé les résultats des analyses granulométriques effectuées par ailleurs. Les figures I.A-f16 à 21 donnent les relations pF - humidité, déterminées sur des échantillons non remaniés. Les bandes hachurées regroupent les courbes obtenues sur des horizons ayant sensiblement la même texture.

Ces courbes mettent en évidence les comportements des divers horizons, par exemple pour la zone voisine du drain 7 à Cherfech on a distingué un premier horizon de 0-40 cm, un second de 40-90 cm à structure prismatique et un horizon limono-sableux de 100-130 cm ; ce dernier se retrouve vers le drain 13 entre 70 et 120 cm, mais avec une texture plus lourde. Les courbes de Messaoudia montrent la différence entre le sol plutôt léger, où est effectué l'essai DF1 et celui plutôt argileux de l'essai DF2. Il apparaît qu'à Nakta, l'horizon de 60-80 cm est plus argileux que celui de 0-40 cm. Pour le sol de Ksar Ghériss on peut constater une légère différence entre les horizons supérieurs sableux et les horizons inférieurs sableux-limoneux. A Tozeur la différence est plus prononcée, les horizons supérieurs étant plus limoneux, les horizons sous-jacents plus sableux.

La quantité d'eau théoriquement utilisable pour la plante peut être calculée à partir de la différence des humidités aux pF correspondant d'une part au ressuyage et d'autre part au point de flétrissement ce dernier pF étant pris égal à 4,2.

La détermination du pF au ressuyage nécessite évidemment la connaissance de la teneur en eau du sol à la capacité au champ, qui est une opération relativement délicate ; il existe un grand nombre de méthodes de laboratoires conçues dans ce but, mais aucune ne donne pleinement satisfaction. Pour cette raison, mais aussi pour tenir compte de la succession des divers horizons du sol qui peuvent interférer l'un sur l'autre, on a été amené à utiliser de préférence des méthodes de terrain, basées sur la recherche de l'humidité de sol au ressuyage. Il convient toutefois de préciser deux points :

1°) il est difficile d'apprécier exactement le stade réel de "ressuyage" du sol, qui correspond à la cessation de la percolation de l'eau vers la profondeur. Cet état est lui-même mal défini puisque des redistributions de l'eau du sol ont lieu dans le profil par la suite, et que divers auteurs ont démontré que la percolation de l'eau se poursuivait pendant de très longues périodes avec des débits extrêmement faibles. Toutefois on admet en général que le ressuyage est atteint après un délai variant de 24 à 48 heures après la fin d'un arrosage suffisant pour saturer profondément le sol. Ainsi à Cherfech, où le drainage est assuré par poteries, on peut choisir la période de mesure en se basant sur la fin de l'écoulement des drains à la suite d'un apport d'eau.

2°) les travaux de plusieurs auteurs ont montré que le taux d'humidité du sol après ressuyage est susceptible de varier en fonction des conditions antérieures d'humectation. C'est pourquoi il est recommandé d'effectuer les mesures après que le sol est demeuré à l'état humide pendant une période assez longue : en hiver ou au début du printemps par exemple en pays tempéré. Les mesures effectuées après une période de séche-

resse conduisent en général à sous-estimer la capacité de rétention d'eau des sols.

- Par exemple, les mesures ont de préférence été effectuées pendant la période hivernale, lorsque l'écoulement des drains consécutif à une chute de pluie importante avait cessé. Les résultats sont présentés, figure I.A-f22, sous la forme de courbes de teneurs pondérales en eau en fonction de la profondeur ; chaque point est la valeur médiane de huit répétitions. D'après ces mesures il semble qu'ici le pF au ressuyage soit de l'ordre de 2, et que la hauteur d'eau disponible pour les 80 centimètres supérieurs du profil atteigne environ 110 mm.

A Ksar Ghériss où le sol a une texture sableuse et la nappe est profonde, il semble que l'humidité au ressuyage corresponde à un pF voisin de 2,2 ; la hauteur d'eau disponible atteint 50 mm environ pour les 80 centimètres supérieurs du profil.

#### (d) Caractéristiques chimiques

Les tableaux I.A-t1 à 6 en annexe présentent les caractéristiques chimiques des sols au début de l'expérimentation. Les sols de Cherfech, Ksar Ghériss et Utique n'ayant pas été irrigués auparavant les valeurs reflètent un état spontané. En revanche les sols de Messaoudia et de Nakta avaient été irrigués depuis une dizaine d'années et celui de Tozeur depuis 40 ans environ.

En ce qui concerne les caractéristiques chimiques, données seulement à titre indicatif, les valeurs mentionnées ont été calculées en faisant la moyenne d'un nombre relativement restreint d'échantillons (10 à 15 par station). Le pourcentage de saturation a été ajouté dans chaque tableau puisqu'il a été utilisé dans le calcul des teneurs en sels, et à ce titre il a été évalué avec plus de précision (200 à 300 échantillons par station).

#### (2) Eaux

Le tableau I.A-t7 en annexe donne les informations de base.

Les stations à l'exception de Cherfech sont alimentées par des eaux de forage dont la composition chimique ne varie pratiquement pas dans le temps.

Dans le cas de Cherfech l'eau de la Medjerdah subit au cours de l'année des variations de salure pouvant aller de 1 à 3 grammes par litre. Les analyses chimiques qui ont été effectuées à chaque irrigation permettent de connaître la composition moyenne de cette eau de Mai 1964 à Avril 1969. Les mois de Mai à Septembre étant considérés comme la période d'été et ceux d'Octobre à Avril comme la période d'hiver, le tableau I.A-t7 donne la composition moyenne de l'eau de la Medjerdah au cours de ces cinq dernières années.

Le cas particulier du bore n'a pas été envisagé ; en effet des étu-

des antérieures ont montré que le bore, étant en très faible quantité, ne pose pas de problème dans les régions où les essais sont installés.

### (3) Climats

Chaque station expérimentale dispose d'une station météorologique équipée pour mesurer les différentes composantes du climat : température, humidité relative de l'air, durée d'insolation, vitesse du vent, évaporation et hauteur de précipitation. Comme les stations de Messaoudia et Nakta ne disposent pas d'héliographe, les insolutions indiquées sont respectivement celles des stations de Kairouan et de Sfax, situées chacune à 20 km environ de la parcelle.

Les tableaux I.A-t8 à 12 en annexe donnent les moyennes calculées à partir des observations faites de Mai 1964 à Mai 1969 pour les stations de Cherfech, Ksar Ghériss et Tozeur et de Mai 1967 à Mai 1969 pour celles de Messaoudia et Nakta. Ces périodes d'observations sont courtes, mais il y a lieu de signaler que les moyennes annuelles ainsi obtenues sont très voisines de celles calculées sur 50 ans par le Service Météorologique pour des stations avoisinantes.

"L'humidité relative moyenne" et la "température moyenne" ont été obtenues à partir des moyennes quotidiennes, elles-mêmes déterminées par l'analyse des courbes fournies par les appareils enregistreurs, qui étaient placés sous abri à 2 m de hauteur.

La vitesse du vent a été également relevée à une hauteur de 2 m. En été elle est généralement faible de nuit, tandis que de jour elle atteint 5 à 6m/s.

L'évaporation d'une surface d'eau a été d'une part mesurée par l'évaporomètre "Piche" et deux bacs placés l'un sur le sol (A1), l'autre dans le sol (A2) et d'autre part calculée d'après la formule de Penman, qui fait intervenir la température, l'humidité relative de l'air, la durée d'insolation et la vitesse du vent. L'évaporation calculée d'après Penman est :

- à Cherfech plus élevée que celle donnée par le bac A2
- dans les autres stations plus basse que celle donnée par le bac A2.

A Tozeur les valeurs indiquées par le bac A2, placé à l'ombre des palmiers (oasis), sont environ les deux tiers de celles indiquées par le bac A2 placé à l'extérieur de l'oasis (chott).

#### b. EQUIPEMENT

##### (1) Irrigation

L'idée directrice a été de garantir la précision et l'homogénéité des apports en s'écartant le moins possible des conditions rencontrées dans l'agriculture pratique tant en ce qui concerne les équipements que les dimensions des parcelles.

Il fallait rechercher :

- une bonne étanchéité dans le dispositif de transport de l'eau depuis l'entrée dans la station jusqu'au terrain même d'essai.
- un comptage de l'eau et la possibilité de diviser en fractions égales la veine à l'aval du point de mesure.
- une répartition aussi homogène que possible sur le terrain.

(a) Le réseau a été conçu pour répondre aux deux premières sujétions. On a utilisé des canaux en béton vibré, des conduites souterraines en amiante-ciment et des tuyauteries mobiles en aluminium (voir figures I.A-23 à 27, cartes des stations.

Le comptage a été réalisé par des modules installés sur les canaux et permettant de prélever jusqu'à 30 l/s. Le fractionnement ultérieur de la veine a été obtenu par des vanettes réglables sur les tuyauteries.

(b) Les parcelles élémentaires, alimentées le plus souvent par les tuyauteries à vanettes, ont été soigneusement nivelées pour obtenir des pentes transversales nulles et des pentes longitudinales variant selon le cas de 1 ‰ (bassins à Tozeur) à 16 ‰ (planches ou billons à Ksar Ghériss).

L'introduction de débits spécifiques judicieusement choisis et une préparation culturale correcte ont permis d'obtenir sur ces parcelles ainsi préparées une homogénéité satisfaisante.

## (2) Drainage

La construction d'un réseau de drainage n'a été nécessaire qu'à Cherfech et à Tozeur où la nappe était peu profonde (moins de 2 m) pour les autres stations le drainage naturel est suffisant.

A Cherfech le réseau comprend une station de pompage, un fossé collecteur et des drains en poterie installés à une profondeur de 1,50 m. L'espacement des drains est de 60 à 100 m - ce qui est une valeur fréquemment observée dans cette région ; toutefois il n'est que de 40 m dans la parcelle réservée à l'étude du bilan hydrique et du bilan des sels, afin de disposer d'un plus grand nombre de points de mesure de débit. Chaque drain est en effet équipé à sa bouche d'un débit-mètre enregistreur quotidiennement contrôlé. Des piezomètres ont également été installés pour les mesures.

A Tozeur le réseau comprend un collecteur général, trois collecteurs secondaires et soit des fossés soit des drains en poterie à une profondeur de 1,75 m. Un espacement de 40 m entre drains ou fossés, a été choisi pour faciliter l'agencement des expérimentations. Le dispositif comprend aussi des piezomètres.

## B. ESSAIS ET ETUDES

### 1. PRESENTATION D'ENSEMBLE

La liste des tâches confiées au CRUESI a évolué au cours de l'exécution du projet ; il faut donc distinguer les recherches dont le principe a été retenu dès le début des opérations de celles qui sont venues peu à peu s'ajouter au programme :

Une première série de recherches a eu pour objectif de déterminer la relation entre d'une part les qualités des eaux, la quantité et la fréquence des apports, la sous-culture (cas particulier aux Oasis) et d'autre part la salure des sols et la production.

Cette catégorie comprend les essais intitulés :

- qualité d'eau (1 variable)
- dose et fréquence (DF ou df, 2 variables )
- dose et sous-culture (2 variables)

par la suite sont venus s'adjoindre les essais :

- dose (1 variable)
- dose et lessivage (2 variables : apport d'été et apport d'hiver)
- lessivage d'hiver (1 variable : l'apport total)

D'autres recherches prévues dès l'origine du projet ont visé à déterminer, dans des conditions normales d'exploitation, la consommation réelle des cultures et l'évolution de la salure du sol jusqu'à une profondeur atteignant selon les cas 1,50 m à 4,00 m. Afin que ces observations reflètent bien la réalité, une parcelle d'assez grande dimension (environ 4 ha) a été aménagée, de façon à ce que puissent être mesurées les quantités d'eaux apportées et évacuées ainsi que les teneurs en sel correspondantes. Ce type d'étude est appelé "Bilan Hydrique -Bilan des sels".

Ultérieurement des travaux ont été nécessaires pour compléter les essais ci-dessus énumérés qui constituent en quelque sorte l'ossature du projet.

Une série de recherches visa à évaluer les incidences du mode d'irrigation sur les phénomènes, objet des études précédemment recensées.

Dans ce groupe les principaux essais sont ceux relatifs :

- aux répartitions longitudinales et transversales de l'eau d'irrigation dans les planches et billons pour différents débits et divers modelages du terrain.
- à l'aspersion.

Enfin, un dernier groupe comprend des recherches et expérimentations mises en route au vu de difficultés ou insuccès auxquels on s'est heurté particulièrement à Ksar Ghériss. Parmi les questions examinées il faut principalement noter :

- fumure organique
- fumure phosphatée
- défoncement
- inoculation de la luzerne
- façons culturales

## 2. TERMINOLOGIE ET COMMENTAIRES TECHNIQUES

Afin d'éviter toute confusion, il est bon de préciser l'origine et la teneur de certains termes ou expressions utilisés dans ce rapport.

### - Salures

Pour des raisons de commodité, la salure d'une eau d'irrigation ou d'une solution de sol a la plupart du temps été évaluée par la conductivité électrique désignée par EC et exprimée en mmho/cm à 25°C. Une relation lie EC et la concentration C de la solution, exprimée en g/l :

$$C = a EC^b$$

a et b ont été déterminés pour les différentes stations car ils dépendent des niveaux et des types de salinité.

Valeurs des coefficients a et b pour les différentes stations

	a	b
Cherfech	0,625	1,078
Ksar Ghériss	0,884	0,993
Tozeur	0,592	1,134
Messaoudia	0,679	1,082
Nakta	1,010	0,903

Des abaques ont été établis (figure I.B-f1 à 5).

La salure du sol est exprimée par la conductivité de l'extrait de pâte de sol saturé (EC<sub>e</sub>) ou "extrait de saturation".

En connaissant :

- l'humidité pondérale de la pâte de sol saturé (SP)
- l'humidité pondérale au champ (Hs)
- la relation entre la concentration, en g/l, et la conductivité en mmho/cm,  $f(EC)$

les formules ci-dessous permettent de calculer :

- la conductivité de la solution du sol ( $EC_s$ )
- la concentration de cette solution ( $C_s$ )

données qui sont d'assez bons indices de la salure du milieu dans lequel la plante pousse et qui permettent des comparaisons d'un sol à l'autre :

$$EC_s = EC_e \cdot \frac{SP}{Hs}$$
$$C_s = f(EC_s)$$

Un abaque a été construit à partir de ces formules (Fig.II B-f1) .

Ces formules ne doivent pas servir à calculer  $EC_s$  et  $C_s$  à partir de la conductivité de l'eau d'irrigation ( $EC_1$ ).

#### "Qualité d'eau"

Comme les eaux employées dans les essais où elles sont la seule variable, ont des pourcentages d'ions constants dans le temps, il n'y a eu lieu de ne retenir pour :

- les études sur la salinité que la teneur en sel (g/l)
- " " " l'alcalinité que le SAR.

#### - Dose et fréquence

La quantité d'eau (A) apportée à une surface cultivée doit nécessairement être ramenée à une base de temps (B) par exemple le cycle végétatif, une phase de la vie du végétal, un mois...etc. (A/B) qui peut être considérée comme une seule donnée a pour dimensions  $L^3T^{-1}$  et en raisonnant par unité de surface :  $L.T^{-1}$ .

L'eau est apportée de façon discontinue : à chaque intervention et en un temps relativement court on épand un certain volume (q) ; cette donnée est souvent ramenée à l'unité de surface et a alors pour dimension L.

Le temps s'écoulant entre deux interventions est la "période d'irrigation" (T), dont l'inverse est la fréquence.

En considérant un régime permanent on a la relation générale bien connue :

$$\left(\frac{A}{B}\right) = \frac{q}{T}$$

Si on adopte  $B = T$ , c'est-à-dire si on prend la période d'irrigation comme base de temps pendant laquelle est considérée la quantité d'eau fournie ou consommée il vient :

$$A = q$$

Il en a été fréquemment ainsi dans les présents travaux où le terme "Dose" (D) s'applique parfois à l'apport par intervention parfois à l'apport pendant une période.

Notons bien que si l'on veut comparer la fourniture moyenne d'eau par unité de temps, il y a lieu de considérer D/t (avec t base de temps) et pas seulement D .

#### - Régime d'apport

Trois données caractérisent donc une alimentation en eau à savoir : D/t, q et T .

Le terme "régime d'apport" est utilisé ici pour désigner une combinaison D/t, q et T ; comme les trois données : D/t (apport moyen par unité de temps) q (volume par intervention) et T (période) sont liées par la relation vue précédemment, il n'y a que deux variables indépendantes.

Il peut être commode de situer graphiquement un "régime". Dans un système de deux axes orthogonaux portons en abscisse D/t, en ordonnée T (figure I.B-f6). Un régime peut être représenté par un point ; on peut désigner par "régime intensif" celui dont le point représentatif est dans la région (i), extensif celui situé dans la région (e). En d'autres termes un régime intensif est caractérisé pour nous par une période courte et une dose ramenant l'humidité du sol à la rétention et pouvant même provoquer un drainage. Chaque ensemble de régimes tels que  $D/t \times T = q = \text{constante}$  est une hyperbole. Il est utile de noter qu'un régime est donc associé à un volume d'apport par intervention.

Par exemple un régime défini par le couple (D/t 5,5, T = 12) est représenté par le point R<sub>1</sub>, il implique la distribution par intervention d'une tranche d'eau d'épaisseur comprise entre 50 et 75 mm (exactement 66 mm).

#### - Modes d'irrigation

Il est bon de définir sommairement les termes employés dont l'acception peut varier avec les pays.

Remarques liminaires :

- Il fallait épandre, par des méthodes de surface, uniformément sur le terrain, des doses données d'eau. Le comptage se faisant nécessairement à l'admission sur le terrain il était impératif de travailler sans colature a moins d'avoir un second comptage, ce qui n'est guère praticable dans des parcelles ayant les dimensions de celles que le projet devait utiliser.
- Ce sont en effet des méthodes d'irrigation de surface qui ont toujours été utilisées pour les essais formant la base du programme. L'aspersion n'a été employée qu'à titre d'essai exploratoire et assez tardivement dans le déroulement du projet, car ce procédé avait été écarté au début des travaux

après examen de la documentation sur le sujet. Toutes les informations mettaient l'accent sur les risques que peut présenter ce mode d'irrigation : en particulier le fait de déposer sur le feuillage, en pays à fort ensoleillement, des gouttelettes d'eau et qui plus est d'eau saumâtre. De nombreux cas d'échecs étaient signalés.

- Dans ce qui suit nous ne mentionnons pas le nivellement préalable du terrain puisqu'il est pratiquement toujours indispensable.
- Comme nous le verrons en détail en II.C.1 les pentes et débits utilisés sont fonction de plusieurs facteurs. Les indications fournies ici ne sont qu'indicatives. En ce qui concerne la pente longitudinale des terrains elle a été de 1 ‰ pour ceux irrigués par bassin et de 1 à 16 ‰, suivant les cas, pour les autres.

#### "Irrigation par planches"

Le terrain est façonné en rectangles (largeur 6 à 12 m ; longueur 30 à 100 m), délimités par de petites levées de terre. La pente transversale est nulle. L'eau est admise en tête, sur toute la largeur aussi uniformément que possible, le débit par mètre de largeur est de l'ordre de 2 l/s. L'admission de l'eau est arrêtée lorsque le front d'avancement est à quelques mètres de l'extrémité inférieure.

Ce procédé est aussi désigné sous le nom "d'irrigation par calants".

#### "Irrigation par billons"

L'espacement des billons dépend des cultures (0,75 à 1,25 m). On a cherché à avoir des fonds et des sommets de billon aussi plats que possible : la hauteur est en général de 12 à 15 cm. Le débit engagé en tête varie entre 0,5 et 2,5 l/s par mètre de largeur de terrain.

L'admission de l'eau est arrêtée quand le front d'avancement est à quelques mètres de l'extrémité inférieure.

#### "Irrigation par corrugation"

Des petits sillons à fond plat et sans rebord de 10 à 15 cm de largeur et de 3 à 5 cm de profondeur sont ouverts tous les 0,75 m environ.

Le débit engagé en tête est de l'ordre de 0,5 l/s par mètre de largeur de terrain.

L'eau est arrêtée en tête peu avant que le front d'avancement atteigne l'extrémité de la parcelle.

#### "Irrigation par bassins"

Le terrain est façonné en carrés d'un are environ séparés par des bourrelets. Cette dimension a été choisie compte tenu du débit adopté (5 à 10 l/s) de manière à garantir, même pour les plus faibles doses, une bonne couverture du sol par la lame d'eau et

donc une homogénéité correcte.

### 3. ESSAIS "DOSE ET FREQUENCE"

Ces études exigent quelques commentaires afin de dégager les buts poursuivis, les types d'informations qu'on y a cherché et aussi de renseigner sur la technique de travail utilisée.

#### a. PRINCIPE DE CES ESSAIS

Un des grands problèmes de l'irrigation avec l'eau salée est de déterminer le régime d'apport d'eau permettant d'obtenir d'une part un bon rendement des cultures assurant une bonne valorisation de l'eau et d'autre part le lessivage du sol. En d'autres termes :

- a-t-on intérêt : à ajouter à chaque irrigation un complément qui permette de lessiver le sol, mais qui augmente en même temps la pointe du besoin en eau d'un périmètre irrigué ?  
ou au contraire à donner des apports réduits et à pratiquer le lessivage lors de certaines périodes, où les disponibilités en eau sont plus grandes ?

- doit-on resserrer l'intervalle entre les irrigations pour maintenir la concentration de la solution du sol à un niveau plus bas de façon à diminuer les effets nocifs des sels ?  
ou au contraire peut-on espacer les tours d'eau et faire des apports plus importants ?

Ces questions peuvent être illustrées graphiquement du moins en théorie.

Une culture dans des conditions d'environnement données consomme par unité de temps une certaine quantité d'eau, et cette consommation dépend du régime d'apport.

Les régimes qui dans des conditions données assurent l'équilibre des apports et des consommations forment un ensemble représenté par une ligne M N P (figure I.B-f7), qui comprend deux parties : en "période courte" ( $0 < T < n$ ) le régime n'est pas le facteur limitant de la consommation (tronçon MN) ensuite il le devient (tronçon NP), car l'eau est moins disponible lorsque l'humidité du sol décroît.

#### Remarques

- La ligne MNP délimite deux zones.  
Tout régime représenté à gauche de MNP, c'est-à-dire en Z1 n'entraîne aucune percolation, en théorie au moins c'est-à-dire en supposant notamment une parfaite homogénéité des humectations et des consommations. Un tel régime entraîne forcément un accroissement de la salure du sol car il y a toujours des apports de sels non totalement assimilables. Tout régime représenté en (Z2) provoque une percolation ; le lessivage qui en résulte peut d'autant plus être qualifié de "permanent" que la période est plus courte. Si le drainage naturel ou artificiel est bon, un tel régime as-

sure le dessalement.

- L'abscisse de M varie avec la plante, le développement de la végétation et fortement selon les saisons de Me à Mh.
- Les apports d'eau à considérer ici peuvent être artificiels (irrigation) ou naturels (pluie).
- Pour une valeur donnée de D/t, la salure du sol variera d'autant moins dans le temps et en particulier les maxima seront d'autant moins marqués que la période sera plus réduite.
- Un régime tel que R<sub>2</sub> (apport moyen modéré mais intervention espacée et importante) s'interprète en une consommation réduite (ex. valeur OM') et une percolation. Il faut ajouter qu'à partir du moment où la période excède la valeur n, l'alimentation hydrique instantanée de la plante est limitée ce qui représente un danger en cas d'une saute climatique exigeant une consommation plus élevée.

#### Exemple

Il est aisé de schématiser toute méthode permettant de maîtriser la salure du sol ; à titre d'exemple voici deux solutions opposées :

- rester en permanence en (Z2) peu à droite de MNP c'est le cas lorsque en été les irrigations sont surabondantes et qu'ensuite durant l'hiver les pluies sont copieuses ou bien que l'on additionne des pluies et des irrigations. Un tel procédé exige beaucoup d'eau et peut être préjudiciable aux cultures à certains moments.
- rester en (Z1) pendant l'été et se placer systématiquement en (Z2) pendant l'hiver et d'autant plus à droite de la ligne MNP (M se trouve alors en Mh) que la durée du traitement est brève. Il faut ici considérer en outre l'incidence de la restriction apportée à l'alimentation hydrique des cultures d'été.

#### b. CONDUITE DE CES ESSAIS

Les essais "dose - fréquence" peuvent ainsi être considérés comme des essais de "régimes". Ils exigent :

- la connaissance de la position de MNP.
- la réalisation d'un apport homogène sur un terrain assez grand (plusieurs ares) de quantités d'eau préfixées et cela à une date donnée.
- de très nombreuses analyses (salinité, humidité...)
- des observations culturales et la mesure des productions.

Nous allons voir la méthode dans son principe et aussi dans sa mise en oeuvre compte tenu des obstacles de la pratique.

(1) Principe de la méthode d'essai

Les apports par unité de temps que nous désignons par dose (D) pour la raison exposée en I.B.2 ont été repérés sur l'évapotranspiration moyenne mesurée sur une parcelle bien drainée et en régime intensif, qui sera désignée ici par l'expression "consommation maximale en plein champ". Cette consommation correspond en principe à la dose désignée par D2 et prise pour base 100.

On a utilisé des doses D1 = 0,75 D2, D2 et D3 = 1,25 D2. Schématiquement ces trois doses sont représentées par des verticales.

D'après ce qui précède, et à condition que la base 100 corresponde réellement à la consommation maximale en plein champ, avec D3 on est forcément en zone Z2 alors qu'avec D2 on est soit à l'équilibre soit en zone Z2 selon la longueur de la période et avec D1 on est en Z1 ou Z2.

Il fallait donc faire varier la période et on a adopté T1 et T2 = n T1 avec n = 1,5 ou 2 selon les cas. Ainsi en prenant T1 = 10 jours et n = 1,5, les régimes sont présentés par les points r1 à r3 et r'1 à r'3 dont les abscisses varient selon les consommations observées (figure I.B-f8). La position de D2 est un problème difficile à résoudre. Ce sujet est traité en II.B.2.

Remarque

D2 n'a été pris systématiquement égal à la consommation maximale en plein champ que dans les essais "dose et fréquence". Pour les autres essais D2 a une signification différente, mentionnée dans le texte en temps utile.

(2) Pratique de la méthode d'essai

Dans la pratique ce schéma n'a pas toujours pu être rigoureusement respecté.

- La base D2 = 100 telle que ci-dessus définie est théoriquement la meilleure mais pour des raisons pratiques elle n'a pas pu être adoptée partout. Une autre base a alors été définie.
- La période réelle a été parfois inférieure à celle prévue. En effet nous avons vu qu'en adoptant une période  $T > n$  (figure I.B-f7) on court un risque de déséquilibre hydrique dans le laps de temps compris entre n et T. Si le climat est sujet à brusques variations et si une surcharge climatique correspond à une phase critique de la vie du végétal, le risque est trop grand pour être couru (ex. on ne peut pas attendre 14 jours pour irriguer des tomates en fructification).
- Les quantités par intervention (q) ne peuvent pas être quelconques : si l'on veut obtenir une homogénéité convenable l'apport unitaire ne peut pas être inférieur à qm qui dépend de nombreux facteurs : façonnage du sol, opération culturale, pente etc.. Ce sujet sera repris en IIC.1. Notons que dans nos essais qm varie entre 45 et 80 mm.

Ainsi peut-il y avoir conflit entre : qm et q impliqué par le couple (D/t T) qm a joué le rôle de "contrainte" plus particulièrement au printemps lors des premières irrigations, également aussi en fin de certaines cultures.

### C. METHODES DE TRAVAIL

Pour les études dont le principe a été retenu dès le début du projet il fallait obtenir :

- sur des parcelles dont les dimensions se rapprochent plus de celles rencontrées dans la pratique agricole que celles adoptées quand on considère le champ comme un "laboratoire"
- des résultats assez sûrs pour que des enseignements certains puissent en être dégagés.

Cette optique a dicté le choix :

- des méthodes statistiques
- les méthodes et techniques de prélèvement et d'analyses.

#### 1. METHODES STATISTIQUES

En 1963, au moment du choix des facteurs à mettre en étude, plusieurs possibilités ont été examinées. La base statistique étant donnée aux essais il fallait une planification rigoureuse de chacun d'eux. En particulier un juste milieu entre le coût et la précision devait être trouvé. Par ailleurs la position intermédiaire entre la recherche et la pratique agricole a débouché sur deux séries d'essais : les uns, de type recherche, en parcelles petites ou moyennes, les autres, beaucoup plus proches de la pratique, en grandes parcelles.

##### a. Plan d'essai

Du point de vue du plan des essais et de leur implantation il ne fallait pas perdre de vue que les expériences réalisées devaient servir au plus grand nombre possible de disciplines (coût unitaire plus faible), être en outre d'une exploitation statistique aisée, ils devaient de plus être assez souples et suffisamment robustes. Sur le plan pratique il fallait que l'application des traitements ne pose pas de problèmes et se fasse sans trop de difficultés de façon à éviter les accidents en cours de travail.

Deux schémas classiques ont en définitive été choisis : les Blocs Complets Randomisés et les Blocs Complets avec parcelles subdivisées. Le second schéma, qui présente quelques inconvénients théoriques, n'a été retenu que lorsque l'application des traitements présentait des risques d'accidents en Blocs Complets Randomisés ou que la nature des traitements imposait une subdivision par les risques d'interférences entre parcelles ou de contaminations d'une parcelle à l'autre.

Sur trente essais qui peuvent être signalés par leur importance ou leur durée dix sept sont en Blocs Complets Randomisés et treize en Blocs avec parcelles subdivisées. Tous les essais en grandes parcelles sont en Blocs Complets Randomisés.

b. Traitements

Dans le choix des traitements, chaque fois que cela a été possible, le schéma factoriel a été préféré à la simple étude de traitements différents : de cette façon pouvaient être mis en évidence les effets principaux des facteurs étudiés ainsi que leur interaction. Cette façon d'opérer a fourni plus de renseignements que les simples comparaisons de traitements deux à deux.

De façon à ce que les essais soient relativement simples, et surtout que les conclusions obtenues soient aisément interprétables, des schémas factoriels simples ont toujours été choisis :  $2 \times 2$ ,  $2^2$  ou  $2^3$ .

Dix huit des trente essais sont factoriels, ce sont essentiellement les essais dose x fréquence plus quelques autres tels que dose x lessivage, inoculation et dose x fertilisation x couverture.

c. Nombre de répétitions

En ce qui concerne le nombre de répétitions deux types d'essais doivent être distingués : les essais de base et les essais de confirmation.

Les essais de base ont toujours été conduits en six, sept ou huit répétitions selon le nombre de traitements et, malheureusement quelquefois aussi, les possibilités matérielles, mais toujours de façon à permettre une estimation de la variance résiduelle à dix huit ou vingt degrés de liberté, au strict minimum quinze (dans trois cas seulement).

Les essais de confirmation, dont on exigeait une précision moindre ont systématiquement été conduits en quatre répétitions. Deux essais sont en douze répétitions, mais ils ne comparent que deux traitements.

Une exception doit être signalée dans les essais de base : c'est l'essai qualité d'eau. Il est en quatre répétitions, implanté en Blocs Complets Randomisés. Pour des raisons matérielles (difficultés de mise en place) il n'a pas été possible de porter le nombre de répétitions à plus de quatre. De toute façon de grosses différences étaient attendues et plus de quatre répétitions n'ont pas été jugées indispensables lors de la planification. La suite a d'ailleurs montré que cette vue était juste.

Au total, sur les trente essais, seize sont en quatre répétitions, trois en six, six en sept, trois en huit et enfin deux en douze. Les essais de confirmation en quatre répétitions ont bien répondu à leur objectif.

#### d. Analyse statistique

L'analyse statistique des essais a été très classique : établissement du tableau d'analyse de la variance avec, pour les essais factoriels, décomposition des degrés de liberté en effets principaux et interaction et, pour les autres essais, comparaisons de moyennes deux à deux, ou étude de la forme de la courbe de réponse par les polynômes orthogonaux.

Etant donné l'abondance des mesures en provenance de certains des essais de base (les essais dose x fréquence à Cherfech et Ksar Ghériss et l'essai qualité d'eau) leur analyse a été mécanisée : des programmes ont été écrits pour les exploiter et pour calculer, dans les études d'association, les coefficients de corrélation résiduelle entre variables mesurées sur ces essais. Pour l'exécution des analyses les fiches de présentation étaient remplies au C.R.U.E.S.I. et envoyées en France. Les calculs étaient faits à Paris par un organisme spécialisé et les conclusions renvoyées à Tunis après examen. C'est ainsi que près de 5.400 analyses intéressantes environ 270.000 données numériques ont été faites.

Ces analyses n'ont posé aucun problème particulier, elles ont toujours été très correctes au point de vue précision : la grande majorité des coefficients de variation observés se sont situés autour de 8 % à 12 %, parfois 15 % pour les cultures, de 13 % à 15 % ou de 15 % à 17 % pour les variables chimiques, en particulier la conductivité électrique. A posteriori on peut d'ailleurs dire que si cette précision a été satisfaisante sur le plan recherche (elle a permis de voir des différences et de situer leur importance), elle a été presque trop grande sur le plan pratique puisqu'elle a permis de voir des différences qui étaient, pour la conductivité électrique par exemple, inférieure ou égale à 1 mmho, ce qui est dans la pratique agricole une limite inférieure extrême en dessous de laquelle il est inintéressant de descendre.

En gros donc on peut retenir que la méthodologie statistique a été à la base des essais réalisés, que ces essais ont été conduits le plus simplement et le plus robustement possible, analysés classiquement en cherchant à tester chaque fois les hypothèses intéressantes et à tirer le maximum de renseignements par l'exploitation mécanisée de variables assez nombreuses mesurées sur les essais par différentes disciplines. Ces études générales ont été complétées par des études particulières qui ont entre autre permis la fixation des tailles d'échantillons pour atteindre à une précision acceptable compte-tenu des problèmes matériels posés par la collecte des mesures.

En définitive donc la méthodologie statistique suivie pour la mise en place et l'exploitation des essais a permis d'une part l'estimation valable de la variabilité des résultats, donc la connaissance de leur précision et de leur limite, et d'autre part elle a assuré la validité des conclusions émises et obtenues, bien sûr, dans les conditions tunisiennes.

## 2. METHODES ET TECHNIQUES DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSE

Chaque parcelle élémentaire est l'objet d'une étude suivie, ainsi arrive-t-on à une densité élevée d'échantillonnage et à une fréquence importante de prélèvements. Les études couvrant d'assez grandes surfaces, le nombre des échantillons est considérable.

Par exemple les essais "dose-fréquence" à Cherfech comprennent six traitements en sept répétitions et sont donc réalisés sur 42 parcelles élémentaires, chacune d'environ 300 m<sup>2</sup>.

Il fallait avoir cette notion présente à l'esprit pour s'organiser tant en ce qui concerne les prélèvements que les analyses.

### a. Prélèvement

En reprenant l'exemple présenté plus haut (D-F, Cherfech) il a fallu dans chaque parcelle élémentaire prélever deux profils deux fois par an. Ceci représente donc 168 profils à raison de cinq échantillons par profil ce qui fait un total de 840 échantillons par an pour un seul essai qui couvre 1,5 ha.

Il est bien évident que le prélèvement par fosse pédologique ne pouvait être envisagé ; en revanche une étude préliminaire des profils ayant été faite à raison d'une fosse à l'hectare a permis de définir les horizons successifs et donc de choisir les limites des couches en vue des prélèvements à la tarière.

### b. Analyses

Pour l'équipement des laboratoires, il a fallu mettre l'accent sur les exigences suivantes :

- capacité journalière importante vu le nombre d'échantillons à traiter
- robustesse et simplicité d'emploi du matériel car le personnel a été formé sur place

Les méthodes utilisées sont classiques et ont été détaillées en détail dans la note technique N° 13. Nous n'avons pas cherché à mettre au point de nouvelles techniques, nous avons préféré adopter des méthodes éprouvées dont la fidélité était garantie car ce sont surtout des évolutions et par conséquent des différences que nous avons à étudier.

Les calculs à partir des données numériques fournies par les laboratoires étaient effectués très rapidement par la section spécialisée de manière à pouvoir le cas échéant revenir sur une analyse ayant conduit à un résultat aberrant.

## II. LES RECHERCHES ET LEURS RESULTATS

### A. MAITRISE DE LA SALINITE ET DE L'ALCALISATION DES SOLS



## A. MAITRISE DE LA SALINITE ET DE L'ALCALISATION DES SOLS

Le maintien en bonne condition du sol d'un périmètre irrigué à l'eau salée nécessite la maîtrise de la salinité et de l'alcalisation. En effet l'utilisation de l'eau salée présente un danger immédiat qui est l'accumulation des sels dans le sol et un deuxième danger qui est souvent la conséquence du premier, qui peut apparaître à plus longue échéance mais qui n'en est pas moins grave, celui de l'alcalisation du complexe absorbant. Il faut donc examiner successivement les deux problèmes :

- Salinité
- Alcalisation

## 1. SALINITE

### a. Influences de différents facteurs

#### (1) Qualité de l'eau

Evolution de la salure

- (a)  $EC_e$
- (b) Ions

#### (2) Dose et fréquence

##### (a) Sols argileux à limono-argileux

###### (i) Essai "dose-fréquence"

-DF1 et DF2 à Cherfech

-DF1 et DF2 à Messaoudia

###### (ii) Essai "dose" (Dr) à Cherfech

###### (iii) Essai "lessivage d'hiver" à Cherfech

##### (b) Sols sablo-argileux

###### (i) Essai "dose - fréquence" : DF1,DF2,DF3 à Nakta

###### (ii) Essai "lessivage d'hiver" à Nakta

##### (c) Sols sableux

Essai "dose - fréquence" : dfc, dfb, DFC, DFB à Ksar Ghériss

#### (3) Mode d'apport

##### (a) Salure et mode d'épandage

##### (b) Salure et distance depuis l'origine de la parcelle

##### (c) Salure dans un billon

###### (i) Profil du billon

###### (ii) Orientation du flanc du billon

### b. Exemples d'évolution de la salinité

#### (1) Cas d'un sol surirrigué

#### (2) Lessivage de sols très salés

##### (a) Utique

##### (b) Tozeur

### c. Efficacité du lessivage

#### (1) Description de la méthode utilisée

#### (2) Tozeur

#### (3) Cherfech

## 2. ALCALISATION

### a. Influence de différents facteurs

#### (1) Qualité d'eau : QDE à Cherfech

#### (2) Dose et fréquence : DF1 à Cherfech et dfc à Ksar Ghériss, "Bilan" à Cherfech

### b. Désalcalisation d'un sol : Utique

### c. Relation entre alcalisation et salinité

## 1. SALINITE

La salinité du sol dépend de nombreux paramètres. Un essai d'analyse des effets des principaux facteurs est nécessaire avant de présenter les observations faites sur l'évolution de cette salinité en se plaçant dans les situations locales étroitement définies qui ont permis d'étudier "l'efficacité de lessivage".

Dans ce qui suit, l'accent n'a volontairement pas été mis sur les cultures. La nature de celles-ci et les apports d'eau sont donnés en annexe (tableaux II A-t20 à 27).

### a. INFLUENCE DE DIFFERENTS FACTEURS

#### (1) Qualité de l'eau

L'objet de ce travail a été de déterminer les évolutions de la salure dans un sol salé et calcaire, pendant quatre années de culture irriguée avec des eaux saumâtres.

L'essai a été réalisé en plein champ à la station expérimentale de Cherfech avec quatre qualités d'eau sur quatre soles similaires (référencées I, II, III, IV) et en quatre répétitions.

Les régimes d'irrigation, les quantités d'engrais, les façons culturales ont été les mêmes pour les quatre traitements, la qualité de l'eau d'irrigation étant la seule variable de l'essai. Les apports ont été de l'ordre de 1000 mm par an. La hauteur de précipitation de cette région est de 420 mm environ dont 400 mm en hiver.

Les cultures faites ainsi que le mode d'irrigation pratiqué au cours de l'expérimentation sont donnés dans le tableau II.A-t1 :

Tableau II.A-t1 : Cultures et modes d'irrigation pratiqués

Sole	Eté 65	Hiver 65-66	Eté 66	Hiver 66-67	Eté 67	Hiver 67-68	Eté 68
I	Luzerne (planche)	Luzerne (planche)	Luzerne (planche)	Trèfle (planche)	Mais (billon)	Fèves (billon)	Piments (billon)
II	Mais (billon)	Ray-grass corrugation	Mais (billon)	Ray-grass corrugation	Pastèque (billon)	Betterave (planche)	Artichaut (billon)
III	Sorgho- fourrager (planche)	Bersim (planche)	Sorgho- fourrager (planche)	Bersim (planche)	Sorgho- fourrager (planche)	Bersim (planche)	Tomates (billon)
IV	Artichaut (billon)	Artichaut (billon)	Artichaut (billon)	Artichaut (billon)	Tomates (billon)	Ray-grass (planche)	Coton (billon)

Les irrigations ont été faites avec quatre catégories d'eau différant entre elles par la teneur en sels totaux. Les eaux disponibles étaient celle de l'oued Ellil, celle de l'oued Medjerdah et celle d'un puits situé sur la station. Les quatre qualités d'eau ont été obtenues de la façon suivante :

- A : eau de l'oued Ellil seule
- B : mélange de l'eau de l'oued Ellil et de celle de l'oued Medjerdah dans la proportion 1/1
- C : eau de l'oued Medjerdah seule
- D : mélange de l'eau de l'oued Medjerdah et de celle d'un puits dans la proportion 2/1

L'eau de la Medjerdah a une concentration saline qui subit au cours de l'année des variations allant de 1 à 3 g/l. Les qualités B, C et D varient donc au cours de l'année. C'est pourquoi à chaque irrigation la composition chimique de ces eaux a été déterminée : elle est donnée dans le tableau II.A-t2 dont les valeurs représentent les moyennes des étés 1965, 66, 67 et 68 et des hivers 65-66, 66-67, 67-68. Seule la teneur en sels totaux varie, mais le rapport entre les ions reste pratiquement le même.

Tableau II.A-t2 : Composition des eaux d'irrigation A, B, C, D

Qualité d'eau	Epoque	EC <sub>e</sub> mmhos/cm	RS g/l	mé/l							SAR
					SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
A	Eté et Hiver	0,3	0,2	1,1	0,7	1,1	1,5	0,4	0,1	0,8	0,8
B	Eté	2,2	1,4	12,9	8,0	1,8	6,6	3,1	0,1	13,0	5,9
	Hiver	1,8	1,1	10,0	6,2	1,4	5,3	2,5	0,1	10,0	5,1
C	Eté	3,7	2,5	23,1	14,3	2,3	11,2	5,5	0,2	22,9	7,9
	Hiver	3,2	2,1	19,1	11,8	2,0	9,4	4,4	0,2	19,0	7,2
D	Eté	5,4	3,6	33,1	21,1	2,7	16,3	8,9	2,6	30,8	8,7
	Hiver	4,9	3,3	30,5	19,4	2,5	15,0	8,2	2,4	28,3	8,3

Des déterminations de la salure du sol ont été effectuées au printemps et à l'automne de chaque année, c'est-à-dire au début et à la fin de la culture.

Des variations ont été observées à l'intérieur de chacun des quatre traitements ; elles sont la résultante de plusieurs facteurs : la saison, les apports d'eau, le drainage, le mode d'irrigation. Ces variations seront étudiées dans d'autres essais, seules sont considérées ici les différences entre les quatre traitements dues au facteur qualité d'eau d'irrigation.

### Evolution de la salure

#### (a) La conductivité électrique de l'extrait de saturation

L'examen de l'évolution de la salure du sol sur une profondeur de 1,50 m fait ressortir que les quatre traitements ont amené rapidement les sols à des salinités nettement différentes, et que les quatre soles ont réagi de la même façon (figure II.A-f1). Toutefois, bien que le sens général de cette évolution soit le même, le niveau de salure atteint à chaque époque diffère suivant la sole considérée étant donné que la rotation des cultures n'a pas été la même pour chaque sole. Les évolutions de la salure observées sont plus ou moins marquées suivant la profondeur : exemple la sole I (figure II.A-f2). Dès la fin de la première saison d'expérimentation - c'est-à-dire en automne 65 - les quatre traitements ont nettement marqué dans les couches 0-40 et 40-80 cm. Les couches plus profondes (80-150 cm) ne subissent que plus tardivement l'action des quatre qualités d'eau, et la réponse est plus ou moins nette suivant les soles. Les différences entre les EC<sub>e</sub> observées aux automnes successifs et les EC<sub>e</sub> constatées au départ dans la couche 0-150 cm, ont augmenté régulièrement en valeur absolue depuis le début jusqu'à la fin de l'expérimentation pour tous les traitements à l'exception du B (tableau II.A-t3).

Tableau II.3-t3 : Différence entre les  $EC_e$  des automnes 65, 66, 67, 68 et les  $EC_e$  du printemps 65 (couche 0-150 cm) en mmhos/cm

Traitement	Epoque			
	Aut. 65	Aut. 66	Aut. 67	Aut. 68
A	- 0,2	- 0,9	- 1,2	- 1,4
B	0,3	0,1	0,3	0,6
C	0,7	1,2	1,3	1,9
D	1,1	2,1	2,6	3,2

Le traitement A dessale le sol, le B maintient la salure à son niveau originel alors que les C et D l'augmentent. Ceci pourrait indiquer que, sauf pour B, on n'est pas encore complètement arrivé à un équilibre de salure. Cependant il faut souligner que même l'eau la plus chargée (3,5 g/l) n'a pas fait apparaître de réels dangers dans les conditions où elle a été utilisée. Si la salure est arrivée à des taux parfois élevés en fin de période d'irrigation, chaque fois, au cours de l'hiver suivant, le lessivage provoqué par quelques irrigations et surtout par les pluies a ramené ce taux à une valeur très acceptable pour la prochaine culture.

(b) Les ions

La composition chimique des extraits de pâte de sol saturé a été déterminée à chaque époque. La figure II.A-f3 donne pour la sole I l'évolution des ions  $Cl^-$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$  dans les traitements extrêmes A et D qui seuls ont été représentés afin de rendre le graphique plus clair. Les traitements B et C se placent à l'intérieur des courbes A et D. Pour tous les ions le classement est le même que celui constaté pour la  $EC_e$  : l'accumulation des sels va croissant de A à D et elle se fait surtout dans la couche 0-100 cm, les horizons plus profonds ne varient que très peu (figure II.A-f4). Il y a cependant une exception pour les bicarbonates dont la teneur va au contraire augmentant de D à A : cet effet est surtout visible dans la couche 0-40 cm et est imputable au développement plus important du système racinaire des plantes dans les parcelles moins salées, ce qui amène, par suite du phénomène de respiration, une tension plus élevée du  $CO_2$  de l'atmosphère du sol et par voie de conséquence une formation plus importante de bicarbonate.

Pour les traitements B, C et D les ions se sont classés par ordre d'importance décroissante d'accumulation :  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ . Ce classement coïncide avec celui des ions contenus dans les eaux d'irrigation utilisées (figure II.A-f5).

## (2) Dose et fréquence

Le problème posé était de juger si un apport supplémentaire d'eau à chaque irrigation (lessivage permanent) est nécessaire pour améliorer le rendement des cultures et maintenir la salure du sol à un taux acceptable ou si au contraire, on peut se limiter à un apport plus faible en été, en pratiquant le lessivage d'hiver (lessivage saisonnier). Afin de répondre à cette question deux facteurs doivent être considérés : la dose apportée et la fréquence des interventions. Dans l'expérimentation entreprise ces deux facteurs ont été étudiés soit ensemble soit séparément, en période d'été et en période d'hiver. Ces expériences ont été réalisées sur plusieurs des stations afin de disposer d'une gamme de sols allant des sols argileux aux sols sableux et d'une gamme d'eaux d'irrigation dont la teneur en sels allait de 2 à 4 g/l.

### (a) Sols argileux à limono-argileux

Les essais ont été implantés à Cherfech et à Messaoudia ; l'eau utilisée titrait 2 g/l dans les deux cas. Le programme d'expérimentation réalisé comprenait trois séries d'essais ayant chacune des objectifs différents et se complétant à savoir : des essais "dose et fréquence", des essais "dose" et des essais "lessivage d'hiver".

#### (i) Essai "dose et fréquence"

Les deux facteurs sont étudiés ensemble : il s'agit de déterminer dans une gamme de doses assez restreinte quelle est la fréquence optimale. L'expérimentation a été faite à Cherfech et à Messaoudia.

Cherfech : Deux essais désignés DF<sub>1</sub> et DF<sub>2</sub> comportèrent trois doses et deux fréquences. Ces traitements ne sont pas appliqués au cours des deux premiers mois de la culture, les irrigations étant homogènes pendant cette période, à l'exception de l'année 68 où les cultures reçoivent des apports d'eau différents dès le début. En période de pleine croissance, en été les doses sont maintenues respectivement à 75 % (D<sub>1</sub>), 100 % (D<sub>2</sub>) et 125 % (D<sub>3</sub>) de la consommation en plein champ c'est-à-dire que la dose D<sub>1</sub> représente l'économie d'eau et la dose D<sub>3</sub> le lessivage permanent. Pendant le premier et le dernier stade de la culture où la consommation est plus basse la dose minimale D<sub>1</sub> est celle nécessaire pour arriver en bout de parcelle. Comme la dose minimale dépasse à ce moment là la consommation, le lessivage a donc lieu sur tous les traitements en début et souvent en fin de culture.

Les conclusions apportées ici sont établies sur les résultats de cinq années d'expérimentation : du printemps 1964 à l'automne 1968.

- Essai DF<sub>1</sub>

- L'étude statistique des résultats obtenus à chaque époque montre que :

Les doses (figure II.A-f6) n'ont pratiquement eu un effet sur la salure du sol qu'à quatre époques. Les différences observées statistiquement significatives mettent en évidence que D<sub>1</sub> sale plus que D<sub>2</sub>

et D<sub>3</sub>. La moyenne de ces différences est de 0,7 mmho/cm.

Les fréquences (figure II.A-f6') ont marqué à quatre époques mais, les différences observées, quoique statistiquement significatives, sont faibles (en moyenne de 0,7 mmho/cm) et le sens de l'effet est en faveur tantôt de la période courte, tantôt de la période longue.

L'influence des traitements s'est donc traduite par des différences de salure de l'ordre de 0,7 mmho/cm aussi bien pour les doses que pour les fréquences, ce qui est inférieur à la moyenne des variations saisonnières qui est de 2,1 mmho/cm pour la couche 0-40 cm et de 0,6 mmho/cm pour la couche 40-80 cm. On peut donc conclure que pratiquement les trois doses et les deux fréquences n'ont donné aucune différence de salure.

En plus de la réponse aux traitements "dose et fréquence", l'essai DF<sub>1</sub> a fourni un complément de renseignements intéressant l'évolution et les variations saisonnières de la salure sur l'ensemble de la parcelle.

Les six traitements appliqués n'ayant pas amené de différences essentielles dans la salure du sol, il est possible de se servir de la moyenne de ces traitements pour juger de l'évolution de la salure sur l'ensemble des parcelles au cours des cinq années d'expérimentation (figure II.A-f6'). En comparant la conductivité moyenne du profil au printemps 64 (6,1 mmho/cm) à celle au printemps 68 (4,1 mmho/cm) on constate une diminution de 2 mmho/cm. Cette chute de salure ne s'est pas produite d'une façon uniforme dans tout le profil. En examinant l'évolution couche par couche, il ressort au contraire que cette diminution générale est la résultante d'une augmentation faible en surface (0-40 cm) et d'une forte diminution en profondeur (40-150 cm) comme le montrent les chiffres donnés dans le tableau II.A-t4.

Tableau II.A-t4 : EC<sub>e</sub> aux printemps 64 et 68 en mmho/cm

Profondeur en cm	0-20	20-40	40-80	80-120	120-150
Printemps 64	1,1	1,5	4,5	9,2	10,5
Printemps 68	1,4	2,4	3,6	5,6	5,9

Au cours des cinq années d'expérience la salure du sol a été soumise à une variation saisonnière très marquée se manifestant sur une profondeur de 80 cm : augmentation en été imputable à l'évapotranspiration et diminution en hiver due au lessivage par les irrigations et les pluies. Elle est en moyenne de 2mmho/cm pour la couche 0-40 cm et de 0,6 mmho/cm pour la couche 40-80 cm. Cette variation n'existe pas dans la couche profonde 80-150 cm, ou plus exactement elle n'apparaît que plus tard, à partir du printemps 66, et à l'inverse de celle observée dans les couches supérieures elle fait apparaître une augmentation en hiver et une diminution en été (tableau II.A-t5) :

Tableau II.A-t5 : Evolution de  $EC_e$  du printemps 64 à l'automne 68

Couche cm	Epoque									
	P64	A64	P65	A65	P66	A66	P67	A67	P68	A68
0-40	1,4	3,2	2,4	4,8	2,5	4,4	2,4	4,3	1,9	5,4
40-80	4,5	4,3	4,2	5,5	3,8	3,9	3,1	3,8	3,6	4,1
80-150	9,8	7,7	7,0	6,9	6,9	6,1	6,1	5,3	5,7	5,4

Pendant l'été les irrigations permettent un lessivage de la couche profonde (80-150 cm) où l'action de l'évapotranspiration est très réduite ; en hiver au contraire l'augmentation de la teneur en sels peut se produire soit par remontée capillaire à partir de la nappe soit par accumulation des sels des couches supérieures entraînés par les irrigations et les pluies. Ce phénomène n'est pas apparu au cours des deux premières années parce qu'étant d'une faible importance il était masqué par la très forte salure des couches profondes qui subissaient alors un lessivage constant même avec des eaux de percolation chargées. Ceci paraît indiquer que sous l'effet des irrigations pratiquées la salure du sol s'est stabilisée. Le niveau atteint doit logiquement être fonction de la salinité de l'eau utilisée et du régime des apports.

- Essai  $DF_2$

L'expérimentation a été faite suivant le même schéma que celui de  $DF_1$ . Les rapports entre les trois doses ont été identiques mais la rotation des cultures étant différente, les apports d'eau ont été moins importants pour le  $DF_2$  en hiver.

Les effets des six traitements ainsi que l'évolution de la salure dans l'essai  $DF_2$  (figures II.A-f7 et 7') ont été tout à fait comparables à ce qui a été observé dans l'essai  $DF_1$  à ceci près que le lessivage a été moins intense : au cours de la période printemps 65 - printemps 68 la salure moyenne du profil est passée de 6,1 à 4,1 mmho/cm pour  $DF_1$  contre 5,1 à 4,9 pour le  $DF_2$  ; les apports d'eau moins importants en hiver pour le  $DF_2$  en sont la principale cause.

Messaoudia : deux essais "dose et fréquence", désignés  $DF_1$  et  $DF_2$ , ont été installés. Le sol est limono-argileux. Le climat est plus aride qu'à Cherfech, en particulier la hauteur de précipitation moindre (290 mm). Les apports d'eau ont été inférieurs à ceux donnés à Cherfech d'environ 1 mm/j. Les traitements ont été appliqués dès le début des cultures.

Les réponses au traitement "fréquence" (figure II.A-f8) sont

semblables à celles observées à Cherfech : la longueur de la période n'influe pas sur la salure.

Par contre, les doses (figure II.A-f8) ont marqué dans les couches 0-40 et 40-80 cm d'une façon nette pour l'essai DF<sub>1</sub>, plus atténuée pour l'essai DF<sub>2</sub> et dans le sens : D<sub>1</sub> sale plus que D<sub>2</sub> qui sale lui-même plus que D<sub>3</sub>. Les différences de réponses aux traitements et de niveaux de salure observées entre les deux essais sont dues au mode d'irrigation qui a été tantôt le calant, tantôt le billon. L'application des doses pendant une durée plus longue et la hauteur de précipitation en hiver moins importante qu'à Cherfech, expliquent qu'à Messaoudia la réponse au traitement à "Dose" ait été significative alors qu'aucun effet n'a été enregistré à Cherfech.

Cette expérience ne portant que sur deux années il n'est pas possible à la vue de ces premiers résultats, d'exclure la dose D<sub>1</sub> en faveur des doses D<sub>2</sub> ou D<sub>3</sub>. Il est nécessaire de poursuivre les essais afin de vérifier si dans les conditions de Messaoudia il existe à long terme un danger d'utiliser des apports aussi faibles que D<sub>1</sub> ou si au contraire les niveaux élevés de salure obtenus par ces apports peuvent être rabaissés par l'action des pluies et des irrigations d'hiver.

#### (ii) Essai "dose"

Afin de mieux étudier l'économie d'eau, un essai de quatre doses d'irrigation sur une culture de luzerne a été mis en place à Cherfech. Le traitement D<sub>0</sub> est la dose minimale pour permettre à l'eau d'arriver en bout de parcelle. Les traitements D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> équivalent respectivement à 1,5 - 2 et 2,5 fois la dose D<sub>0</sub>. En été les traitements D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub> correspondent dans l'ordre à un apport journalier de 4, 6, 8 et 10 mm, se situant autour de la consommation maximale en plein champ de 7 mm par jour ; D<sub>0</sub> étant nettement inférieur à cette valeur on peut le considérer comme un régime d'économie d'eau.

L'expérimentation a porté sur deux années. Les traitements sont appliqués dès le début des irrigations. Les apports d'eau dans chacun des traitements ont été les mêmes en été 67 et en été 68. Pendant l'hiver 67-68 l'irrigation a été poursuivie alors qu'elle a été arrêtée pendant l'hiver 68-69. La figure II.Af9 montre l'évolution de la salure du printemps 67 au printemps 69.

Les profils de salure aux automnes 67 et 68 sont très voisins : les quatre doses, après les irrigations d'été, ont toutes salé le sol et il existe une différence de niveau de salure très nette entre les quatre traitements dans l'ordre D<sub>0</sub> > D<sub>1</sub> > D<sub>2</sub> > D<sub>3</sub>.

Après les irrigations et les pluies de l'hiver 67-68 les différences de salure existent toujours entre les quatre traitements, mais pour tous les traitements la salure est revenue à une valeur inférieure à celle du départ : même la dose D<sub>0</sub> a permis de ramener la salure moyenne du profil à son niveau d'origine.

Par contre, après l'hiver 68-69, pendant lequel les parcelles

n'ont pas été irriguées, si la couche 0-20 cm s'est dessalée sous l'influence des pluies, le restant du profil accuse une augmentation de salure due à la fois à l'accumulation des sels lessivés de la couche 0-20 cm et à la remontée capillaire à partir de la nappe.

En conséquence la dose  $D_0$  qui représente environ 50 % de la consommation de la culture et à fortiori la dose  $D_1$  qui en représente environ 75 % peuvent être considérées comme suffisantes pour maintenir un niveau de salure acceptable à condition qu'au cours de l'hiver suivant quelques apports d'eau viennent compléter l'action de la pluie ou que le lessivage soit fait sous l'action des premières irrigations lors de la mise en culture au printemps.

### (iii) Essai "Lessivage d'hiver"

Les essais précédents ayant montré dans l'ensemble que le lessivage saisonnier paraissait plus avantageux que le lessivage permanent, une expérience a été mise en place à Cherfech dans le but de préciser la quantité d'eau optimale à apporter au cours d'un lessivage d'hiver. Cette expérimentation a été faite pendant trois hivers successifs.

Un premier essai, comportait quatre traitements ( $CD_1$ ,  $CD_2$ ,  $PD_1$ ,  $PD_2$ ) mettant en jeu deux doses et deux modes d'irrigation. La dose  $D_1$  était celle nécessaire pour arriver en bout de parcelle, la dose  $D_2$  était supérieure de 40 % à  $D_1$ . Les modes d'irrigation étaient la planche (P) et la corrugation (C).

Les apports d'eau en quatre irrigations ont été de 458mm ( $D_1$ ) et 640 mm ( $D_2$ ), la hauteur de précipitation de 395 mm et les quantités d'eau drainée de l'ordre de 180 mm et 360 mm. La salure du sol a été suivie régulièrement au cours de l'hiver : ni les doses, ni les modes d'irrigation n'ont fait apparaître de différences nettes, comme le montre la figure II.A-f10 donnant les valeurs  $EC_e$  pour les différents traitements et aux différentes époques de prélèvement.

Un deuxième essai a été effectué pendant l'hiver 67-68 avec une gamme de quatre traitements :

- $D_1$  : une irrigation au semis
- $D_2$  : une irrigation au semis, suivie d'une deuxième irrigation
- $D_3$  : plusieurs irrigations en fonction de la hauteur de précipitation
- $D_4$  : comme  $D_3$ , mais majorée de 40 %

Le mode d'irrigation a été la planche.

La hauteur de précipitation lors de cette période a été de 280 mm et la quantité d'eau drainée pour la dose  $D_1$  serait de l'ordre de 75 mm. Les apports d'eau en mm sont donnés dans le tableau II.A-t6 :

Tableau II.A-t6 : Apports d'eau en mm au cours du deuxième essai

Date	10.11.67	26.11.67	8.4.68	20.4.68	Total
D <sub>1</sub>	112,5	0	0	0	112,5
D <sub>2</sub>	112,5	97,5	0	0	210
D <sub>3</sub>	112,5	97,5	211	112	533
D <sub>4</sub>	157,5	122	225	157	731,5

Les quatre traitements n'ont pratiquement pas apporté de différences nettes dans la salure du sol (figure II.A-f10), sauf pour la couche 40-80 cm où le traitement D<sub>1</sub> a salé plus que les autres.

Un troisième essai effectué pendant l'hiver 68-69 était la répétition du deuxième à ceci près que dans les traitements D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> plusieurs irrigations ont été faites au cours du premier mois de la culture.

La hauteur de précipitation a été de 240 mm. Les apports d'eau sont donnés dans le tableau II.A-t7.

Tableau II.A-t7 : Apports d'eau en mm au cours du troisième essai

Date	12.10 au 6.11.68	10.11 au 29.11.68	23.2.69	26.3.69	Total
D <sub>1</sub>	127	0	0	0	127
D <sub>2</sub>	127	64	0	0	191
D <sub>3</sub>	127	64	86	86	363
D <sub>4</sub>	168	90	120	120	498

Comme pour les deux premiers essais la salure du sol dans la couche 0-40 cm n'a pratiquement pas été influencée par les traitements (figure II.A-f10). Par contre un effet très marqué est apparu dans les couches 40-80 et 80-120 cm : la salure du sol va croissante depuis les parcelles ayant reçu le traitement D<sub>4</sub> jusqu'à celles ayant reçu le traitement D<sub>1</sub>. Les apports d'eau d'irrigation ayant été sensiblement les mêmes que ceux appliqués l'hiver précédent, notamment dans les traitements D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub>, il semble qu'il faille imputer la différence de réponse entre les deux essais, à la hauteur de précipitation qui a été inférieure au cours de l'hiver 68-69 et à la répartition des apports.

(b) Sols sablo-argileux

(i) Essai "dose et fréquence"

Cette expérimentation a été effectuée sur sol sablo-argileux à Nakta avec une eau titrant 3,8 g/l. Trois essais désignés DF<sub>1</sub>, DF<sub>2</sub>, DF<sub>3</sub> ont été mis en place.

Les résultats sont présentés dans la figure II.A-f11.

Les fréquences T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> n'ont pratiquement pas eu d'effet dans l'essai DF<sub>2</sub> ; elles marquent dans les essais DF<sub>1</sub> et DF<sub>3</sub> , mais d'une façon opposée, ce qui paraît aberrant à première vue mais qui est en réalité logique : en effet le traitement "Fréquence" n'a pas été appliqué de la même manière dans les deux cas. Pour DF<sub>3</sub> , les parcelles T<sub>1</sub> ont eu des périodes courtes et donc des apports par intervention , réduits (cf.I. B.3). Les parcelles T<sub>2</sub> ont eu des périodes longues et donc des apports par intervention, importants. En conséquence les plantes ont plus consommé en T<sub>1</sub> qu'en T<sub>2</sub> et la percolation a été faible ou inexistante en T<sub>1</sub>, possible en T<sub>2</sub>. L'évolution de la salure a donc été plus favorable en T<sub>2</sub> qu'en T<sub>1</sub>. Pour DF<sub>1</sub> les parcelles T<sub>1</sub> n'ont pas été irriguées pendant les deux mois d'été alors que les parcelles T<sub>2</sub> l'ont été régulièrement. Les apports annuels ayant été les mêmes pour T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> il s'en est suivi que les parcelles T<sub>1</sub> ont reçu au printemps et à l'automne des quantités d'eau plus importantes que les parcelles T<sub>2</sub> ; il y a eu surirrigation d'où possibilité d'obtenir à la fois une consommation plus forte de la plante et une certaine percolation : le résultat a été une diminution de la salure du sol ou une limitation à son augmentation. Pour les parcelles T<sub>2</sub> la situation était inversée.

Les doses ont eu dans les trois essais un effet qui classe les trois traitements toujours dans le même ordre D<sub>1</sub> , D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>. L'intensité de cet effet n'est pas identique dans chacun des essais : les différences observées ayant comme origine les différences d'apports d'eau et les différences de consommation des cultures pratiquées. Ce qui est à remarquer et qui est commun à chaque essai c'est que les salures atteintes en fin d'été, si importantes soient-elles, ont pratiquement toujours été rabaissées au cours de l'hiver : c'est une constatation importante car elle signifie qu'il est possible de maîtriser la salure.

(ii) Essai "Lessivage d'hiver"

Afin de préciser les possibilités de lessivage en hiver, deux essais, désignés DF<sub>4</sub> et DL, ont été mis en place sur la même station au cours de l'hiver 68-69. Trois doses de lessivage ont été expérimentées L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> correspondant respectivement à environ 525, 700 et 875 mm.

Les deux essais se différenciaient au départ par leur niveau de salure : dans la couche 0-40 cm l'EC<sub>e</sub> était de l'ordre de 11 mmho /cm pour l'essai DL. de 7 pour le DF<sub>4</sub> .

Comme le montre la figure II.A-fl2 trois observations se dégagent des résultats obtenus :

- Les trois traitements ont marqué :  $L_3$  lessive plus que  $L_2$  qui lui-même lessive plus que  $L_1$ . Mais les différences constatées en fin d'opération sont faibles et compte tenu de l'importance des différences dans les apports d'eau (350 mm entre  $L_1$  et  $L_3$ ) ce sont les considérations économiques qui doivent dicter le choix du traitement.

- Dans les deux essais les premières irrigations, faites en Octobre et Novembre n'ont pas provoqué de chute appréciable de la salure et le lessivage n'a pratiquement commencé qu'à partir de Décembre pour se terminer fin Février - début Mars. Ceci montre que pour obtenir le maximum d'efficacité des apports en vue de lessivage ces derniers doivent être effectués pendant l'hiver de manière à bénéficier non seulement des pluies mais aussi de la réduction de l'évapotranspiration.

- Parti de niveaux de salure très différents aussi bien dans l'essai DF<sub>4</sub> que dans l'essai DL, on est arrivé en fin de lessivage, début Mars, à des salures voisines de l'ordre de 6 mmho/cm. Il semble, qu'on ne soit plus très loin de la valeur la plus faible pouvant être obtenue dans le périmètre de Nakta compte tenu de la qualité de l'eau disponible.

#### (c) Sols sableux

Des essais ont été faits à Ksar Ghériss. Le sol est un sol steppique reposant sur un dépôt de texture moyenne riche en calcaire et en nodules calcaires. Ce sont des sols sableux dans les parties supérieures, sablo-argileux en profondeur. L'eau d'irrigation titre à 4,0 g/l.

L'expérimentation a été commencée en 1965 : trois doses ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ) et deux fréquences ( $T_1$ ,  $T_2$ ) ont été étudiées. La dose  $D_1$  est celle qui permet à l'eau d'arriver en bout de parcelle. La dose  $D_2$  apporte à chaque irrigation 25 % en plus, alors que pour la dose  $D_3$ , qui est égale à  $D_2$ , le supplément par rapport à  $D_1$  est apporté en une ou deux fois au cours ou à la fin d'un cycle d'irrigation. En somme,  $D_1$  est l'économie d'eau,  $D_2$  le lessivage permanent,  $D_3$  le lessivage saisonnier.

Quatre essais, comprenant sept répétitions chacun, ont été mis en place : deux en grandes parcelles (12 x 68 m), deux en petites parcelles (12 x 17 m). Deux modes d'irrigation ont été pratiqués : le billon et le calant. Ces quatre essais sont désignés de la façon suivante :

dfc	:	petites parcelles en calant
dfb	:	petites parcelles en billon
DFC	:	grandes parcelles en calant
DFB	:	grandes parcelles en billon

Les résultats que nous donnons ci-après concernent la période allant de Juin 1965 au printemps 69.

Les doses ont eu sensiblement les mêmes effets dans les quatre essais sur l'évolution de la salure du sol (fig. II.A-fl3 et II.A-fl4) :

dfc : elles ont marqué presque à toutes les époques : les niveaux de salure atteints se classent ainsi  $D_1 > D_2, D_3$  ou  $D_1 > D_2 > D_3$ , mais les différences observées sont relativement faibles, de 0,7 mmho/cm en moyenne.

DFC : elles ont très peu marqué, moins souvent que dans l'essai en petites parcelles (dfc) et quand elles l'ont fait les différences observées intéressent presque toujours uniquement la zone à nodules calcaires et non les couches supérieures ce qui est la conséquence des apports d'eau plus importants dans l'essai en petites parcelles. Ces différences indiquent dans la majorité des cas un classement des salures :  $D_1 > D_2 > D_3$ , mais elles sont aussi très faibles, en moyenne 0,5 mmho/cm.

dfb : elles ont assez souvent marqué, et la dose  $D_1$  a salé plus que la dose  $D_3$ , plus aussi que la dose  $D_2$  mais cette dernière différence n'a pas toujours pu être mise statistiquement en évidence. Les différences constatées se situent aux environs de 1 mmho/cm.

DFB : elles n'ont jamais marqué dans la couche 0-20 cm ; par contre on trouve des effets dans les autres couches à toutes les époques, le classement des salures étant toujours  $D_1 > D_2 > D_3$ . Mais les différences observées sont, comme dans les trois autres essais, très faibles, de l'ordre de 0,6 mmho/cm.

Les fréquences ont très peu marqué aussi bien dans les essais en petites parcelles, que dans ceux en grandes parcelles et quand les différences significatives sont apparues entre les deux traitements  $T_1$  et  $T_2$ , le sens de l'effet est en faveur tantôt de la période courte, tantôt de la période longue. Mais les différences observées sont, comme pour le facteur "Dose", très faibles, en moyenne de 0,4 mmho (figures II.A-f15 et II.1-f16).

En conclusion on peut dire que les six traitements d'irrigation expérimentés n'ont pas apporté de différences de salure suffisante pour permettre d'exclure tel traitement en faveur de tel autre. Si l'on considère uniquement l'évolution de la salure du sol les résultats obtenus plaident évidemment en faveur de la dose  $D_1$  (économie d'eau). En effet, la dose  $D_1$ , bien qu'étant en principe la dose d'économie d'eau a été suffisante pour obtenir le maintien de la salure du sol à un niveau acceptable pour les cultures. Mais cette conclusion ne saurait être impérative étant donné que les différences moyennes observées ne dépassent jamais 1 mmho/cm. C'est donc les considérations agronomiques et économiques qui doivent prévaloir pour le choix de la dose et de la fréquence de l'irrigation.

### (3) Mode d'apport

La salure du sol est liée aux mouvements de l'eau en surface comme dans la masse de terre et à l'évaporation dont la localisation

dépend des mouvements internes évoqués ci-dessus.

Les nombreux essais réalisés pour examiner ce sujet seront analysés ainsi :

Sujet étudié	Variables
(a) Salure	Mode d'épandage
(b) Salure	Distance depuis l'origine de la parcelle
(c) Salure dans un billon	profil du billon, orientation du flanc du billon

(a) Salure et mode d'épandage

(i) études provenant de Ksar Ghériss

On a considéré dans le profil du sol trois couches

- 0-20 cm
- de 20 jusqu'à l'horizon à nodules calcaires (environ à 60-80 cm)
- les 20 cm supérieurs de cet horizon.

La salure moyenne de ces couches a été déterminée à différentes époques. Ce travail a été effectué pour des parcelles irriguées par :

- planches
- billons.

Remarques

- Les résultats exposés ci-dessous proviennent soit d'essais spécialement mis en place pour étudier l'influence du mode d'épandage sur la répartition de l'eau et de la salure soit des essais "Dose - Fréquence". Dans ce dernier cas on a pris la moyenne des traitements.
- Les billons qui variaient entre 12 et 15 cm de hauteur (cf. I.B.2) posaient un problème pour ce qui concernait la couche 0-20 cm. Une expérimentation spéciale a été réalisée afin de mettre au point une méthode de prélèvement telle que l'échantillonnage soit représentatif de la dite couche.
- Les résultats proviennent de parcelles qui ont été irriguées durant toutes les années d'observation selon un seul mode d'arrosage.

Ces résultats sont consignés dans la figure II.A-f17. Ils mettent en évidence des différences entre les planches et les billons qui

se manifestent d'une part dans la répartition de la salure dans le profil et d'autre part dans les niveaux de salure atteints.

Dans les planches la salure a été relativement constante et homogène dans tout le profil au cours des 4 années d'expérimentation, les couches supérieures étant cependant un peu moins salées. Dans les billons au contraire la salure a présenté une hétérogénéité très marquée : la couche de surface (0-20 cm) se distingue franchement des couches sous-jacentes par une salure plus élevée et plus variable.

Sur l'ensemble du profil, c'est-à-dire sur 1 m d'épaisseur environ, le niveau de salure des parcelles irriguées en billons est supérieur à celui observé dans les parcelles irriguées en planches : 5 mmho/cm contre 3,5 mmho/cm en moyenne en considérant toute la durée de l'expérience.

(ii) études provenant de Cherfech

Les essais ont été conduits de façon similaire à celle précédemment exposée à l'exception des deux points suivants :

- seule la couche 0-20 cm a été étudiée
- l'aspersion a été utilisée

Le tableau II.A-t8 donne les résultats à l'issue d'une saison d'irrigation.

Tableau II.A-t8 : Apports d'eau et  $EC_e$

	Mode d'épandage		
	billon	planche	aspersion
Apport pour la saison en mm	414	494	423
$EC_e$ en mmho/cm	6,3	4,8	6,8

(b) Salure et distance depuis l'origine

Pour observer les recommandations faites au début du projet, à savoir que certaines expérimentations devaient être conformes à la "réalité agricole", cette relation a été étudiée sur des parcelles dont les dimensions et la gestion reflétaient une pratique agricole soignée.

Les études effectuées à Ksar Ghériss ont porté sur des planches et des billons de 68 m de longueur, ayant une pente d'environ 8% ; les débits engagés ont été respectivement de 20 à 30 l/s sur 12 m de large pour les planches et de 10 à 12 l/s sur 18 m pour les billons.

Les prélèvements de sol ont été faits en considérant les parcelles (planches ou billons) comme formées de trois zones :

la tête	:	zone comprise entre	4 et 24 m	à compter de l'origine
le milieu	:	" " "	24 et 44 m	" "
la queue	:	" " "	44 et 64 m	" "

Les résultats sont présentés dans les figures II.A-f18. Pour les billons il existe des différences marquées entre les trois zones : les niveaux de salure sont croissants du haut au bas des parcelles. Cet ordre est assez bien suivi dans la couche à nodules calcaires, mais ne l'est qu'irrégulièrement dans les couches supérieures sableuses. Les mêmes faits sont observés dans les planches, mais ils sont moins marqués surtout dans les horizons supérieurs. L'origine de cette répartition inégale de la salure dans les parcelles provient sans aucun doute des différences des quantités d'eau infiltrée qui sont en-général décroissantes depuis le haut jusqu'au bas des parcelles, ce qui provoque un lessivage plus intense en début qu'en fin de parcelle (cf. II.C.1).

#### (c) Salure dans un billon

La distance depuis l'origine qui influe sur la circulation de l'eau en surface ayant été précédemment vue, nous étudierons ici des variables qui conditionnent tout particulièrement les mouvements de l'eau dans la masse de sol en direction de la surface c'est-à-dire au siège du passage de l'eau en phase vapeur.

Les prélèvements ont été effectués au début et à la fin de la culture. Chacun d'eux est fait sur une coupe transversale du billon, au moyen de boîtes métalliques qui sont enfoncées perpendiculairement à la tranche du billon et accolées les unes contre les autres. Cette manière de procéder nous a permis de prélever la totalité du billon en le découpant en fraction d'environ 250 cm<sup>3</sup> pour les couches 0-5 et 5-10 cm et d'environ 500 cm<sup>3</sup> pour la couche 10-20 cm.

#### (1) profil du billon

La répartition de la salure dans les différents billons utilisés pour la culture du maïs a été étudiée à Cherfech et à Ksar Ghériss. Les résultats concordent et il suffira d'examiner la série faite à Cherfech en 1967.

Trois profils référencés A (grand billon), B et C (petits billons) ont été étudiés. Deux profils de petits billons ont été prévus pour deux types de semis permettant l'application de doses plus faibles à la mise en eau dans le cas C (les apports totaux se sont échelonnés ainsi : C : 588 mm, A : 596 mm et B : 742 mm).

Les résultats sont présentés sur la figure II.A-f19 et le tableau II.A-t9.

Les conclusions qui en découlent sont les suivantes :

- pour les trois profils des différences très importantes de salure s'observent dans la couche 0-5 cm où la zone la plus salée est toujours le milieu du billon, la salure diminuant ensuite graduellement en allant vers le sillon. Ces différences se retrouvent encore, mais bien moins marquées dans la couche 5-10 cm et disparaissent pratiquement à partir de 10 cm.
- les deux profils B et C provoquent la même salure.
- le profil A sale globalement plus que les autres.

(ii) orientation du flanc du billon

Des études ont été faites en 1968 à Cherfech, Ksar Ghériss et Nakta sur des billons dont l'axe, dans les trois cas, était sensiblement Est-Ouest.

Les résultats présentés dans la figure II.A-f20 et le tableau II.A-t10 permettent de comparer les salures des "faces Nord et Sud".

A Cherfech l'influence de l'orientation paraît négligeable alors qu'elle est nette dans les deux autres stations.

De l'ensemble de ces essais il apparaît clairement que la salure en intensité et en localisation est liée au profilage du sol impliqué par un mode d'irrigation.

Les deux premières séries de l'expérimentation font en outre apparaître dans le cas des billons un effet cumulatif spécialement marqué dans la couche supérieure lorsque ce mode d'apport est appliqué plusieurs années successives. Cette observation confirme le bien-fondé de l'alternance des cultures billonnées et des cultures à plat.

Tableau II.A-t9 : Valeurs des  $EC_e$  , en mmho/cm, dans trois profils de billon différents, à Cherfech

I. Détail des  $EC_e$

Profil A

Milieu du billon

cou- che	0-5 cm	4,3	4,8	4,4	6,2	16,7	21,5	14,8	9,2	5,7	3,8	3,5
	5-10 cm	3,7	4,2	4,1	4,5	7,8	8,7	7,6	5,6	4,1	3,4	3,2
	10-20 cm	5,6	5,5	5,3	6,3	7,2	7,0	6,2	5,4	4,5	4,5	4,9

Profil B

cou- che	0-5 cm	3,5	4,5	3,7	9,9	14,5	17,1	14,8	16,1	5,3	3,1	4,2
	5-10 cm	3,4	3,4	3,5	4,9	7,1	8,5	7,0	5,3	4,0	3,5	3,2
	10-20 cm	5,2	4,7	4,3	5,1	6,0	5,2	5,9	5,8	4,5	4,7	3,9

Profil C

cou- che	0-5 cm	3,9	3,7	8,2	12,2	14,8	11,3	10,9	5,0	3,1	3,9	4,3
	5-10 cm	2,9	2,6	4,3	5,9	7,4	5,6	4,8	3,2	2,7	2,9	3,2
	10-20 cm	4,6	3,4	3,7	5,4	5,5	5,5	4,4	3,8	3,9	3,5	4,4

II.  $EC_e$  moyenne dans l'ensemble du billon

Profil A : 6,3

Profil B : 5,7

Profil C : 5,1

Tableau II.A-t10 : Valeurs des  $EC_e$ , en mmho/cm, dans un billon de même profil à Cherfech, Ksar Ghériss et Nakta.

I. Détail des  $EC_e$

Cherfech

Milieu du billon

cou- che	0-5 cm	3,8	3,8	3,7	5,0	6,9	6,7	6,6	5,6	3,0	3,1	3,0
	5-10 cm	3,8	4,0	3,5	3,8	3,8	3,6	3,4	3,4	2,9	3,1	3,5
	10-20 cm	4,3	4,3	4,1	3,6	3,6	3,6	3,4	3,2	3,5	3,9	4,1

Ksar Ghériss

cou- che	0-5 cm	4,9	7,4	12,6	11,6	8,9	5,2	4,9
	5-10 cm	2,8	5,1	6,4	5,8	4,7	3,2	2,7
	10-20 cm	2,7	3,2	4,7	4,4	3,7	3,3	3,6

Nakta

cou- che	0-5 cm	5,8	6,5	9,8	15,8	9,0	5,9	6,0
	5-10 cm	4,9	5,7	6,2	7,1	4,6	3,9	4,3
	10-20 cm	5,1	5,5	5,8	5,3	4,7	4,5	4,9

II.  $EC_e$  moyenne dans l'ensemble du billon

à Cherfech	: 4,0
à Ksar Ghériss	: 4,9
à Nakta	: 6,0

b. EXEMPLES D'EVOLUTION DE LA SALINITE

(1) Cas d'un sol surirrigué

L'étude a été effectuée sur une parcelle de 4 ha (parcelle "Bilan hydrique et Bilan des sels" à Cherfech, tanleau II.A-t22). Compte tenu du régime d'apport (cf. II.B.2.A), le lessivage peut être considéré comme permanent.

Dans le tableau II.A-t11 nous avons récapitulé les quantités d'eau d'irrigation, de pluie et de drainage en groupant les périodes d'été et les périodes d'hiver.

Tableau II.A-t11 : Quantités d'eau d'irrigation, de pluie et de drainage, en mm

	Eté				Hiver			
	1964 1.5- 1.9	1965 5.5- 1.9	1966 26.4- 5.8	1967 29.5- 6.9	1964/65 1.9- 5.5	1965/66 1.9- 26.4	1966/67 5.8- 29.5	1967/68 6.9- 15.3
Irr. mm	452	645	530	860	110	100	467	182
Pluie en mm	112	19	69	4	441	445	323	324
mm	121	141	138	217	139	56	200	141
Dr en % de I + P	21	21	23	25	25	10	25	28

(a) Evolution de la salure

La salure a été suivie mois par mois de Mai 1964 à Mars 1968 sur une profondeur de sol de 1,50 m qui pour l'exposé des résultats est divisée en 3 couches : 0-40 cm, 40-80 cm et 80-150 cm. L'analyse complète de l'extrait de saturation permet de connaître l'évolution de la salure du sol par  $EC_e$  et l'évolution de la concentration de chacun des principaux ions à savoir :  $Cl^-$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$ .

(i) La conductivité électrique

La figure II.A-f21 représente les valeurs de  $EC_e$  des trois couches avant et après les irrigations d'été : ces courbes résument le sens général de l'évolution de la salure totale du sol. Chacune des trois couches a évolué d'une façon différente :

- La salure de la couche 0-40 cm (courbe 1) accuse une variation saisonnière : augmentation à la fin de l'été et diminution à la fin de l'hiver. L'aug-

mentation au cours des quatre étés a été relativement constante : 2,5 mmho/cm en 1964, 2,0 en 1965, 2,1 en 1966, 2,1 en 1967 soit en moyenne 2,2. La diminution au cours des quatre hivers a été plus variable : 2,4 - 0,2 - 3,3 - 2,7 : la plus faible diminution (0,2) constatée après l'hiver 65-66 correspond à un drainage de 56 mm qui est la plus petite quantité enregistrée pendant les quatre années d'expérimentation. Ce fait a d'ailleurs une répercussion sur la salure de l'ensemble du profil comme nous le verrons plus loin. Mise à part cette époque la salure de la couche 0-40 cm conserve approximativement le même niveau d'année en année : aux environs de 4 mmho/cm en automne et de 2 mmho/cm au printemps.

- La salure de la couche 40-80 cm (courbe 2) ne présente que de faibles variations ; elle a diminué tout au long de l'expérimentation : 5,1 mmho/cm en Mai 1964, 3,1 en Mars 1968.
- Comme la précédente, la couche 80-150 cm (courbe 3) s'est dessalée régulièrement depuis le début des essais : 9,2 mmho/cm en 1964, 5,5 en Mars 1968. On constate de plus qu'une variation saisonnière inverse de celle observée dans la couche 0-40 cm, apparaît à partir de la deuxième année : diminution de la salure en été, augmentation en hiver. La même observation a été faite dans l'essai DF<sub>1</sub> (cf.II.A.1.a).
- Si l'on considère l'ensemble du profil 0-150 cm (courbe 4) on remarque que la variation saisonnière n'apparaît qu'au cours des deux dernières années d'expérimentation et qu'elle est peu nette. Pendant les deux premières années le lessivage des couches profondes était très important tant en été qu'en hiver et annulait l'effet de variation saisonnière qui se produisait dans la couche 0-40 cm ; à partir du printemps 1966 les variations de salure des couches profondes sont, comme nous l'avons vu, opposées à celles des couches 0-40 cm, mais ces dernières sont nettement plus importantes et leur influence est dominante dans la salure de l'ensemble du profil. On retrouve alors sur une profondeur de 0-150 cm les mêmes variations saisonnières que celles enregistrées dans la couche 0-40 cm, mais plus atténuées, les oscillations entre été et hiver ne dépassant pas 1 mmho/cm. L'allure générale de la courbe de salure n°4 montre que la couche 0-150 cm a subi en définitive au cours des quatre années d'expérimentation un lessivage qui se traduit par une baisse de EC<sub>e</sub> de 2,1 mmho/cm (6,0 - 3,9).

#### (ii) Les ions

Les évolutions de la concentration de chacun des principaux ions présents dans la solution ont été également étudiées mois par mois, pendant les quatre années d'expérimentation. Elles sont représentées par les figures II.A-f22, II.A-f23, II.A-f24. La figure II.A-f25 représente la teneur moyenne de chacun des ions en fonction de la profondeur ; elle illustre les observations faites concernant les variations saisonnières.

- Les ions Cl<sup>-</sup> sont en quantité plus faible que les ions Na<sup>+</sup>, car une partie de ces derniers provient de sulfate. Dans les trois couches étudiées l'évolution des ions Cl<sup>-</sup> et Na<sup>+</sup> est pratiquement parallèle à celle de la salure : c'est en effet ces ions du fait de leur provenance de sels très solubles qui conditionnent en majeure partie les variations de la salure du sol. Dans la couche 0-40 cm les quantités d'ions Cl<sup>-</sup> et Na<sup>+</sup> subissent

de larges oscillations entre l'été et l'hiver. Les teneurs moyennes de ces ions, exprimées en mé/l de l'extrait de saturation, sont maximales à la fin de l'été (26,3 mé/l pour  $\text{Cl}^-$ , 26,3 mé/l pour  $\text{Na}^+$ ) et minimales à la fin de l'hiver (6,2 mé/l pour  $\text{Cl}^-$ , 11,4 mé/l pour  $\text{Na}^+$ ) soit des amplitudes de 20 mé/l pour  $\text{Cl}^-$  et 15 mé/l pour  $\text{Na}^+$ . Pour les couches plus profondes 80-150 cm ces variations existent mais sont beaucoup moins marquées.

- Les ions  $\text{SO}_4^{--}$ , dans la couche 0-40 cm, suivent la même évolution que celle des ions  $\text{Cl}^-$  mais avec des variations moindres ; les teneurs dans l'extrait de saturation sont en moyenne de 18,2 mé/l à la fin de l'été et 7,9 mé/l à la fin de l'hiver soit une variation de 10 mé/l entre les deux saisons. En profondeur les quantités de  $\text{SO}_4^{--}$ , qui sont de l'ordre de 25 mé/l pour la couche 40-80 cm et de 50 mé/l pour la couche 80-150 cm, sont restées les mêmes pendant les trois premières années et ont diminué légèrement au cours de la dernière année.
- Les ions  $\text{Ca}^{++}$  proviennent pratiquement toujours de sulfate, c'est pourquoi l'évolution des ions  $\text{Ca}^{++}$  est comparable à celle des ions  $\text{SO}_4^{--}$  ; ces derniers sont cependant plus abondants car certains peuvent être liés au  $\text{Na}^+$  et au  $\text{Mg}^{++}$ .
- Les ions  $\text{Mg}^{++}$  proviennent en général de sulfate. Les quantités présentes varient très peu surtout dans la couche 0-40 cm (en moyenne 4 à 5 mé/l). Dans les couches plus profondes on observe une légère diminution au cours des quatre années d'expérimentation.
- Les ions  $\text{K}^+$  proviennent de chlorure ; leur teneur moyenne est comprise entre 0,2 et 0,6 mé/l ; leur distribution dans le profil est inverse de celle des autres cations, les horizons supérieurs étant plus riches que ceux de profondeur par suite des apports d'engrais potassiques. Dans la couche 0-40 cm une variation saisonnière existe, comparable à celle des autres cations, mais très peu marquée.
- Les ions  $\text{HCO}_3^-$  ont une distribution et une variation saisonnière inverse de celle des autres ions : les quantités les plus importantes se trouvent dans la couche 0-40 cm, et ces quantités diminuent en été et augmentent en hiver. Les racines, tout au moins en majeure partie, sont localisées dans la couche 0-40 cm et c'est dans cette zone que, par suite du phénomène de respiration, la tension du  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère du sol est la plus forte et permet ainsi une formation plus importante de bicarbonate. De plus en hiver, les couches supérieures du sol restant longtemps humides, la diffusion du  $\text{CO}_2$  vers l'extérieur est restreinte ce qui crée une augmentation de la tension de ce gaz dans le sol et par voie de conséquence une formation supplémentaire de bicarbonate. Ceci peut être à l'origine des variations saisonnières constatées dans la couche 0-40 cm pour les bicarbonates. Ces variations sont en moyenne de 1 mé/l (2,7 mé/l en été, 3,9 mé/l en hiver). Dans les couches plus profondes la teneur des ions  $\text{HCO}_3^-$  reste sensiblement constante, de l'ordre de 1 à 2 mé/l.

De l'ensemble de ces résultats il ressort que pour la couche 0-40 cm la composition de la solution du sol en été est très différente de celle observée en hiver aussi bien en quantité totale de sels qu'en quantité relative de chacun des ions.

Pour la couche 40-150 cm au contraire cette composition est à peu près constante au cours de l'année. Le tableau II.A-t12 donne la composition moyenne des extraits de saturation au printemps et à l'automne : les valeurs indiquées sont les moyennes des prélèvements faits aux printemps 64, 65, 67 et 68, et aux automnes 64, 65, 66 et 67.

Tableau II.A-t12 : Composition chimique moyenne de l'extrait de saturation au printemps et à l'automne.

Couche cm	Epoque	Ions mé/l						
		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
0-40	Print.	6,2	7,9	3,9	5,1	1,2	0,4	11,4
	Automne	26,3	18,2	2,7	18,2	4,9	0,8	26,3
40-150	Print.	28,6	36,7	1,6	21,7	8,7	0,2	36,1
	Automne	26,2	33,0	1,9	20,7	8,2	0,4	33,4

L'évolution de la salure dans les couches supérieures du sol (0-40 cm) a donc été tout à fait différente de celle constatée dans les couches profondes (40-150 cm). Dans les premières on constate des variations saisonnières importantes et régulières : augmentation de la salure en été, diminution en hiver. Les secondes n'ont pratiquement pas marqué de variations saisonnières mais ont subi un dessalement régulier au cours des cinq années d'expérimentation.

(b) Lessivage en hiver

Il varie d'une année à l'autre en fonction des irrigations et de la hauteur de précipitation ; ces deux facteurs peuvent d'ailleurs interférer favorablement : l'action de la pluie est rendue beaucoup plus efficace quand elle se produit peu de temps après une irrigation. Ceci apparaît nettement sur quelques exemples que l'on peut trouver sur la courbe détaillée de l'évolution de la salure (figure II.A-f21) : une chute importante de salure s'est produite en automne 1964 (prélèvement de Novembre 64) après une pluie de 80 mm qui avait été précédée d'une irrigation de 110 mm ; le même phénomène a été observé au printemps 1966 (prélèvement d'Avril 66) où une irrigation de 75 mm avait été suivie d'une pluie de 35 mm et en automne 67 (prélèvement de Décembre 67) où une irrigation de 80 mm avait été suivie d'une pluie de 46 mm.

Néanmoins et d'une façon générale le lessivage d'hiver est en relation directe avec le drainage total au cours d'une saison, comme le montrent les chiffres suivants qui expriment pour chaque hiver la quantité d'eau drainée et le changement de salure constaté sur le profil 0-150 cm :

	Quantité d'eau drainée en mm	Différence de $EC_e$ (fin hiver - fin été) en mmho/cm
Hiver 64-65	139	- 0,7
65-66	56	+ 0,4
66-67	200	- 0,9
67-68	141	- 0,7

La quantité d'eau drainée pendant l'hiver 65-66 (56 mm) n'a pas fait baisser la salure du sol, au contraire on a enregistré une augmentation de 0,4 mmho/cm. En revanche les 139 mm et 141 mm de drainage des hivers 64-65 et 67-68 l'ont fait diminuer de 0,7 mmho/cm et les 200 mm de l'hiver 66-67 de 0,9 mmho/cm. Dans ces trois derniers cas la salure du sol a été ramenée à son niveau du printemps précédent. Dans les conditions de notre étude la quantité d'eau drainée en hiver nécessaire pour éliminer l'accumulation de sel produite au cours des cultures d'été s'est donc située entre 56 et 139 mm. Une interpolation à partir de ces données indique, d'après la figure II.A-f26, que cette quantité est de l'ordre de 80 mm.

(c) Bilan des sels

(i) But

Il s'agissait, par deux méthodes de calcul, de suivre l'évolution dans le temps, du stock de sel dans un volume de sol défini.

Volume de sol : la parcelle "Bilan" a été étudiée sur une profondeur de 4,00 m.

Dates : Mai 1964, Juillet 1967, Août 1968 et Avril 1969. L'étude a donc porté sur cinq ans.

Méthodes de calcul de la variation du stock de sel ( $\Delta S$  ou  $\Delta s$ ) :

Première méthode (à partir du sol) :

$$\Delta S = S_f - S_i$$

avec S = Stock à une date donnée dans le sol

i = date initiale

f = date finale

Deuxième méthode (à partir des eaux)

$$\Delta s = \int_{t_i}^{t_f} qI.CI.dt - \int_{t_i}^{t_f} qD.CD.dt$$

- avec  $qI$  = débit de l'eau entrant dans le volume de sol étudié  
 $CI$  = concentration de l'eau entrant dans le volume de sol étudié  
 $qD$  = débit de l'eau sortant du volume de sol étudié  
 $CD$  = concentration de l'eau sortant du volume de sol étudié

Le problème est de comparer  $\Delta S$  et  $\Delta s$ .

Il est bien évident qu'il a fallu adapter ces formules à la pratique sur grande parcelle :

Calcul de  $\Delta S$  (à partir du sol)

En posant

- $S_i$  : Quantité de sels présents dans une couche  $n$  de sol à la date initiale, en kg/ha  
 $S_f$  : Quantité de sels présents dans la même couche  $n$  de sol à la date finale, en kg/ha  
 $C_i$  : Concentration de l'extrait de saturation de la couche  $n$  en g/l, obtenue à partir de  $EC_e$  de la couche  $n$  à la date initiale (cf. I.C.3)  
 $C_f$  : Concentration de l'extrait de saturation de la couche  $n$  en g/l, obtenue à partir de  $EC_e$  de la couche  $n$  à la date finale (cf. I.C.3)  
 $SP$  : Humidité pondérale de la pâte de sol saturé  
 $E$  : Epaisseur de la couche  $n$  en m  
 $D.A.$  : Densité apparente de la couche  $n$

on a  $S_i = C_i \cdot SP \cdot DA \cdot E \cdot 100$

$S_f = C_f \cdot SP \cdot DA \cdot E \cdot 100$

et  $\Delta S = S_f - S_i = (C_f - C_i) SP \cdot DA \cdot E \cdot 100$

où  $\Delta S$  = Quantité de sels évacués (-) ou accumulés (+) entre les dates  $i$  et  $f$ , en kg/ha

Calcul de  $\Delta s$  (à partir des eaux)

En posant

- $s_a$  : Quantité de sels apportés par les eaux d'irrigation entre les dates  $i$  et  $f$ , en kg/ha  
 $H_a$  : Quantité d'eau apportée entre les dates  $i$  et  $f$ , en mm  
 $C_a$  : Concentration de l'eau d'irrigation en g/l ou  $kg/m^3$   
 $s_e$  : Quantité de sels exportés par les eaux de drainage entre les dates  $i$  et  $f$ , en kg/ha  
 $H_e$  : Quantité d'eau drainée entre les dates  $i$  et  $f$ , en mm

Ce : Concentration de l'eau de drainage en g/l ou kg/m<sup>3</sup>  
on a sa = Ha 10 . Ca  
se = He 10 . Ce  
et  $\Delta s$  = sa - se = 10 (HaCa - HeCe)  
où  $\Delta s$  = quantité de sels évacués (-) ou accumulés (+) entre les  
dates i et f, en kg/ha

(ii) Observations

(1) Afin de faciliter les comparaisons le calcul a été posé de façon que  $\Delta S$  et  $\Delta s$  aient le même signe.

(2) A l'époque du démarrage de l'étude, Mai 1964, l'analyse du sol a été faite sur une profondeur de 1,50 m seulement, la salure de la couche 1,50 - 4,00 m a été estimée alors à 9,1 mmho/cm. Afin de contrôler cette estimation, la salure du sol a ultérieurement été déterminée sur 4,00 m de profondeur dans un terrain attenant à la station et se trouvant dans des conditions analogues à celles de la parcelle "Bilan" au début de l'expérimentation. Cette valeur a été confirmée.

(3) Les quantités d'eau de drainage He mesurées ont été majorées de 10 %. Comme il sera expliqué en II.C.2.c, il existe un drainage hors poteries (25 mm/an) qui ici n'est plus négligeable étant donné qu'il s'agit d'une série d'années. Comme le drainage se situe aux alentours de 250 mm/an une correction de 10 % a été adoptée.

(4) Les valeurs Ha, He, Ca, Ce n'ont pas pu être déterminées de façon continue mais on s'est attaché à se rapprocher de la théorie sus-exposée en réduisant le plus possible les intervalles c'est-à-dire en considérant Ha et Ca à chaque irrigation et He et Ce à chaque drainage consécutif à un apport d'eau (irrigation ou pluie).

(iii) Résultats

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure II.A-f27.

Les salures dans le profil paraissent maintenant stabilisées. Une première zone (0-150 cm), c'est-à-dire celle au-dessus des drains, qui comprend le système racinaire est arrivée à un niveau de salure, qui, compte tenu des conditions, peut être considéré comme satisfaisant ( $EC_e=4,3$ )

Une seconde zone (150-280 cm) est mise en évidence, zone dans laquelle la salinité a largement baissé depuis le début et se trouve actuellement à un niveau qui écarte tout danger immédiat de salinisation secondaire pour la couche racinaire.

Ces résultats ont été atteints sans pratiquement augmenter la salure de la troisième zone (280-400 cm). La situation est donc maintenant saine. La pérenité de cet état est évidemment garantie si le même régime est conservé ; elle peut l'être aussi par le moyen de lessivages

saisonniers qui sont évaluables.

## (2) Lessivage des sols très salés

Ce problème a été étudié dans deux stations, l'une à Utique sur sol à texture limono-argileuse, l'autre à Tozeur sur sol gypseux à texture sableuse.

### (a) Utique

Le but de l'expérimentation a été d'étudier la possibilité de récupérer des sols très salés sur le périmètre d'Utique. Cette zone est constituée, comme toute sebkha, par un véritable puzzle composé de taches vertes où pousse une végétation halophile et de taches complètement dénudées, la surface occupée par chacune étant pratiquement égale. En vue de sa mise en culture irriguée cette zone a été drainée à 1,40 m de profondeur par des drains en poterie espacés de 40 m et équipée d'un réseau d'irrigation.

### Le sol

Le sol est formé d'une série de dépôts alternativement limoneux et argileux dont la perméabilité est relativement bonne. Le taux de calcaire est dans l'ensemble de 30 à 40 %.

Deux profils choisis l'un dans la zone la plus dénudée (profil 1), l'autre dans la zone la plus fournie en végétation (profil 2) ont été étudiés avant la mise en place de l'expérimentation. La salure est très élevée dans la couche 0-20 cm du profil 1, de l'ordre de 60 mmho/cm, alors qu'elle est inférieure à 2 mmho/cm dans le profil 2. Pour les couches sous-jacentes cette différence va en s'atténuant jusqu'à 60 cm de profondeur. Les graphiques de la figure II.A-f28 montrent bien que la salure totale reflète à chaque niveau du profil la teneur en différents ions de l'extrait de saturation. Les sels présents dans ces sols sont en majorité des chlorures (NaCl, MgCl<sub>2</sub>) et un peu du sulfate sous forme de CaSO<sub>4</sub>.

### L'expérimentation

Une première expérimentation faite au cours de l'hiver 66-67 a permis d'étudier l'effet de trois doses de lessivage appliquées sur le sol naturel sans l'avoir préparé par des façons culturales. Les résultats obtenus étant peu satisfaisants, lors de la deuxième expérimentation faite au cours de l'hiver 67-68, l'étude a été reprise en combinant le facteur "dose" avec deux autres facteurs : labour du sol et répartition des doses.

### Le premier essai comportait 3 traitements

Traitement DO	:	0 mm
Traitement D	:	400 mm à un rythme de 100 mm par jour
Traitement 2D	:	800 mm à un rythme de 100 mm par jour

Le deuxième essai comportait 6 traitements

- Traitement D : 400 mm à un rythme de 100 mm à la fois par quinzaine sur sol non labouré  
 Traitement 2D : 800 mm à un rythme de 100 mm à la fois par semaine sur sol non labouré  
 Traitement 4D : 1600 mm à un rythme de 200 mm par semaine sur un sol non labouré  
 Traitement D'  
 2D' 4D' : respectivement identiques aux traitements précédents mais avec labour à 25 cm.

Le labour a été fait au cours de l'été précédent, soit 4 mois avant l'expérimentation, les prélèvements de sol effectués juste avant le début des essais.

Dans les deux expériences l'eau d'irrigation utilisée pour les opérations de lessivage était l'eau de l'oued Medjerdah dont la composition était, à cette époque, la suivante :

EC mmho/cm	RS g/l	mé/l							SAR
		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
2,1	1,4	12,4	7,7	1,8	6,6	3,0	0,1	12,5	5,7

Les résultats : Evolution de la salure

(i) Premier essai (hiver 1966-67)

Les valeurs des conductivités électriques de l'extrait de saturation sont données dans la figure II.A-f29 ; ces résultats montrent que le lessivage escompté n'a pas été obtenu.

Traitement D<sub>0</sub> : on observe une augmentation dans la salure de l'ordre de 10 mmho/cm dans l'ensemble du profil pour les parties avec végétation et de 20 mmho/cm pour les parties sans végétation, mais dans ce dernier cas seulement dans la couche 0-10 cm, les autres restant pratiquement inchangées.

Traitement D : la salure reste inchangée dans les parties avec végétation alors qu'elle diminue légèrement dans les parties sans végétation, de l'ordre de 5 mmho/cm sur tout le profil.

Traitement 2D : comme avec la dose précédente les zones sans végétation se sont légèrement dessalées, mais celles avec végétation se sont salées (environ 5 à 7 mmho/cm sur tout le profil). Ceci provient du fait que l'eau d'irrigation apportée, dès son contact avec les parties sans

végétation très fortement salées en surface, se sale rapidement et arrive à une teneur en sel supérieure à celle de la solution du sol des parties avec végétation au début de l'expérience.

En définitive chacun des 3 traitements a abouti à des résultats différents, mais ni la dose D (400 mm) ni même la dose 2 D (800 mm) n'ont amené la salure du sol à un taux acceptable pour la mise en culture.

(ii) Deuxième essai (hiver 1967-1968)

Parcelles non labourées - Aussi bien dans les zones avec végétation que dans celles sans végétation la salure a diminué très sensiblement (figure II.A-f30). Mais, les trois doses ne marquent que très peu.

Notons que ces résultats ne corroborent pas ceux du premier essai, dans lequel aucune diminution de salure n'avait été constatée à la suite des irrigations. Deux causes sont à l'origine des meilleurs résultats du deuxième essai.

- La différence de la hauteur de précipitation entre les 2 années : 15 mm au cours du mois précédant la première expérience contre 135 mm au cours de celui précédant la deuxième expérience. De plus il est tombé seulement 35 mm de pluie pendant le premier essai contre 130 mm pendant le second.

- La façon d'irriguer : les apports quotidiens pratiqués dans le premier essai ont été remplacés dans le deuxième par des apports hebdomadaires ou bi-mensuels. L'alternance d'humidification et de dessiccation du sol, entraînant une modification du système des fissures dans le sol, a créé un meilleur contact de l'eau avec la terre, permettant ainsi une meilleure efficacité du lessivage.

Parcelles labourées - Les courbes de la figure II.A-f31, indiquent qu'avant l'expérimentation il s'est produit dans les couches superficielles un début de lessivage, avec accumulation de sels dans les couches moyennes. Ce fait n'a pas été observé dans les parcelles non labourées, ce qui signifie que l'action des pluies tombées entre l'époque du labour et celle du début des expérimentations, a été plus efficace sur le sol labouré, le labour ayant fait disparaître les fentes de retrait et ainsi amélioré la répartition de l'eau. On retrouve cependant encore la différence entre les zones avec végétation et les zones sans végétation : la conductivité électrique de l'extrait de saturation allant de 7 à 32 mmho/cm pour les premières et de 11 à 46 mmho/cm pour les secondes.

L'action des irrigations de lessivage a été très importante et a amené le sol à des taux de salure très acceptables pour la culture à savoir 2 à 3 mmho/cm pour la couche 0-40 cm, 3 à 5 mmho/cm entre 40 et 80 cm et 5 à 12 mmho/cm à 1 mètre.

Deux faits marquants ressortent des résultats précédents :

1) les salures des zones avec et sans végétation, qui étaient au départ très

différentes, sont devenues pratiquement les mêmes après les traitements de lessivage.

2) les trois traitements ont abouti au même dessalement, c'est-à-dire que la dose la plus faible de 400 mm a été tout aussi efficace que les doses double de 800 mm ou quadruple de 1600 mm.

En conclusion le premier essai fait sur sol naturel sans préparation et avec des doses de lessivage assez importantes mais massives, n'a donné que peu ou pas de résultats positifs. Au contraire le deuxième essai dans lequel avaient inclus les variables "labour" et "fractionnement des apports d'eau dans le temps", a permis un lessivage efficace. L'hétérogénéité constatée avant l'expérimentation entre zones avec végétation et zones sans végétation a disparu assez vite ; les zones dénudées qui avaient une salure très élevée de l'ordre de 50 à 60 mmho/cm en surface ont pu être ramenées à un taux permettant la culture. En somme avec une eau comparable à celle qui était disponible, le lessivage de tels sols est relativement facile à condition de tenir compte des observations fournies par les essais précédents :

- On a intérêt à labourer le sol avant les opérations de lessivage afin de faire disparaître les fentes de retrait et d'améliorer la répartition de l'eau en surface ce qui permet d'obtenir une meilleure efficacité de l'eau d'irrigation.

- Il est plus intéressant d'effectuer le lessivage lors de la saison pluvieuse et d'appliquer les irrigations d'une façon fractionnée, des apports hebdomadaires ou bi-mensuels étant préférables à des apports massifs.

#### (b) Tozeur

A la station de Tozeur le problème était le même qu'à Utique en ce qui concerne la salure : le sol de cette parcelle était en effet très salé d'une part parce que la nappe était très proche de la surface par suite d'une insuffisance de drainage et d'autre part parce que la parcelle était soumise depuis plusieurs années à un régime de sous-irrigation. Un nouveau réseau d'irrigation amélioré qui permet un débit fictif continu d'environ 0,8 l/s/ha en été, soit un apport de 75 mm tous les 10 jours et un nouveau système de drainage comprenant des collecteurs de 2 à 2,25 m de profondeur et des drains espacés de 40 m à 1,60 m de profondeur ont été mis en place.

Le sol peut être défini comme étant à texture finement sableuse à limoneuse. Le gypse est abondant, de l'ordre de 40 à 60 % et se répartit d'une façon relativement homogène dans l'ensemble du profil. Le calcaire est aussi présent, mais en quantité moindre : de 3 à 4 % dans les quarante premiers centimètres et de 6 à 7 % en profondeur. La densité apparente varie de 1,3 à 1,4. La perméabilité est en moyenne de 1 m par jour jusqu'à 1,60 m de profondeur, et de 2 m jusqu'à grande profondeur, 30 m environ.

L'eau d'irrigation a les caractéristiques suivantes :

EC mmho/cm	RS g/l	mé/l							SAR
		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
3,1	2,1	17,6	13,0	2,4	9,0	6,7	0,6	17,6	7,4

Le climat est désertique, la hauteur de précipitation étant de 80 mm par an.

L'évolution de la salure a été étudiée sur une période de quatre années, des prélèvements de sol étant faits et analysés régulièrement tous les trois mois.

Le tableau II.A-t13 et la figure II.A-f32 résument l'évolution de la conductivité des extraits de saturation pour les trois couches 0-40, 40-80, 80-150 cm depuis Juillet 1964 jusqu'à Mai 1968.

Tableau II.A-t13 : Evolution de la EC<sub>e</sub> de Juillet 64 à Mai 68

couche cm	Juil 64	Juil 65	Oct 65	Fév 66	Avr 66	Juil 66	Nov 66	Jan 67	Mai 67	Juil 67	Nov 67	Jan 68	Mai 68	Juil 68
0-20	55,3	5,7	5,6	6,0	8,7	8,4	6,0	4,9	7,3	5,9	5,2	6,2	7,3	7,1
20-40	38,7	6,8	6,0	5,6	8,0	8,6	7,1	4,9	6,6	7,2	5,1	6,0	7,2	6,8
40-80	22,8	8,9	7,3	5,9	8,5	8,5	9,0	5,8	6,3	8,4	7,8	6,1	6,5	8,6
80-120	17,0	8,8	8,3	5,9	8,3	7,3	9,0	6,3	5,7	6,8	9,5	6,1	6,2	6,2
120-150	10,9	9,1	10,1	6,4	9,4	7,5	9,8	6,5	5,8	6,4	10,5	6,4	6,6	6,1
Moyenne du profil	25,3	8,2	7,7	6,0	8,6	8,0	8,5	5,8	6,2	7,1	8,1	6,2	6,6	7,0

Après la première année au cours de laquelle la parcelle a reçu 1138 mm d'eau d'irrigation, 94 mm de pluie et a drainé 252 mm, un dessalage très important s'est produit : plus de 70 % des sels présents en début d'expérimentation ont été évacués. Par la suite, si l'on fait abstraction des fluctuations plus ou moins marquées et dues soit à la saison d'irrigation soit à des différences de quantités d'eau reçue il semble que la salure se soit stabilisée ou conserve une légère tendance à la diminution.

Ce résultat a été obtenu en apportant des doses de l'ordre de 75 mm toutes les trois semaines en hiver, toutes les deux semaines au printemps et tous les 10 jours en été, l'excès d'eau étant d'environ 20 % de l'apport soit un total annuel de 250 à 300 mm. Dans le cas de Tozeur on est arrivé à maintenir la salure du sol à un niveau moyen de 6 à 8 mmho/cm. Cette valeur semblant être la limite inférieure de la conductivité d'un sol gypseux, irrigué avec des eaux titrant 2 g/l.

L'extrait de saturation des horizons supérieurs était au début des essais beaucoup plus salé que celui des horizons profonds (figure II.A-f33). Cette différence était produite principalement par deux sels : le chlorure de sodium et le sulfate de magnésium. Au contraire, après les irrigations de la première année la salure tend à s'homogénéiser sur tout le profil ainsi que la composition chimique des extraits de saturation. Les concentrations en ions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ , et  $\text{Na}^+$  ne présentent plus, comme en Juillet 1964, des différences importantes entre le haut et le bas du profil (figure II.A-f33 et tableau II.A-t14).

Tableau II.A-t14 : Composition chimique des extraits de saturation

Epoque	mé/l							
	Couche	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{--}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
Juillet 64	0-40	490,1	170,0	2,1	47,4	114,0	20,2	455,9
	40-80	283,2	95,7	1,8	42,9	46,4	8,9	179,8
	80-150	101,5	73,6	2,0	39,6	26,4	6,5	105,6
	0-150	226,9	105,2	2,0	42,6	55,1	10,8	218,8
Moyenne de Juillet 1965-66-67-68	0-40	36,3	49,5	3,2	36,2	15,7	1,8	37,3
	40-80	49,7	55,5	2,3	36,4	21,5	2,9	48,9
	80-150	35,1	56,3	1,9	34,2	15,3	2,7	41,8
	0-150	39,3	54,3	2,4	35,3	17,1	2,5	42,5

L'évolution de chacun de ces ions s'est faite d'une façon parallèle comme le montrent les figures II.A-f34 et II.A-f35 : évacuation massive au cours de la première année et, depuis Juillet 1965, stabilisation pratiquement atteinte.

L'ion  $\text{Ca}^{++}$  fait évidemment exception puisqu'il provient du gypse : son évolution paraît nulle, mais ceci n'est qu'apparent. En effet les quantités de gypse évacuées par les eaux percolantes ne peuvent être

estimées par les teneurs en ions  $\text{Ca}^{++}$  des extraits de saturation car tant qu'il y a du gypse dans le sol ces teneurs atteignent toujours un seuil qui dépend non de la quantité de gypse présent mais de sa solubilité, elle-même fonction de la composition chimique des extraits et de leur force ionique. En Juillet 1964 l'extrait de saturation de l'ensemble du profil contenait environ 43 mé/1 d'ions  $\text{Ca}^{++}$ , il n'en contenait plus que 35 à partir de Juillet 1965. Cette diminution est due simplement aux différences de teneur en ions  $\text{Cl}^-$  qui, en quantité très importante en Juillet 1964 augmentaient fortement à cette époque la solubilité du gypse (tableau II.A-t14).

Afin d'obtenir des renseignements complémentaires sur le dessalement important qui s'est produit sur la parcelle au cours de la première année une expérimentation de lessivage du sol en bac a été entreprise.

Le bac utilisé est une cuve type évapotranspiromètre de 4 m<sup>2</sup> de surface et de 1,20 m de profondeur, dans laquelle fut reconstitué le profil de la parcelle en la remplissant par couche de 20 cm. Le lessivage a été effectué avec de l'eau du forage alimentant les parcelles.

Trois essais furent successivement réalisés dans les mêmes conditions, mais arrêtés respectivement à 150 mm, 300 mm et 500 mm de drainage ; les quantités d'eau apportées ont été les suivantes (en mm) :

	Eau drainée	Irrigation	Pluie
1) essai	<u>150</u>	290	6
2) essai	<u>300</u>	618	33
3) essai	<u>500</u>	1100	86

La salure du sol a été déterminée au début et à la fin de chaque expérience. Partant de ces chiffres, il est possible de calculer le pourcentage de lessivage par rapport à la salure de départ de chaque cas. Le même calcul peut être fait en ce qui concerne le lessivage observé sur la parcelle entre Juillet 64 et Juillet 65, date à laquelle on peut considérer que le sol a pratiquement atteint son équilibre de salure. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau II.A-t15.

Tableau II.A-t15 : Relation entre le drainage et le lessivage des sels

Essai	Drainage en mm	EC <sub>e</sub> en mmho/cm (couche 0-120cm)			Pourcentage de lessivage par rapport à la salure de départ
		début	fin	différence	
1	150	37,8	24,9	12,9	34 %
2	300	45,7	8,1	37,6	82 %
3	500	41,0	5,4	35,6	87 %
Parcelle	252	28,9	8,0	20,9	72 %

Ces chiffres montrent que le lessivage de la parcelle s'est effectué de la même façon que celui des essais en bac. La figure II.A-f36, reliant les quantités d'eau drainée au pourcentage de lessivage par rapport à la salure de départ, illustre cette vérification : en effet, le point représentant les données relatives à la parcelle (drainage 252 mm, lessivage 72 %) se trouve bien sur la courbe obtenue avec les données des trois essais en bac.

En conclusion, le lessivage d'un sol gypseux et salé comparable à celui de Tozeur ne pose pas de problèmes spéciaux. Une salure très importante, telle que celle observée sur nos parcelles au début des essais, est en définitive peu dangereuse puisqu'il est possible de la faire diminuer facilement en peu de temps. A fortiori, les augmentations saisonnières, relativement peu importantes, constatées en été peuvent être réduites en hiver et au printemps. Ainsi, la salure du sol peut être maintenue à un niveau plus ou moins constant, se situant entre 6 et 8 mmho/cm dans le cas de Tozeur, en pratiquant des irrigations dans les conditions qui ont été précisées.

### c. EFFICACITE DU LESSIVAGE

#### (1) Description de la méthode utilisée

En partant du principe que le lessivage se produit par un mélange de l'eau d'irrigation (ou de pluie) d'une concentration C<sub>i</sub> avec la solution du sol d'une concentration C<sub>s</sub>, la concentration de la solution du sol après mélange C<sub>x1</sub> de la première couche peut être calculée de la façon suivante :

$$a \text{ mm d'irrigation} \times C_i + b \text{ mm d'eau du sol} \times C_s = (a + b) \text{ mm} \times C_{x1}$$

Si la quantité d'eau retenue dans la première couche est égale à c mm, une quantité (a-c) ayant une concentration C<sub>x1</sub> percole

en profondeur et se mélange avec la solution du sol de la deuxième couche. La concentration de la solution du sol après mélange  $C_{x2}$  de la deuxième couche peut être calculée de la même façon :

$$(a - c) \text{ mm} \times C_{x1} + d \text{ mm} \times C_{s2} = (a - c + d) \text{ mm} \times C_{x2}$$

En supposant que les concentrations sont approximativement proportionnelles aux conductivités électriques, on peut effectuer les calculs en utilisant ces dernières. Après avoir fait ce calcul pour toutes les couches successives, on arrive finalement à la conductivité de l'eau percolant la dernière couche. Cette valeur peut être comparée avec celle mesurée, par exemple dans les essais de lessivage sur bac.

Dans ce but il est nécessaire de disposer des valeurs suivantes :

1°) La conductivité de la solution du sol au départ ( $EC_s$ ). Cette valeur peut être calculée à partir de  $EC_e$  et des taux d'humidité du sol  $H_s$  et de la pâte saturée SP (cf. I.B.2).

2°) Les teneurs en eau du sol avant et après l'irrigation. Le taux d'humidité après irrigation correspond à celui de la capacité de rétention  $H_c$  et peut être converti en mm d'eau d'après la formule suivante :

$$b \text{ mm d'eau} = \text{épaisseur de la couche en mm} \times H_c \times \text{densité apparente.}$$

Le taux d'humidité avant irrigation dépend de la façon dont la quantité d'eau consommée est répartie sur le profil. Les profils hydriques en combinaison éventuelle avec la densité des racines fournissent des indications à ce sujet.

3°) Comme la distribution des pores, par lesquels passe l'eau, n'est pas homogène et que l'eau passe plus facilement par les grands pores, il est possible que le mélange ne soit pas complet, mais qu'une partie de l'eau percole directement en profondeur sans se mélanger avec la solution du sol. Dans les calculs on peut tenir compte de ce phénomène en introduisant un facteur  $f$ , qui exprime l'efficacité du lessivage, c'est-à-dire le pourcentage d'eau qui se mélange avec la solution du sol.

Si par exemple 50 % de la dose d'irrigation se mélange dans la couche 0-40 cm, 25 % plus l'excès d'eau de la première couche dans la couche 40-80 cm et 25 % plus l'excès d'eau de la deuxième couche dans la couche 80-120 cm, le facteur  $f$  sur le profil 0-120 cm est égal en moyenne à  $(4 \times 0,5 + 4 \times 0,75 + 4 \times 1,0)/12 = 0,75$ .

## (2) Tozeur

La figure II.A-f37 montre la courbe calculée théoriquement pour l'essai de lessivage en bac, en supposant un mélange complet de l'eau d'irrigation avec la solution du sol. On constate que les valeurs mesurées de la conductivité de l'eau drainée ont été plus basses au début de l'expérimentation, probablement parce que le mélange n'a pas été complet, et qu'elles montent ensuite au moment où les valeurs calculées commencent déjà à baisser. Par la suite les valeurs mesurées baissent plus rapidement, mais en fin d'expérimentation les conductivités mesurées et calculées sont à peu près égales.

Comme il est possible de convertir de nouveau  $EC_s$  calculée en  $EC_e$  en tenant compte des taux d'humidité du sol et de la pâte, il est aisé de comparer les valeurs  $EC_e$  calculées avec celles mesurées à la fin de l'expérimentation. Le tableau II.A-t16 montre les résultats pour les essais de lessivage sur bac à Tozeur.

Tableau II.A-t16 : Essais de lessivage sur bac à Tozeur

Couche	$EC_e$ en mmho/cm			
	après un drainage de 150 mm		après un drainage de 500 mm	
	mesurée	calculée	mesurée	calculée
0-20 cm	11,1	9,0	5,9	3,6
20-40	14,4	19,8	5,8	4,0
40-80	34,4	30,2	5,4	5,5
80-120	30,4	28,4	5,0	6,4

On constate que les valeurs calculées après 150 mm de drainage correspondent assez bien à celles mesurées. Il en est de même pour la situation après 500 mm de drainage, à ceci près que les conductivités calculées pour les couches 0-20 et 20-40 cm sont plus basses que les conductivités mesurées. Ceci pourrait s'expliquer du fait que dans un sol tel que celui de Tozeur le gypse peut se solubiliser et maintenir la conductivité à une valeur plus élevée que celle qui est calculée sans tenir compte de ce phénomène.

De la même façon nous avons calculé la désalinisation de la parcelle "Bilan" à Tozeur en supposant un mélange complet (efficacité égale à 1) et en tenant compte cette fois-ci du fait que le gypse maintient la conductivité à une valeur d'environ 5 dans la couche de surface. Le tableau II.A-t17 met en comparaison les conductivités mesurées et calculées pour Juillet 1965 après environ 250 mm de drainage et montre une bonne correspondance.

Tableau II.A-t17 : Parcelle "Bilan" Tozeur

Couche	EC <sub>e</sub> en mmho/cm - Juillet 1965	
	mesurée	calculée
0-20 cm	5,7	4,8
20-40	6,8	6,0
40-80	8,9	8,3
80-120	8,8	10,3

(3) Cherfech

Pour Cherfech ces calculs ont été faits d'une part pour la parcelle "Bilan", d'autre part pour l'essai de lessivage en hiver 1966-67.

En partant d'une efficacité égale à 1, c'est-à-dire d'un mélange complet, nous avons ensuite introduit d'autres facteurs d'efficacité plus faibles afin de pouvoir comparer ces calculs successifs avec les valeurs mesurées. D'après l'analyse statistique des conductivités mesurées sur la parcelle "Bilan" la différence entre la valeur mesurée et la valeur théoriquement calculée n'est pas significative, si cette différence est inférieure à 10 - 15 %. nous avons donc considéré, que pour des différences plus faibles la valeur théorique correspond à celle observée.

Le tableau II.A-t18 donne un exemple des résultats pour deux variantes de mélange dans le cas de la dose faible D<sub>1</sub> et trois variantes dans le cas de la dose forte D<sub>2</sub> de l'essai de lessivage. Une efficacité de 80 % provenant d'un mélange de 50 % dans la couche 0-40, 75 % dans la couche 40-80 et 100 % dans la couche 80-150, donne pour D<sub>1</sub> une meilleure correspondance qu'une efficacité de 100 %, c'est-à-dire un mélange complet, mais des efficacités plus faibles ont fait de nouveau diminuer la correspondance. Pour la dose D<sub>2</sub> le meilleur résultat est obtenu pour une efficacité de 60 % provenant d'un mélange de 30 % dans la couche 0-20, 40 % dans la couche 20-40, 60 % dans la couche 40-80, 70 % dans la couche 80-120 et 80 % dans la couche 120-150, alors que 20 % de l'eau passe directement à la nappe.

Tableau II.A-t18 : Comparaison des valeurs  $EC_e$  observées et calculées  
Essai de lessivage - Parcelle 1

Date	Couche	$EC_e$ observée	D1			D2				
			f 100%	f 0-40 40-80 80-150 <u>80</u>	f 50% 75 100	f 100%	f 0-40 40-80 80-150 <u>80</u>	f 50% 75 100	f 0-20 20-40 40-80 80-120 120-150 <u>80</u> 60	f 30% 40 60 70 80
16.11.66	0-20	2,9	1,7	2,7	1,5	2,0	2,4			
	20-40	3,4	2,7	3,9	2,3	3,1	3,4			
	40-80	4,8	4,6	4,7	4,1	4,2	4,7			
	80-120	7,1	7,7	6,4	6,9	6,0	7,0			
	120-150	6,5	6,9	6,7	6,5	6,1	6,1			
13.12.66	0-20	2,3	2,1	2,5	1,9	2,2	2,3			
	20-40	2,8	2,6	3,3	2,3	2,8	2,9			
	40-80	4,0	4,2	4,3	3,9	4,1	4,3			
	80-120	6,6	7,1	6,7	6,8	6,4	7,1			
	120-150	6,5	6,2	6,1	6,0	5,8	5,8			
28. 3.67	0-20	1,7	1,4	1,5	1,3	1,4	1,5			
	20-40	1,8	1,7	1,9	1,4	1,7	1,7			
	40-80	3,1	2,9	2,9	2,6	2,5	2,9			
	80-120	5,4	5,4	5,1	5,2	4,8	5,3			
	120-150	5,9	6,2	6,2	5,7	5,6	5,7			
13. 4.67	0-20	2,1	1,7	2,0	1,6	1,9	2,0			
	20-40	2,2	1,8	2,1	1,6	1,9	1,9			
	40-80	3,8	3,0	3,2	2,8	2,9	3,2			
	80-120	5,1	5,2	4,9	4,9	4,0	5,0			
	120-150	5,6	5,4	5,3	5,1	4,7	5,0			
Correspondance			14 sur 20	17 sur 20	9 sur 20	12 sur 20	18 sur 20			

Pour la parcelle "Bilan" il ressort des calculs une efficacité de 95 % pour la période d'hiver et de 85 % en été.

On peut en conclusion faire les observations suivantes :

- au fur et à mesure que la dose devient plus forte, l'eau se mélange moins bien avec la solution du sol, ce qui fait diminuer l'efficacité du lessivage.

- l'efficacité est plus élevée en hiver qu'en été, ce qui peut s'expliquer d'une part par l'absence de fentes de sécheresse, d'autre part du fait que l'apport d'eau en hiver provient pour une partie assez importante de la pluie, dont l'intensité horaire est en général plus basse que celle d'une irrigation.
- pour le même sol l'efficacité peut varier considérablement en fonction des facteurs mentionnés plus haut (de 60 à 95 % dans le cas de ces essais).

Ceci confirme les résultats des essais de lessivage à Utique, où nous avons également constaté, que la façon d'irriguer et le degré de fractionnement des apports ont une très grande influence sur le lessivage (cf.II.A.1.b).

## 2. ALCALISATION

Dans l'utilisation d'eaux salées en irrigation il est utile d'étudier l'évolution de la composition du complexe absorbant. Il faut en effet se renseigner sur la fixation plus ou moins importante du sodium par le sol, cette fixation étant le phénomène d'alcalisation qui, s'il se développe d'une façon exagérée, entraîne la destruction de la structure du sol avec toutes les conséquences que cela comporte (imperméabilité, asphyxie, stérilité).

Le critère le mieux adapté pour juger de l'importance d'un tel phénomène est l'étude de l'évolution de l'E.S.P. Nous rappelons que les expressions "ESP" ( $= Na \times 100/CEC$ ) et "Na/T" sont équivalentes ; en effet l'appellation Na/T correspond en fait à  $Na \times 100/T$ . Le Na/T varie en fonction de la composition de la solution du sol. Cette composition dépend de deux facteurs : la qualité de l'eau d'irrigation et les caractéristiques chimiques du sol.

Comme pour la salinité, sont présentés ici les résultats des travaux effectués dans le but d'analyser les effets des principaux facteurs de l'alcalisation : qualité d'eau, dose et fréquence des apports, saison, mode d'irrigation.... Les essais ont été ordonnés sous deux thèmes : qualité d'eau et dose et fréquence. Un cas de désalcalisation particulièrement intéressant est également présenté. L'ensemble des résultats a permis aussi de confirmer la relation entre alcalisation et salinité.

### a. INFLUENCE DES FACTEURS

#### (1) Qualité d'eau

Cette étude a été faite sur l'essai qualité d'eau (cf.II.A.1.a.(1)).

Comme il a déjà été dit, cet essai comportait quatre eaux référencées A, B, C, D de qualité différente. Leur salure (C.g/l) et leur SAR étaient les suivants :

	A	B	C	D
C g/l	0,2	1,3	2,3	3,5
SAR	0,8	5,5	7,6	8,5

L'évolution des Na/T dans la couche 0-80 cm, du printemps 65 à l'automne 67, pour les quatre traitements est représentée dans la figure II.A-f38.

Le Na/T atteint très vite, pratiquement dès la fin de la première culture, des valeurs sinon définitives, du moins relativement constantes, mis à part une faible variation saisonnière, tant que le mode d'irrigation reste le même. Les augmentations observées en automne 67 sont dues au changement de mode d'irrigation, la planche étant remplacée par le billon.

Dans ces conditions, et pour juger plus facilement du degré d'alcalisation provoqué par les quatre qualités d'eaux, on a établi les moyennes des résultats obtenus dans chaque traitement et pour toute la durée de l'expérimentation. Ces valeurs sont représentées dans la figure II.A-f39.

Les différences du Na/T constatées sont fonction de la qualité d'eau, mais ce n'est pas, évidemment, l'eau d'irrigation elle-même qui fait évoluer la composition du complexe absorbant, c'est la solution du sol ; étant donné que l'on a affaire à un sol peu salé en surface et de plus en plus salé en profondeur, les solutions du sol dans les couches supérieures reflètent assez bien les eaux utilisées ; par contre au fur et à mesure que l'on descend dans le profil, l'augmentation progressive de salure des eaux percolantes et l'influence de la nappe salée tendent, sinon à homogénéiser du moins à diminuer les différences de composition des solutions du sol entre les quatre traitements.

- De ce fait les différences de Na/T entre les 4 traitements pour une même couche sont d'autant plus faibles que la couche considérée est plus profonde.
- On peut aussi observer dans un même traitement que les Na/T augmentent avec la profondeur et que le gradient est d'autant plus faible que le SAR de l'eau est plus élevé.

Nous avons signalé plus haut l'existence d'une variation saisonnière des Na/T. Cette variation se manifeste principalement dans les couches supérieures des sols soumis à l'action des eaux de qualité B, C et D : le sodium absorbé augmente en été et diminue en hiver. Ainsi pour la couche 0-80 cm, les valeurs moyennes du Na/T obtenues respectivement aux trois printemps et aux trois automnes sont les suivantes :

	B	C	D
Printemps	6,8	8,1	8,6
Automne	7,3	8,4	9,1

Mais, en définitive, on peut constater que même l'eau la plus chargée (3,5 g/l) n'a pas fait apparaître de réels dangers dans les conditions où nous l'avons utilisée. Le Na/T atteint sa valeur prévisible d'après le SAR de l'eau apportée, pratiquement à la première saison d'irrigation et il semble ensuite se stabiliser, les faibles variations enregistrées au cours des années suivantes étant imputables soit au mode d'irrigation soit à la saison.

Les variations saisonnières du Na/T paraissent en outre indiquer que l'alcalisation n'est pas irréversible et qu'en présence de sols suffisamment pourvus en calcium soluble, comme ceux de Cherfech, et avec des eaux analogues à celle de la Medjerdah il est possible, moyennant un drainage adéquat, de prévoir la restauration de sols plus ou moins alcalisés.

## (2) Dose et fréquence

L'évolution de Na/T a été suivie dans les essais "dose et fréquence" faits à Cherfech et à Ksar Ghériss.

Les résultats obtenus dans les deux stations coïncident : ils montrent que ni les doses ni les fréquences utilisées n'apportent de différence dans les valeurs de Na/T. Cette observation est en concordance avec celle faite dans ces mêmes essais pour la salinité qui, elle non plus, n'avait pas été influencée par les différents traitements. A Ksar Ghériss, sur sol sableux et non salé au départ, les Na/T sont restés pratiquement constants : environ 3 pour l'ensemble du profil. Ils sont de l'ordre de 8 à Cherfech, sur sol argileux et salé en profondeur au départ, après quatre années d'expérimentation. Cependant, dans ce dernier cas, les résultats moyens des six traitements font ressortir une évolution différente suivant la couche considérée. Il a donc paru intéressant d'étudier ces évolutions sur un essai de longue durée où un seul traitement était appliqué. La parcelle "Bilan" (cf. II.A.1.b.(1)) répondant à ces exigences a été utilisée à cet effet.

Des déterminations de Na/T ont été effectuées régulièrement trois fois par an pendant cinq années.

Les résultats sont présentés dans la figure II.A-f40.

Le Na/T dans la couche 0-40 cm arrive très vite, pratiquement pendant la première saison d'irrigation à un niveau qui reste plus ou moins stable au cours des quatre années d'expérimentation et se situe aux environs de 7. Il existe une faible variation saisonnière qui se caractérise par une baisse de Na/T en hiver et une augmentation en été.

Dans la couche 40-150 cm le Na/T a diminué régulièrement si bien que la différence constatée au départ entre cette couche et la précédente va en s'estompant d'année en année.

b. DESALCALISATION D'UN SOL

L'expérimentation a été faite à Utique conjointement à celle entreprise pour le lessivage des sels, dans le deuxième essai mis en place au cours de l'hiver 67-68 (cf. II.A.1.b(2)).

Comme pour la salure nous avons étudié à part les zones avec végétation et les zones sans végétation. Les valeurs de Na/T constatées avant et après lessivage sont données dans la figure II.A-f41.

En examinant les résultats obtenus après lessivage il semble que les trois traitements aient eu une influence différente sur la désalcalisation : les valeurs des Na/T en fin d'expérience étant d'autant plus basses que la dose de lessivage avait été plus forte. Il y a lieu cependant de faire une réserve à cette conclusion : en effet, il s'est trouvé que les sols supportant les trois traitements n'avaient pas au départ le même degré d'alcalisation, si bien qu'il est difficile d'imputer les différences observées dans les évolutions de Na/T uniquement aux différences de traitement.

La diminution relative du Na/T nous a paru intéressante à mettre en évidence (tableau II.A-t19).

Tableau II.A-t19 : Pourcentage de désalcalisation  $\frac{\Delta (Na/T)}{Na/T \text{ initial}} \times 100$

Couche cm	Zone avec végétation	Zone sans végétation
0-10	43	64
10-20	49	54
20-40	45	39
40-60	36	29
60-80	35	17
80-100	29	24
0-40	46	49
40-100	33	23
0-100	40	36

Les différences de désalcalisation relatives s'expliquent si l'on admet que les eaux percolantes dans le sol se minéralisent d'autant plus qu'elles coulent sur une plus grande longueur (cas des horizons profonds) et qu'elles traversent des couches plus salées (cas des parcelles sans végétation).

La conclusion qui se dégage de cette expérience est que la désalcalisation de ce sol s'est faite d'une façon remarquablement satisfaisante. Grâce à la teneur importante du sol en calcium soluble (présence de  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{CaSO}_4$ ) et du SAR de l'eau d'irrigation (environ 6) tous les horizons du sol quel que soit le traitement reçu par les parcelles, ont eu leur Na/T ramené à un niveau inférieur à 15. Le lessivage a donc réduit l'alcalinité et la salinité (cf. II.A.1.b(2)) : le sol peut être mis en culture.

### c. RELATION ENTRE ALCALISATION ET SALINITE

Il a été établi depuis longtemps déjà qu'il existe une relation étroite entre l'alcalisation et la salinité d'un sol. Or la salinité peut se déterminer d'une façon très rapide - alors que la détermination de l'alcalisation demande une manipulation longue et délicate. Il est donc parfois intéressant, comme dans le cas de la surveillance d'un périmètre, de chiffrer cette relation : ceci permet en effet par une mesure rapide de  $\text{EC}_e$  de connaître aussitôt le Na/T. Cette relation dépend évidemment du type de sol et du type de salure et il conviendra de s'assurer de l'homogénéité de l'un et de l'autre avant de généraliser les équations établies sur l'ensemble d'une parcelle.

A titre d'exemple nous avons chiffré les relations entre le Na/T, la conductivité et le SAR des extraits de saturation dans le cas particulier de nos essais "qualité d'eau" à Cherfech (QDE). Les corrélations

$$\text{Na/T} = f(\text{EC}_e)$$

$$\text{Na/T} = f(\text{SAR de l'extrait de saturation})$$

ont été étudiées sur l'ensemble des résultats obtenus pendant les deux premières années dans la sole I. Elles sont définies par les équations suivantes :

$$\text{Na/T} = 0,894 \text{ EC}_e + 3,11 \quad r = 0,893 \quad n = 75$$

$$\text{Na/T} = 0,988 \text{ SAR} - 0,61 \quad r = 0,937 \quad n = 75$$

Les deux corrélations (figure A.II-f42) sont hautement significatives ; la première l'est à un degré moindre, ce qui est logique puisque ce qui influe sur le Na/T c'est la teneur globale en ions de la solution (valeur donnée par  $\text{EC}_e$ ) mais plus encore la quantité de  $\text{Na}^+$  par rapport aux ions bivalents (valeur donnée par le SAR).

Il y a lieu de souligner que la relation liant le SAR de l'extrait de saturation et le Na/T est linéaire ici, alors qu'elle ne l'est pas d'après d'autres chercheurs. La contradiction n'est qu'apparente : en réalité la relation n'est ici linéaire que parce qu'elle a été examinée pour des valeurs faibles du SAR et du Na/T (0. à 12 environ) ; elle ne l'est plus pour des valeurs plus élevées (des résultats obtenus sur d'autres essais l'ont confirmé), ce qui est alors en accord avec les conclusions des auteurs qui ont étudié cette relation pour des gammes de SAR et de Na/T dont les limites excèdent celles considérées dans ce texte.

II. LES RECHERCHES ET LEURS RESULTATS

B. REACTION DES CULTURES



## 1. EFFETS DE LA SALURE

La salure de l'eau d'irrigation agit sur celle du sol qui à son tour influe sur la production agricole.

Le problème peut être pris en ne considérant que les deux maillons extrêmes - salure de l'eau et production - ou au contraire en le décomposant en un certain nombre de relations.

La présente étude a été conçue essentiellement pour déterminer dans des conditions réelles l'évolution de la salure du sol et les rendements de diverses cultures dans le cas d'emploi d'eaux salées.

Il est en outre apparu utile d'examiner certains points particuliers de la relation générale "salure de l'eau - production" à savoir : les effets de la salure sur la germination et la levée, certaines réactions dans la rhizosphère et aussi la composition du végétal. Toutefois ces études sont à considérer comme incidentes et c'est ce qui explique leur développement limité.

### a. EFFETS DE LA SALURE SUR LA PRODUCTION

#### (1) But de l'étude

Conformément aux objectifs généraux du projet, on a cherché à établir les relations :

salure de l'eau d'irrigation - salure du sol (i)

salure du sol - production (ii)

et donc salure de l'eau d'irrigation - production (iii)

La connaissance de ces relations est indispensable à la gestion rationnelle de ressources en eaux salées.

On notera que la relation (i) dépend plus fortement des conditions locales et en particulier de la pluviosité que la relation (ii). L'emploi combiné des relations (i) et (ii) permet, dans une région donnée, de prévoir au moins approximativement la différence de rendements pour des cultures similaires, effectuées sur deux sols n'ayant pas la même salure moyenne pendant la période de végétation comme c'est par exemple le cas lorsque l'eau d'irrigation est la même mais que les salures des sols sont différentes à l'origine.

La relation (iii) est d'une grande importance pratique pour le bassin de la Medjerdah, où il s'agira dans le proche avenir de décider de l'emploi des futurs barrages. En effet, ces barrages seront construits dans la région montagneuse au Nord de la Medjerdah et vont retenir essentiellement de l'eau douce dont le lieu d'emploi posera un problème. La création de périmètres irrigués dans la Haute Vallée peut amener à une augmentation de la salure de l'eau d'irrigation dans la Basse Vallée. Au contraire ces eaux douces peuvent être utilisées en permanence ou à certains moments pour améliorer par mélange les eaux de la Medjerdah et ainsi diminuer la salure de l'eau d'irrigation dans la Basse Vallée.

Compte tenu de ce qui précède les résultats ont été présentés sous un double aspect :

- 1°) Relation entre rendement des cultures et salure de l'eau d'irrigation.
- 2°) Relation entre rendement des cultures et salure moyenne du sol.

La relation entre les salures de l'eau et du sol est exposée par ailleurs (cf. II.A.1.a).

## (2) Conduite de l'étude

Cette expérimentation a été menée conjointement à celle déjà décrite en II.A.1.a, où les renseignements sur l'organisation de la parcelle et les qualités d'eau peuvent être consultés.

Pour la salure de l'eau on a retenu la valeur moyenne pendant la période de végétation de la culture considérée.

Il fallait également choisir une valeur représentative de la salure du sol au cours de la période de végétation. Des mesures sont effectuées au printemps et en automne et pour la plupart des cultures il semble judicieux d'en retenir la valeur moyenne. Toutefois pour des cultures fourragères d'hiver il peut être préférable de choisir soit la salure d'automne soit la salure de printemps.

La salure du sol est déterminée deux fois par an pour chacune des couches suivantes : 0-20, 20-40, 40-80, 80-120, et 120-150 cm. Comme la densité racinaire diminue lorsque la profondeur croît, les racines s'arrêtant à environ 80 cm, et que d'après les profils hydriques, les variations de l'humidité du sol suivent une loi analogue, il semble raisonnable de ne considérer que la couche 0-80 cm et, compte tenu de ce qui précède, la conductivité ainsi calculée :

EC moyenne =  $1/4 (2 \times EC 0 - 20 + 1 \times EC 20 - 40 + 1 \times EC 40 - 80)$ .

En tout état de cause, les salures des couches successives jusqu'à 80 cm étant voisines, la valeur obtenue ne varie guère pour les différents types de formules suivantes :

Couche	Formule	Valeur calculée			
		A	B	C	D
0-20	EC = EC 0-20	2,35	4,15	5,3	6,6
0-40	EC = 1/2(EC 0-20+EC 20-40)	2,0	3,9	4,8	6,2
0-80	EC = 1/3(EC 0-20+EC 20-40+EC 40-80)	2,1	4,0	4,8	6,3
0-80	EC = 1/4(2EC 0-20+EC 20-40+EC 40-80)	2,15	4,0	4,9	6,35

Sur les figures présentant la relation entre rendement et salure du sol, cette dernière est évaluée d'une part par  $EC_e$  et d'autre part par  $EC_s$ . En effet la même valeur  $EC_e$  pour un sol argileux et un sol sableux ne correspond pas aux mêmes concentrations de la solution du sol, le rapport SP/Hs étant plus grand dans le second cas. La conductivité  $EC_e$  d'un sol sableux donne donc un indice trop optimiste de la salure.

Dans le cas de Cherfech et pour la couche 0-80 cm SP = 55 % ; Hs a été pris égal à 22 %. A ce sujet il faut signaler que cette valeur est une moyenne dans le temps : pendant un cycle d'irrigation elle diminue après ressuyage de 25 à 19 % environ. Le rapport SP/Hs peut donc être pris égal à 2,5 (voir figure II.B-f1).

### (3) Résultats

Avant d'exposer des conclusions générales, il est nécessaire de voir sur deux exemples - une culture d'été et une culture d'hiver - comment les résultats se sont présentés.

#### (a) Exemples

##### - Sorgho fourrager

C'est la variété Trudent qui a été choisie pour les essais ; les semis ont été effectués en Mai. La période d'irrigation a été de l'ordre de 10 à 15 jours.

Le tableau II.B-t1 donne les productions de matière verte exprimées en T/ha, mentionne les salures de l'eau et indique le régime hydrique.

Tableau II.B-t1 : Production du sorgho fourrager en T/ha

	Qualité d'eau				Hauteur d'eau : - d'irrigation - de pluie - drainée (*)
	A	B	C	D	
1966 1e coupe 11.7	39,3	36,4	35,1	28,2	802 mm
2e coupe 13.8	30,7	23,2	20,5	15,2	50
3e coupe 20.9	<u>30,7</u>	<u>26,7</u>	<u>24,7</u>	<u>23,2</u>	100
Total	100,7	86,3	80,3	66,6	du 25/5 au 11/9
Salure en g/litre	0,2	1,4	2,2	3,8	
1967 1e coupe 17.7	24,3	15,6	11,0	3,3	762 mm
2e coupe 12.8	30,0	25,1	20,0	19,2	32
3e coupe 25.9	<u>27,0</u>	<u>24,7</u>	<u>22,0</u>	<u>19,5</u>	125
Total	81,3	65,4	53,0	42,0	du 30/5 au 29/8
Salure en g/litre	0,2	1,5	2,6	3,6	

(\*) valeur calculée

La pente de la droite donnant les rendements en fonction de la salure de l'eau d'irrigation est plus forte en 1967 qu'en 1966 (voir figure II.B-f2). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la salure moyenne du sol dans les quatre traitements, et surtout dans le traitement D, a été plus élevée en 1967 à cause d'une salure plus forte au printemps. La relation entre le rendement et la salure du sol est également une droite, celle de 1966 étant parallèle à celle de 1967. C'est-à-dire, qu'il existe une différence dans le niveau de production entre les deux années, mais ceci n'a pas modifié le type de relation entre rendement et salure du sol.

En comparant les années, on voit aussi que le sorgho irrigué avec l'eau de la qualité D a subi un net retard en 1967 qui se manifeste dans le rendement de la première coupe (3,3 T/ha). Il faut signaler qu'en 1966, outre une salure moyenne du sol plus faible, une pluie de 26 mm est tombée au moment de la germination.

Des analyses de digestibilité effectuées sur la 3e coupe de 1967 donnent 0.1 UF (unité fourragère) par kg de matière verte pour la qualité A contre 0.11 UF pour la qualité D. Cette différence se retrouve dans la matière sèche : 23,5 % pour la qualité A contre 25,8 % pour la qualité D. La diminution du rendement par la salure correspondrait donc à une amélioration de la valeur alimentaire du fourrage.

- Bersim (Trèfle d'Alexandrie)

Les semis ont été effectués en Octobre ; les apports d'eau d'irrigation ont été réglés au vu du régime pluviométrique et de l'état du végétal.

Le tableau II.B-t2 donne les productions de matière verte en T/ha ainsi que les salures des eaux d'irrigation.

Tableau II.B-t2 : Production du Bersim en T/ha

		Qualité d'eau			
		A	B	C	D
1965-66	1 <sup>re</sup> coupe 24.1	23,2	22,8	23,8	26,1
	2 <sup>e</sup> coupe 26.2	19,1	17,8	18,7	19,4
	3 <sup>e</sup> coupe 18.4	<u>20,2</u>	<u>21,7</u>	<u>21,2</u>	<u>18,5</u>
	Total	62,5	62,3	63,7	64,0
	Salure en g/litre	0,2	1,0	1,9	3,4
1966-67	1 <sup>re</sup> coupe 4.1	19,4	18,8	16,5	10,8
	2 <sup>e</sup> coupe 21.2	25,2	24,8	23,7	20,8
	3 <sup>e</sup> coupe 27.3	<u>26,1</u>	<u>29,0</u>	<u>28,1</u>	<u>23,8</u>
	Total	70,7	72,6	68,3	55,4
	Salure en g/litre	0,2	0,9	1,6	3,2
1967-68	1 <sup>re</sup> coupe 1.2	12,6	11,2	10,1	8,4
	2 <sup>e</sup> coupe 11.3	<u>25,4</u>	<u>22,0</u>	<u>23,1</u>	<u>18,9</u>
	Total	38,0	33,2	33,2	27,3
	Salure en g/litre	0,2	1,3	2,6	3,5

Les indications suivantes permettent de se faire une idée du régime hydrique : hauteurs (en mm) d'eau de pluie, d'irrigation et de drainage ainsi que, pour l'essai d'eau de qualité D, la salure à l'automne du sol de la couche 0-80 cm (exprimée par  $EC_e$  en mmho/cm).

Année	Pluie	Irrigation	Drainage (x)	Salure
1965-1966 semis 12.10	136 en 30 jours après semis  358 au total	150 du 12.10 au 11.12  380 au total	120 du 12.10 au 11.12  175 au total	5,4
1966-1967 semis 12.10	47 en 30 jours après semis  251 au total	120 du 13.10 au 31.10  255 au total	0 du 13.10 31.10  25 au total	5,3
1967-68 semis 30.10	61,5 en 30 jours après semis  285 au total (arrêt mi-Mars)	150 du 30.10 au 10.11	50 du 10.11 au 20.11  100 au total fin Janvier	5,7

(x) valeur calculée

L'analyse statistique des rendements de 1965-66 fait ressortir, que pour la première coupe l'eau de qualité D a donné un résultat supérieur à ceux des autres traitements : ceci est peut être dû à un arrière effet du sorgho, mais pour la deuxième et la troisième coupes ainsi que pour l'ensemble des trois coupes il n'y a pas de différence significative.

La salure en automne étant sensiblement la même en 1965 et 1966, la réaction différente de l'année 1965-66 par rapport à celle de l'année suivante pourrait s'expliquer par le fait qu'au début de la première année un lessivage important s'est produit à la suite des fortes pluies et des irrigations tandis que la deuxième année montre peu de drainage. Les coupes de l'année 1965-66 se rapporteraient plutôt à la salure du printemps 1966 à cause du lessivage important au début de la culture. Par contre la première coupe de l'année 1966-67 serait en rapport avec la salure de l'automne, la deuxième avec la moyenne des deux époques, la troisième avec celle du printemps et l'ensemble des coupes avec la moyenne des deux époques. Pour l'hiver 1967-68 la première coupe se rapporte plutôt à la salure moyenne de l'automne et du printemps, la deuxième à celle du printemps et l'ensemble des deux coupes également à la salure moyenne des deux époques.

Le fait, que les rendements en 1965-66 n'ont pas réagi à la salure pourrait donc s'expliquer par la baisse de salure du sol due à l'excès d'eau qui a fortement estompé les différences de salure du sol entre les 4 traitements (voir figure II.B-f3).

(b) Conclusions

Les figures II.B-f4 et 5 résument l'ensemble des résultats obtenus en mettant en évidence les réductions de rendement dues à la salinité. Une base 100 a été adoptée : elle correspond à la production la plus élevée.

Pour les graphiques illustrant la relation entre la réduction du rendement et la salure moyenne du sol, on s'est limité pour cette dernière à la gamme des valeurs correspondant aux essais réalisés. Les cultures ont été classées par valeur croissante de la pente de la droite indiquant les rendements en fonction de la salure (voir figure II.B-f5).

Ces résultats nécessitent quelques commentaires.

- Les eaux utilisées ont, comme il est de règle en Tunisie, un SAR qui n'est jamais très élevé.

Qualité	A	B	C	D
SAR	0,8	5,3	6,6	8,6

- Les essais ont été accomplis "au champ" : tout en assurant une conduite méthodique des cultures et en effectuant des contrôles rigoureux on s'est rapproché le plus possible des conditions réelles.

Cette façon de procéder a eu pour inconvénient d'introduire des perturbations en particulier climatiques. Par exemple le régime des pluies étant irrégulier il n'a pas été possible de retrouver les mêmes conditions initiales, ceci explique pourquoi dans le graphique montrant la relation entre réduction de rendement et salure du sol, les gammes de salures ne sont pas identiques pour toutes les cultures.

Elle a aussi obligé à prendre en compte comme en agriculture les aléas de germination et de levée. Notons que, les tomates mises à part, les cultures objet de nos recherches se sont montrées, en ce qui concerne la germination, relativement peu sensibles aux salinités atteintes ; en revanche la formation plus ou moins marquée d'une croûte en surface du sol, inévitable dans les conditions de la pratique, a parfois retardé très fortement, voire même empêché la levée.

Cette façon de procéder a eu, en retour, entre autres avantages, le grand mérite de permettre une appréciation réaliste du problème posé par la planification de l'emploi des eaux de la Medjerdah.

La salure de l'eau d'irrigation influe surtout les cultures d'été alors que les cultures d'hiver sont en outre fortement dépendantes de la salure du sol à l'automne et de la pluviosité. Un changement de la salure de l'eau de la Medjerdah par des lachers d'eau douce à partir de certains barrages aurait surtout une incidence en été, une telle intervention serait peut-être opportune lorsque l'automne est sec.

## b. ETUDES ET OBSERVATIONS DE POINTS SPECIFIQUES

### (1) Germination et levée

(a) Le stade de la germination a été étudié également au laboratoire en boîtes de Pétri. Pour cette étude ont été utilisées deux séries de solutions dont la concentration a été maintenue constante au cours des essais.

1°) Une série de solutions - "type 1" - préparées à partir de l'eau de la Medjerdah en ajustant les conductivités à l'aide de chlorure de sodium. Les conductivités en mmho/cm étaient les suivantes : (eau distillée) 2,0, 3,6, 6,7, 10,7 et 13,7.

2°) Une série de solutions - "type 2" - préparées à partir de l'eau de la Medjerdah et ajustées à des conductivités différentes en maintenant le rapport ionique de l'eau de la Medjerdah. Les conductivités étaient : (eau distillée), 2,0, 3,9, 7,2, 10,4, 13,4.

Bien qu'il soit plus facile de préparer la première série, il nous a semblé utile de faire la double étude. En effet, en comparant la germination pour des conductivités différentes en plein champ, on compare l'influence des solutions, qui ont d'une part une conductivité différente, mais d'autre part à peu près le même rapport ionique. En se limitant à l'étude d'une seule série de solutions, dont les conductivités ont été ajustées à l'aide de chlorure de sodium, on risque de s'éloigner de la réalité en introduisant un déséquilibre ionique causé par le chlorure de sodium.

Les figures II.B-f6 et 7 montrent la relation entre la germination et la conductivité de la solution pour deux cas :

- maïs : la germination n'est retardée par la salure que pendant les 6 jours qui suivent le semis, ce phénomène est légèrement plus marqué avec la solution type 1 (ajustée au NaCl).

- tomates : le retard à la germination est très prononcé ; 12 jours après le semis avec la solution la plus concentrée, le taux de germination n'est que de 40.

Les autres cultures qui ont fait l'objet de nos études (sorgho-fourrager, luzerne, ray-grass, bersim et fèves) ont eu des réactions intermédiaires mais nettement plus voisines de celle du maïs que de celle de la tomate.

(b) Comme l'essai "Qualité d'eau" en plein champ ne permet que d'établir la relation entre le rendement et la salure du sol et qu'il peut être utile d'étudier d'une façon plus détaillée le stade de la germination et de la levée, nous avons en été 1967 mis en place un essai sur bacs en plein champ.

Cet essai a été effectué dans deux séries de quatre bacs sans fond, remplis de 40 cm du sol de Cherfech, avec des niveaux de salure différents, reposant sur le profil normal de Cherfech.

Des prélèvements du sol ont été effectués au début, au cours et à la fin de chaque essai pour l'analyse de la salure. Le nombre des grains germés a été compté et à la fin nous avons déterminé la quantité de matière sèche des plantules. Pour le premier essai le poids des racines a été également déterminé.

On trouvera à titre d'exemple les résultats obtenus pour le maïs (figure II.B-f8). Les retards à la levée confirment les observations faites pour la germination en boîte de Pétri. Par ailleurs l'examen des courbes indiquant les poids de matière sèche montre que la salinité affecte également les développements des parties aériennes et racinaires.

Ces essais n'ont en définitive fait apparaître qu'un léger retard ; il n'en demeure pas moins que dans la pratique on observe parfois des retards beaucoup plus importants et même des manques si les conditions climatiques à la levée sont défavorables :

par exemple la conjonction au printemps d'une température relativement basse gênant la germination et d'un vent fort et desséchant provoquant la formation d'une croûte à la surface du sol ; l'hétérogénéité de la levée oblige alors de resserrer les irrigations ce qui aggrave les risques d'asphyxie pour les plantes.

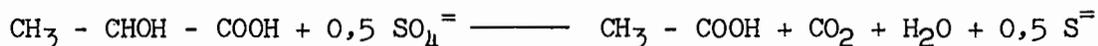
On ne saurait trop insister sur l'importance considérable d'une bonne levée dans des délais aussi courts que possible.

## (2) Sulfato-réduction rhizosphérique et sulfato-réduction spermosphérique

Pour que la sulfato-réduction se manifeste dans un sol, il est indispensable qu'un certain nombre de conditions soient remplies simultanément ; les plus importantes sont les suivantes : présence de bactéries sulfato-réductrices, température assez élevée, pH neutre ou basique, présence de sulfates, anaérobiose stricte, présence de composés organiques facilement métabolisables (1).

---

(1) On sait que la réduction bactérienne des sulfates est couplée avec l'oxydation de composés organiques facilement métabolisables, tels que l'acide lactique, suivant des réactions du type :



Lorsqu'ils sont dans une phase d'anaérobiose stricte, les sols irrigués à l'eau saumâtre (tels que ceux de la station de Nakta) réunissent les cinq premières conditions mais pas la dernière, sauf dans deux microhabitats privilégiés susceptibles de renfermer des quantités suffisantes de composés organiques facilement métabolisables : la rhizosphère et la spermosphère (2). Dans le premier cas, c'est la sulfato-réduction rhizosphérique qui apparaît, dans le deuxième c'est la sulfato-réduction spermosphérique. La sulfato-réduction rhizosphérique, normalement très discrète, est fortement stimulée soit par des modifications de l'éclairement de la plante, soit par la coupe des parties aériennes.

(a) Sulfato-réduction rhizosphérique consécutive à des modifications de l'éclairement de la plante

(i) Observations in situ

Dans certains sols, comme celui des stations de Nakta et de Messaoudia, lorsqu'à une période de temps couvert succède une période de forte insolation, et lorsqu'en même temps le sol est engorgé, certaines plantes - luzerne et fève notamment, mais aussi coton et maïs - flétrissent en quelques heures, puis les feuilles noircissent sans se dessécher ce noircissement progressant des feuilles périphériques vers la tige principale : la mort survient au bout de deux à trois jours. Parallèlement les racines se recouvrent d'une gaine noire de sulfure de fer, facile à observer à condition que l'examen ait lieu moins de cinq à dix jours après la manifestation des premiers symptômes de dépérissement ; la gaine de sulfure est parfois discontinue ; en général elle est plus nette dans les 10 à 15 cm supérieurs du système racinaire.

Dans les parcelles, le dépérissement apparaît par taches plus ou moins étendues correspondant aux zones où l'engorgement est le plus sévère : il se produit essentiellement entre la fin de l'automne et le début de l'hiver.

Les dégâts causés aux cultures peuvent être très importants. En 1968 et 1969, à la station de Nakta, 20 à 100 % des surfaces cultivées en fèves ont été atteintes. Dans la même station, on a noté une baisse de rendement de la luzerne de l'ordre de 20 à 25 % ; le pourcentage de plants morts dans les zones d'engorgement augmentant d'année en année, il devient impossible de maintenir les luzernières en place plus de trois années.

---

(2) Par rhizosphère, on désigne le volume, très limité, de sol où les exsudats racinaires diffusent, stimulant ou inhibant certains éléments de la microflore tellurique qui, par leur activité, peuvent à leur tour transformer l'environnement rhizosphérique. La spermosphère (syn.: spermatosphère) est le microhabitat homologue de la rhizosphère dans le cas des graines.

(ii) Expérimentation au laboratoire

Après avoir vérifié que la réduction des sulfates observée est bien de nature microbienne, on s'est attaché à élucider le rôle des deux facteurs écologiques majeurs : anaérobiose, présence de composés organiques facilement métabolisables. Il ressort du tableau II.B-t3 que la sulfato-réduction se développe uniquement dans la rhizosphère de la plante poussant dans un sol placé en anaérobiose stricte par engorgement et compactage.

Tableau II.B-t3 : Influence de l'anaérobiose sur la densité des bactéries sulfato-réductrices et sur l'accumulation des sulfures dans le sol rhizosphérique et non rhizosphérique de Nakta (plante testée : maïs).

		Densité des bactéries sulfato-réductrices	Teneur en sulfure
Sol non engorgé (aérobiose)	Sol hors rhizosphère	4,24	0,1
	Sol de la rhizosphère	4,64	0,1
Sol engorgé et compacté (anaérobiose stricte)	Sol hors rhizosphère	4,01	0,2
	Sol de la rhizosphère	5,74	10,7

N.B. La densité des bactéries sulfato-réductrices est exprimée ici sous forme du  $\log_{10}$  du nombre de microorganismes par g de sol sec. La teneur en sulfure est exprimée en  $10^{-6}S^-$ .

La figure II.B-f9 indique que l'accumulation de sulfure est d'autant plus importante que la densité apparente du sol est élevée. Ce fait explique la gravité du phénomène de sulfato-réduction dans les sols dont la densité apparente est élevée, ce qui est fréquemment le cas en Tunisie ; ainsi à Nakta la densité apparente du sol mesurée in situ est supérieure à 1,60 dans l'horizon 0-20 cm.

Des essais préliminaires conduits en vases de végétation sur fèves ont confirmé le fait observé au champ, à savoir que des modifications de l'éclairement accélèrent le dépérissement des plantes en favorisant la production de sulfure dans la rhizosphère.

(iii) Interprétation

Le faisceau d'observations et de résultats expérimentaux dont nous disposons maintenant tend à confirmer l'hypothèse suivant laquelle le passage d'une plante d'un faible ensoleillement à un très fort ensoleillement stimule fortement les exsudations racinaires ; si, au même moment, la diffusion de l'oxygène dans le sol est bloquée à la fois par un engorgement et une compacité excessive, due à une structure défectueuse, toutes les conditions requises pour assurer la prolifération des bactéries sulfato-réductrices se trouvent réunies dans la rhizosphère. L'hydrogène sulfuré produit par les bactéries se combine d'abord au fer ferreux du sol pour former autour des racines une gaine de sulfure de fer, gaine à l'intérieur de laquelle les microorganismes continuent à produire de l'hydrogène sulfuré, qui, sous forme libre intoxiquerait la plante. Cette intoxication pourrait aussi résulter de l'intervention d'autres composés soufrés, tels que les mercaptans. La mort de la plante pourrait également s'expliquer par le blocage de l'absorption d'éléments nutritifs ou de l'eau par la gaine de sulfure de fer. Il s'agit là de mécanismes encore hypothétiques qu'il conviendra d'étudier ultérieurement.

(b) Sulfato-réduction rhizosphérique consécutive à la coupe des parties aériennes

A Nakta, lorsque la coupe du sorgho est suivie d'un engorgement du sol, la repousse se fait mal : les rejets ne partent plus du pied principal mais de talles secondaires ; en outre leur croissance est médiocre. Cette perturbation apportée à la repousse du sorgho s'est traduite, au cours de l'été 1969, par une perte de l'ordre de 10 T/ha de fourrage vert.

Les examens effectués au champ et les expériences préliminaires conduites au laboratoire suggèrent, là aussi, l'intervention des bactéries sulfato-réductrices au sein de la rhizosphère. Des recherches vont être entreprises pour élucider le mécanisme impliqué.

(c) Sulfato-réduction spermosphérique

Lorsque, dans un sol du type Nakta, l'engorgement intervient après le semis, une grande partie des graines en cours de germination meurent. Des accidents de cette nature ont été observés à Nakta sur maïs en avril 1969 (pluie après irrigation) et sur blé et orge en fin septembre (pluies excessives après le semis).

Au laboratoire, on a montré que la mort des graines dans le sol de Nakta engorgé va de pair avec l'accumulation de quantités élevées de sulfures dans la spermosphère. Pour une même densité du sol, l'intensité de la sulfato-réduction, mesurée par la teneur en sulfure, est plus importante dans la spermosphère que dans la rhizosphère (fig.II,B-f9) : la raison en est vraisemblablement que l'exsudation des racines est beaucoup plus importante que l'exsudation des graines. On peut donc penser à priori que la sulfato-réduction spermosphérique se rencontre plus souvent que la sulfato-réduction rhizosphérique.

(d) Conclusion

La sulfato-réduction rhizosphérique et la sulfato-réduction spermosphérique sont des processus localisés dans le temps et dans l'espace : ils sont éphémères et ne laissent aucune trace dans le sol, une fois que celui-ci est ressuyé (les sulfures se réoxydent alors en 24 heures ou quelques jours au plus) ; ils sont limités aux microhabitats que constituent la rhizosphère et la spermosphère : seuls des microprélèvements effectués au moment opportun peuvent les mettre en évidence. C'est pourquoi ces formes de la sulfato-réduction sont restées inaperçues jusqu'à présent. Elles n'en jouent pas moins un rôle important sur le plan pratique en raison de la gravité des dégâts causés aux cultures sur pied ou aux semis.

Les sols les plus exposés aux formes de sulfato-réduction découvertes à Nakta présentent les caractères suivants :

- 1°) ils renferment une teneur relativement élevée en sulfates, cette teneur étant de l'ordre de 20 à 40 meq dans l'extrait de pâte saturée.
- 2°) leur structure est défectueuse et ils s'engorgent facilement, ces dernières propriétés induisant une anaérobiose stricte dans les horizons de surface lorsque le sol est soumis à des pluies excessives ou à une surirrigation.

(3) Composition minérale de quelques végétaux

Le but de ces observations était de déceler la relation entre la nutrition minérale du végétal et non seulement la qualité mais aussi le mode d'épandage de l'eau d'irrigation.

(a) Influence de la qualité de l'eau

La croissance et la composition minérale des végétaux suivants : maïs, ray-grass et tomates ont été étudiées dans une série d'essais en pot effectués en utilisant six qualités d'eau additionnée de solution nutritive de Hoagland.

Comme mentionné précédemment ((1)ci-dessus) les eaux de diverses salures ont été obtenues en utilisant de l'eau douce, de l'eau de la Medjerdah et, pour les salures élevées, en y ajoutant du chlorure de sodium.

Eau	Solution nutritive	NaCl en g/l	EC en mmho/cm
douce	même quantité pour les six traitements	-	1,5
1/2 douce + 1/2 eau Medjerdah	"	-	2,3
eau Medjerdah	"	0,22	4,1
eau Medjerdah	"	2,24	7,5
eau Medjerdah	"	4,34	10,8
eau Medjerdah	"	6,49	14,4

L'arrosage a été fait tous les deux jours et en excès pour maintenir la conductivité dans les pots la plus proche possible de celle de l'eau d'arrosage. Après une période de croissance de trois semaines tous les plants ont été coupés et analysés.

Il ressort de ces essais qu'il se produit une réduction du taux de matière sèche par rapport au témoin dès que la conductivité de l'eau d'arrosage augmente (figure II.B-f10). Pour une même qualité d'eau cette baisse de rendement varie avec les plantes et, réciproquement, une baisse donnée de rendement est obtenue avec des salures qui diffèrent selon les plantes. Par exemple une diminution de rendement de 25 % est observée pour :

- la tomate avec une eau de conductivité 4,5 mmho/cm
- le ray-grass " " " " " 7 "
- le maïs " " " " " 9 "

Pour expliquer la différence de chute de rendement pour une même qualité d'eau nous avons fait l'analyse minérale de tous les échantillons et abouti aux résultats suivants :

Parmi les cations analysés c'est le sodium qui a eu tendance à s'accumuler dans les tissus végétaux dès que la conductivité de l'eau d'arrosage a augmenté (figure II.B-f11). Cette augmentation de la teneur en sodium est variable suivant les plantes et on constate qu'accroissement du taux de sodium et réduction du taux de matière sèche vont de pair.

La teneur en sodium et le rapport "Sodium sur somme des cations" sont plus élevés chez la tomate que chez le ray-grass et le maïs (figure II.B-f11 et 12). Au contraire la teneur en potassium est plus faible chez le ray-grass et le maïs (figure II.B-f13). Il se produit ainsi un antagonisme entre les deux cations et c'est le sodium qui chasse le potassium, puisque les teneurs en calcium et magnésium restent plus ou moins constantes.

Ainsi la baisse de rendement semble être liée à une accumulation du sodium et un appauvrissement en potassium.

(b) Influence du mode d'irrigation

Pour des raisons exposées en I.C.2 ce n'est qu'à titre d'essais exploratoires que nous avons commencé à utiliser l'aspersion avant la cinquième année du projet et en conséquence notre expérience en la matière est encore réduite.

Des plants de maïs, sorgho, bersim, betterave ont été irrigués avec l'eau de la Medjerdah, les uns par aspersion, les autres par ruissellement : la composition minérale des plantes a été différente (tableau II.B-t4).

Tableau II.B-t4 : Comparaison des teneurs en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  pour des cultures irriguées par aspersion et par ruissellement (résultats exprimés en me pour 100 g de matière sèche).

Mode d'irrigation cations cultures	Aspersion				Ruissellement			
	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$
Betterave	60,8	82,3	122,2	19,7	35,2	108,6	104,7	21,3
Bersim	22,5	49,3	78,8	21,7	14,3	62,8	76,5	20,5
Maïs	9,7	56,2	55,2	33,3	2,5	58,7	46,4	28,6
Sorgho	1,4	47,9	33,4	23,6	0,4	63,1	24,7	26,9

Il semble d'après nos essais que l'aspersion déclenche en plus de l'absorption racinaire une absorption foliaire, ce qui provoque une accumulation plus importante de sels dans les tissus. En effet les plants irrigués par aspersion ont des teneurs en sodium et calcium plus élevées que celles des plants irrigués par ruissellement. Cette absorption poussée du sodium aussi bien par les feuilles que par les racines, accompagnée d'une augmentation des teneurs en calcium et d'une diminution du potassium peuvent conduire à une sénescence précoce, un rabougrissement de la plante et par conséquent à une baisse de rendement.

## 2. MESURE DE LA CONSOMMATION D'EAU

Afin de pouvoir préciser la limite des apports au delà desquels le lessivage se produit, il est indispensable de connaître la consommation d'eau (cf. I.B.3).

Ces mesures ont été effectuées en plein champ et sur lysimètre par deux méthodes. Au début nous avons employé la méthode du bilan hydrique, dans laquelle on calcule la consommation par différence entre les quantités d'eau apportées et évacuées. Par la suite afin d'élucider les différences apparues entre les valeurs obtenues en plein champ et celles sur lysimètre nous avons également utilisé la méthode du bilan d'énergie, qui permet de calculer la consommation à partir de la radiation nette et des transferts de chaleur sensible.

### a. METHODE DU BILAN HYDRIQUE

Considérons un volume de sol de profondeur donnée et dont la surface est occupée par une culture.

Pour une période de référence désignons par :

I la quantité d'eau apportée par les irrigations

P la quantité d'eau apportée par les pluies

Dr la quantité d'eau drainée

$\Delta h$  la diminution du stock d'eau dans le volume de sol considéré

La "consommation nette" ou évapotranspiration (ET) est donnée par la formule :

$$ET = I + P - Dr + \Delta h$$

Si l'on ne dispose pas de la possibilité de mesurer Dr, comme c'est le cas pour les terrains à drainage naturel, l'équation peut être alors envisagée sous la forme :

$$ET + Dr = I + P + \Delta h$$

La somme ET + Dr est appelée "consommation brute"

La consommation brute est très voisine de la consommation nette si Dr est négligeable devant ET. C'est le cas, si la période de référence a pour bornes :

- le moment, où la percolation consécutive à un apport d'eau a pratiquement cessé,
- l'apport d'eau suivant.

(1) Terrain à drainage naturel

(a) Ksar Ghériss

Divers exemples de mesures effectuées à Ksar Ghériss permettent d'illustrer le problème de la détermination de la consommation en terrain à drainage naturel. La figure II.B-f14 représente les divers profils hydriques obtenus avant et après une irrigation de 75 mm. Elle met en évidence la rapidité de pénétration de l'eau, l'importance de la profondeur atteinte (plus de 140 cm), le délai d'établissement de l'équilibre (la redistribution se poursuit encore après 48 heures) et la profondeur d'exploitation de l'eau par la culture. La figure II.B-f15 dérive de la précédente, puisqu'elle exprime l'évolution de la quantité d'eau totale du sol sur 140 cm en fonction de la date de prélèvement. Elle illustre la possibilité de calcul de l'évapotranspiration réelle, ainsi que la réduction progressive de la consommation d'eau au fur et à mesure que le sol se dessèche.

Deux exemples concrets retenus parmi les mesures de consommation d'eau peuvent illustrer ces remarques :

- Maïs

La figure II.B-f15 montre l'évolution du stock d'eau ainsi que le rythme des irrigations pendant l'été 1966. Les prélèvements ont été faits 1, 2 et 6 jours après l'irrigation pour T<sub>1</sub> et 1, 2, 6 et 12 jours après l'irrigation pour T<sub>2</sub>. Le tableau II.B-t5 ci-dessous présente la consommation moyenne en mm par jour pour des périodes successives. Ce calcul a été effectué pour des profondeurs de 60 et de 120 cm.

Tableau II.B-t5 : Consommation brute du maïs en mm/j

	T1 (6 jours)		T2 (12 jours)	
	prof. de 60 cm	prof. de 120 cm	prof. de 60 cm	prof. de 120 cm
0-2 jours après irr.	9,2	6,5	17,7	10,8
3-6	5,0	6,6	5,0	6,9
7-12	-	-	2,2	3,3
Moyenne 12/7 - 18/8	6,4	6,6	5,7	5,8

C'est pendant la période des 2 jours suivant l'irrigation que la consommation brute est la plus élevée, ce qui s'explique par le drainage lors de cette période. La percolation est plus forte en T<sub>2</sub> qu'en T<sub>1</sub> à cause des apports plus grands et également plus marquée sur la profondeur de 60 cm que sur celle de 120 cm.

Pour la deuxième période la consommation brute en T<sub>1</sub> est égale à celle en T<sub>2</sub>, mais la valeur calculée sur 120 cm est plus grande que celle calculée sur 60 cm, soit parce que le drainage n'a pas encore tout

à fait cessé à 120 cm de profondeur, soit parce que la plante exploite l'eau au delà d'une profondeur de 60 cm.

Pour la dernière période la consommation en  $T_2$  est faible à cause de l'assèchement du sol.

En supposant le drainage négligeable à partir du troisième jour après l'irrigation, la consommation nette serait de l'ordre de 5 à 6 mm/j jusqu'au septième jour, ensuite fortement réduite jusqu'à 2 à 3 mm/j.

- Luzerne

La figure II.B-fl6 illustre l'évolution du stock d'eau, ainsi que le rythme des irrigations pendant l'été 1968. Les prélèvements ont été effectués avant chaque irrigation jusqu'à 220 cm de profondeur. Toutefois en ce qui concerne  $T_1D_1$  les prélèvements ont été continués après la dernière irrigation du 16 Juillet. Le tableau II.B-t6 donne la consommation brute calculée sur diverses épaisseurs.

Tableau II.B-t6 : Consommation brute de la luzerne en mm/j

Traitement	Période	Epaisseur de sol prise en compte pour le calcul (cm)			
		0-60	0-100	0-160	0-220
$T_1D_1$	4/6 au 23/7	6,8	6,8	6,9	6,9
	23/7 au 7/8	1	2	3,9	5,1
	7/8 au 28/8	0	0	0,2	0,7
$T_2D_1$	4/6 au 23/7	3,4	3,5	3,7	3,9
	23/7 au 15/8	2,6	3,3	3,8	4,1
	15/8 au 28/8	3,3	2,1	1,5	1,0

On constate donc que pour le traitement  $T_1D_1$  au cours de la période du 4 Juin au 23 Juillet la consommation brute calculée sur les 60 cm supérieurs du sol est pratiquement identique à celle obtenue sur 220 cm. Par contre, pendant la période du 23 Juillet au 7 Août (après la dernière irrigation) les valeurs augmentent avec l'épaisseur de sol prise en compte dans le calcul, ce qui peut s'expliquer par l'importance relative croissante des couches profondes dans l'alimentation en eau, car il est raisonnable de considérer le drainage comme négligeable. Lorsque le sol a atteint un stade de fort dessèchement (du 7 au 27 Août) la consommation devient très faible et se localise presque totalement dans les couches très profondes du sol.

Dans le cas du traitement  $T_2D_1$ , les faits observés sont sensiblement différents. Au cours de la première période (4 Juin au 23 Juillet) les couches profondes participent de façon faible, mais non négligeable, à la consommation d'eau. Elles jouent un rôle plus accusé au cours de la seconde période. Par contre, pendant la troisième période (15 au 28 Août) on observe un phénomène inverse : ceci signifie que, pendant cette période, il y a eu recharge du stock d'eau du sol, et que cette recharge a affecté nettement les couches 0-60 et 60-100, et aussi les couches plus profondes.

Ces faits peuvent être confirmés par l'examen du tableau II.B-t7 qui montre pour les trois périodes étudiées les variations journalières du stock d'eau pour des tranches successives de sol.

Tableau II.B-t7 : Variation journalière en mm du stock d'eau par tranche de profondeur

Traitement	Période	Profondeur			
		0-60	60-100	100-160	160-220
$T_1D_1$	4/6 au 23/7	- 0,22	- 0,04	- 0,10	0
	23/7 au 7/8	- 0,93	- 0,80	- 1,80	- 1,13
	7/8 au 28/8	0	- 0,10	- 0,10	- 0,40
$T_2D_1$	4/6 au 23/7	- 0,49	- 0,12	- 0,18	- 0,27
	23/7 au 15/8	- 0,65	- 0,70	- 0,52	- 0,30
	15/8 au 28/8	+ 1,31	+ 1,23	+ 0,62	+ 0,54

En conclusion de ces observations, il est raisonnable d'avancer l'hypothèse, que dans les conditions de Ksar Ghériss et lorsque l'alimentation hydrique est suffisante, la luzerne n'utilise pratiquement que l'eau des 60 cm supérieurs du sol ( $T_1D_1$  1ère période). Si l'alimentation est insuffisante, quoique régulière ( $T_2D_1$ , 1ère et 2ème période) la luzerne exploite une profondeur de sol plus importante, et qui dépasse peut-être 220 cm. Si l'alimentation en eau cesse ( $T_1D_1$ , 2ème et 3ème période), la luzerne épuise d'abord l'eau utilisable des couches supérieures qui ne fournissent alors plus guère que 0,5 mm/j, puis progressivement celle des couches inférieures, et là encore à une profondeur qui peut dépasser 220 cm. Enfin en période de recharge, le calcul des variations du stock effectué sur une épaisseur de sol insuffisante conduit à surestimer très sensiblement la consommation d'eau. Par conséquent, dans toutes les hypothèses autres que celle d'un apport d'eau correspondant presque exactement aux besoins de la culture, il est nécessaire d'étudier les variations du stock d'eau sur une profondeur importante bien que l'alimentation de la luzerne s'effectue préférentiellement dans les 60 cm supérieurs du profil.

En prenant en compte une épaisseur de 220 cm la consommation brute de la luzerne entre deux coupes a été calculée :

Tableau II.B-t8 : Consommation brute de la luzerne en mm/j

	T1			T2		
	Coupe du 25/6	Coupe du 20/7	Moyenne hebdomadaire	Coupe du 25/6	Coupe du 20/7	Moyenne hebdomadaire
1e semaine	3,7	3,4	3,6	1,0	0,0	0,5
2e semaine	8,6	6,0	7,3	6,6	3,9	5,3
3e semaine	8,9	10,3	9,6	5,3	8,0	6,6
Moyenne par coupe	7,1	6,6	6,9	4,3	3,9	4,1

Le tableau II.B-t8 montre que en T1 la consommation brute a été de l'ordre de 7 mm/j augmentant de la première à la dernière semaine. L'apport moyen a été de 6,5 mm/j. En T<sub>2</sub> la consommation a été de 4 mm/j ; l'apport d'eau a correspondu à 3,2 mm/j.

(b) Nakta

- Luzerne

Durant l'été 1968 des prélèvements ont été effectués avant chaque irrigation jusqu'à une profondeur de 220 cm. Le tableau II.B-t9 donne la consommation brute calculée sur des épaisseurs de 100 et 220 cm, ainsi que les apports d'eau exprimés en mm/j.

Tableau II.B-t9 : Consommation brute de la luzerne et apport moyen en mm/j

	T1 - 10 jours période du 7/6 - 19/8			T2 - 15 jours période du 12/6 - 16/8		
	Apport moyen	Consommation		Apport moyen	Consommation	
		100 cm	220 cm		100 cm	220 cm
D <sub>1</sub>	5,3	5,0	4,7	4,5	4,4	4,7
D <sub>2</sub>	7,1	6,9	6,9	5,9	5,2	5,1
D <sub>3</sub>	8,9	7,9	7,4	7,5	7,2	7,3

Le calcul de la consommation brute amène à des résultats presque similaires pour des épaisseurs de 100 et de 220 cm. La consommation brute est sensiblement égale à l'apport, si celui-ci est de l'ordre de 4 à 7 mm/j, elle lui est inférieure s'il atteint 9 mm/j : le stock d'eau ne varie guère dans le premier cas, alors qu'il augmente dans le second.

## (2) Terrain à drainage artificiel

### (a) Plein champ

Pour les mesures en plein champ, il a été prévu à Cherfech une parcelle de 4 ha (Parcelle "Bilan hydrique et Bilan des sels ") dont l'irrigation et le drainage sont autonomes. En outre vu l'équipement de base de la station, des études similaires peuvent être effectuées moyennant certaines restrictions sur les parcelles servant aux essais d'irrigation.

Le calcul de la consommation nette a été conduit en utilisant la formule, qui a été présentée plus haut, à savoir :

$$ET = I + P - Dr + \Delta h$$

Deux remarques sont à faire :

1°) Sur un "cycle hydrique", en désignant ainsi l'ensemble des échanges qui se produisent entre deux dates auxquelles la nappe est arrivée au même niveau par le même "chemin" (par exemple après un apport d'eau substantiel et un ressuyage),  $h$  peut être négligé devant les autres termes et la formule se réduit à :

$$ET = I + P - Dr$$

Cette hypothèse est justifiée : de l'étude des profils sur 1,50 m de profondeur il ressort que, le taux d'humidité après chaque irrigation varie très peu à condition que l'on apporte une dose suffisante permettant un drainage de l'ordre de 10 à 15 % de l'apport. Ceci est illustré par la figure II.B-f17 qui montre l'humidité du sol après une pluie d'hiver et celle 2 jours après une irrigation d'été. Ces courbes sont très comparables, abstraction faite de la couche de surface, qui en été se sèche plus vite.

2°) Il y a lieu dans le cas de la parcelle "Bilan" d'examiner s'il n'existe pas des transits d'eau entre le volume de sol étudié, qui inclue la partie supérieure de la nappe, et l'extérieur ; transits, qui n'avaient pas été pris en compte dans la formule : d'une part un apport des eaux souterraines et d'autre part une évacuation en particulier vers le fossé collecteur en plus de celle passant par les drains.

La situation topographique de Cherfech par rapport au bassin versant, la pluviosité et le coefficient de ruissellement du bassin, ainsi que la présence d'une couche très peu perméable à 3,50 m de profondeur conduisent à admettre qu'un apport provenant des eaux souterraines ne peut être que très réduit.

Compte tenu des conditions locales une évacuation notable ne peut avoir lieu que par le fossé collecteur. Une étude à ce sujet a montré que les quantités transitant hors des drains vers ce fossé correspondent environ à 25 mm par an.

Ainsi l'erreur introduite en négligeant les deux transits est très faible devant la consommation.

Les irrigations en été sont espacées d'une à deux semaines en fonction de la culture et de son stade de développement et provoquent un drainage de 10 à 30 %. Compte tenu de ce régime d'apport la consommation nette calculée ici correspond à la consommation maximale en plein champ telle que définie en I.B.3.

### Cultures d'hiver

Le tableau II.B-t10 montre la consommation des cultures d'hiver en plein champ, déterminée sur la parcelle "Bilan". Il en ressort, que les différences entre les cultures sont faibles et que la consommation moyenne est en mm/j de l'ordre de 2 en Novembre, Décembre et Janvier, de 3 en Février et Mars pour atteindre environ 5 en Avril.

Tableau II.B-t10 : Consommation des cultures d'hiver en plein champ en mm/j - Parcelle Bilan

Culture	Nov.	Déc.	Janvier	Février	Mars	Avril
Vesce-Orge 1964-1965	1,6	1,6	1,6	2,9		
Ray-grass 1966-1967		1,8	1,7	3,0	2,9	
Bersim 1967-1968	2,7	2,0	2,0	2,6	2,6	5,5
Blé 1968-1969		1,8	1,8	2,8	3,8	5,3

### Cultures d'été

La consommation a été d'une part mesurée sur la parcelle "Bilan", d'autre part évaluée sur les parcelles "Essais d'irrigation". Contrairement à ce qui se passe sur la parcelle "Bilan", sur les "Essais d'irrigation" les traitements ne sont pas uniformes et les quantités drainées sont évacuées par les mêmes drains. Nous avons donc estimé les quantités provenant de chaque traitement selon le principe suivant :

soit  $h$  la hauteur drainée pour une irrigation donnée. Cette quantité est la somme de  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3$ , drainages des parcelles traitées par les doses  $D_1$ ,  $D_2$   $D_3$ . Les parcelles ayant la même surface, on a approximativement :

$$h_2 = h_1 + (D_2 - D_1)$$

$$h_3 = h_1 + (D_3 - D_1)$$

$$\text{donc } h = 3 h_1 + (D_2 - D_1) + (D_3 - D_1), \text{ ce qui}$$

permet de calculer  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3$ . Cette méthode peut donner un ordre de grandeur pour la valeur du drainage correspondant à un traitement donné.

En outre, dans le cas des doses  $D_1$  et  $D_2$  des "Essais d'irrigation" la condition d'apporter une dose permettant un drainage de 10 à 15 % pour que  $\Delta h$  soit négligeable, n'est pas satisfaite. Nous avons donc effectué des prélèvements pour déterminer les profils hydriques qui permettent de calculer la contribution du stock d'eau à la consommation. Il en est ressorti, que dans le cas des principaux traitements suivis,  $T_1D_2$  et  $T_2D_2$ , cette contribution a été négligeable sauf lors des périodes de pointe pour les tomates et le sorgho fourrager.

Tableau II.B-t11 : Consommation des cultures d'été en plein champ en mm/j

Culture	Mai		Juin		Juillet		Août		Sept.	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-31	1-15	16-30
Luzerne - Essai D1 - 1966, 67 et 68	4,5	5,5	6	7	7	7	7	7		
Maïs - Bilan 1965 et 1966		2,5	3	5	7	7	7			
Sorgho fourrager 1967 - Bilan			4	4	5,5	7	7	6		
1968 - Essai DF			4	5	7,5	6,5	6	4,5	4,5	
Tomates 1967 - Essai DF	3,5	3,5	4	5,5	5,5	7	6	5,5		
1968 - Bilan	2,5	3,5	4,5	8	9,5	6	6	6,5	6,5	7
1968 - Essai DF	2,5	3	3,5	7,5	7,5	8	6	6		

Le tableau II.B-t11 présente la consommation des cultures d'été. Etant donné, que les périodes, auxquelles se rapportent les mesures, n'ont pas correspondu exactement aux quinzaines indiquées sur le tableau, les chiffres ont été arrondis à 0,5.

La consommation tant pour la luzerne que pour le maïs a évolué sensiblement de la même façon au cours des différentes années, ce sont donc les valeurs moyennes calculées sur deux et trois ans qui sont indiquées.

La figure II.B-f18 montre l'évolution du stock d'eau, ainsi que les rythmes d'irrigations en été 1966 pour le maïs sur l'essai DF<sub>1</sub>.

D'après ces mesures la consommation a été de 7 mm/j environ à partir du 4 Juillet jusqu'au 12 Août, aussi bien pour la période d'irrigation de 10 jours ( $T_1$ ) que pour celle de 15 jours ( $T_2$ ), ce qui correspond à la valeur obtenue sur la parcelle "Bilan". Au cours du mois d'Août, après l'arrêt des irrigations, la consommation diminue jusqu'à 2 mm/j à la fin du mois, c'est-à-dire qu'à la récolte vers la mi-Septembre il existe un déficit d'eau dans le sol de l'ordre de 120 à 150 mm.

Dans le cas de la période longue  $T_2$ , le maïs a exploité davantage la réserve en eau du sol. L'étude de l'enracinement (voir figure II.B-f17) a montré que le maïs irrigué selon  $T_2$  dispose d'un enracinement moins localisé en surface et plus régulièrement réparti en profondeur que celui irrigué selon  $T_1$ .

Pour le sorgho fourragère et les tomates le maximum de la consommation a été plus précoce en 68 qu'en 67. Ceci s'explique par le fait que pendant la première quinzaine de Juillet 1968 par comparaison avec la même période en 1967 non seulement la température a été plus élevée, mais encore les cultures étaient plus développées.

La figure II.B-f20 montre la variation de la consommation pour le sorgho fourragère au cours de l'été 1968 sur l'essai DF<sub>2</sub> : on observe des maxima lors de la dernière semaine avant les coupes. La consommation des tomates semble montrer un maximum lors de la nouaison ; en 1968 un deuxième maximum a été observé en Septembre lors de la deuxième nouaison.

#### (b) Lysimètres

Les lysimètres utilisés sont des bacs ayant une surface de 4 m<sup>2</sup> et une profondeur de 1,25 m ou de 1,75 m. Ils sont remplis d'une couche drainante de sable grossier de 25 cm d'épaisseur, sur laquelle repose le profil du sol de Cherfech.

Les apports sont nettement excédentaires et ont la même fréquence que ceux en plein champ ; une nappe se forme donc et le dispositif d'évacuation d'eau permet d'en fixer la cote maximale. Ainsi ces lysimètres sont utilisés comme évapotranspiromètres. La consommation nette est calculée par différence entre l'apport d'eau et la quantité drainée.

De la comparaison entre la consommation en plein champ et celle en lysimètre il ressort, qu'en hiver les deux valeurs correspondent bien. Il en est de même au début de l'été comme le montre le tableau II.B-t12. En revanche, en plein été, les valeurs des lysimètres dépassent largement celles obtenues en plein champ, atteignant 10 à 15 mm/j.

Tableau II.B-t12 : Comparaison des consommations en plein champ et en lysimètre en mm/j

Culture	Mai		Juin		Juillet		Août		Sept.	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-31	1-15	16-30
Luzerne champ 1966-68 lys.			6 8,5	7 8,5	7 12	7 11	7 11	7 12,5		
Maïs champ 1965-66 lys.		2,5 2,5	3 3,5	5 4,5	7 10	7 10				
Sorgho champ 1967 lys.			4 4	4 4	5,5 7	7 10	7 11	6 11,5		
Tomates champ 1968 lys.		3 3,5	3,5 3,5	7,5 6	7,5 8,5	8 15	6 15,5	6 10,5	6,5 7	7 7

Ce phénomène ne peut être attribué à une remontée capillaire plus élevée à partir de la nappe créant une meilleure alimentation hydrique en lysimètres qu'en plein champ, puisque des bacs avec une nappe à 1,50 m de profondeur ont donné les mêmes résultats que ceux avec une nappe à 1,00 m, tandis qu'en plein champ la nappe se situe en moyenne à 1,30 m de profondeur.

D'après des analyses effectuées sur deux bacs en automne 1967, la densité apparente est plus basse dans les évapotranspiromètres qu'en plein champ, donc la porosité est plus élevée. En outre les relations dF - humidité montrent que la quantité d'eau théoriquement utilisable est plus grande dans les bacs qu'en plein champ. D'après l'étude du système racinaire de la luzerne celui-ci est plus développé sur lysimètre qu'au champ. Il est donc possible que la réserve hydrique plus élevée et l'enracinement plus dense permettent à la plante une plus grande consommation.

Il est aussi possible que la position des évapotranspiromètres soit la cause de ces différences. Au début tous les bacs se trouvaient à la station météorologique en bordure de la station expérimentale. Au printemps 1967 nous avons placé également des bacs à l'intérieur de la station dans l'axe des allées de 2 m de large qui séparent les parcelles. Ces bacs ont donné les mêmes résultats que ceux de la station météorologique. Cependant reste l'hypothèse que la présence de la piste et de la cave de drainage crée des turbulences d'air, augmentant ainsi la vitesse du vent et la consommation sur les évapotranspiromètres.

### (3) Conclusion

Les résultats obtenus dans la mesure de consommation d'eau par la

méthode du bilan hydrique, appellent les remarques suivantes :

- En été et pour les plantes étudiées (maïs, sorgho, tomates, luzerne) les consommations moyennes sur des périodes assez longues (de 2 à 4 mois) ne semblent pas s'éloigner des valeurs de 6 à 7 mm/j, quelles que soient les stations. Les besoins de pointe n'ont pas dépassé 10 mm/j. En une même époque, la consommation d'une même plante (luzerne) n'a pas varié de plus de 1 mm en des points aussi différents que Cherfech, Nakta et Ksar Ghériss.

- Les périodes de pointe de consommation semblent correspondre à des stades végétatifs caractérisés (nouaison des tomates, semaine précédant la coupe de la luzerne ou du sorgho....). Ces périodes n'ont pas persisté longtemps pour les plantes étudiées.

- Le stock initial d'eau du sol n'a joué un rôle de volant que dans des cas particuliers (apports faibles, périodes longues, ou arrêt des irrigations). En d'autres termes, si les apports d'eau réalisés correspondent aux besoins moyens de la plante, les consommations de pointe seront satisfaites grâce à un prélèvement relativement peu important sur la réserve du sol. Par contre, si les apports moyens sont trop faibles, le sol ne joue pas le rôle de volant dans la fourniture de l'eau.

- Alors que, dans les sols à texture lourde, il n'y a pas eu de grosses différences de consommation d'eau entre les traitements  $T_1$  et  $T_2$ , par contre, dans les sols à texture légère, le traitement  $T_2$  a souvent entraîné une réduction sensible du stock, et une diminution de la consommation d'eau provoquant une baisse de rendement de la culture.

- Les consommations de pointe n'ont jamais atteint les valeurs obtenues sur lysimètre.

## b. METHODE DU BILAN D'ENERGIE

### (1) Description

Afin de pouvoir mieux déceler les causes de la différence entre la consommation en lysimètre et celle en plein champ, des mesures par la méthode du bilan d'énergie furent entreprises.

D'après cette méthode la consommation de la plante est calculée en fonction de la radiation nette (RN), de l'énergie nécessaire pour la transpiration (T) et de l'énergie transférée en chaleur sensible (S). En outre la consommation peut être ici calculée par jour, alors que la méthode du bilan hydrique ne donne qu'une valeur moyenne pour une période d'apport.

L'équation de base s'écrit :

$$RN = T + S$$

$$\text{avec } T = \frac{\rho}{P} \left( \frac{e_{\max} - e_a}{R_s + R_a} \right) L$$

$$S = \frac{c_p \rho}{R_a} (\theta_f - \theta_a)$$

- $e_{\max}$  = tension de vapeur saturante à la température de la feuille
- $e_a$  = tension de vapeur effective dans l'air ambiant
- $R_s$  = résistance des stomates
- $R_a$  = résistance laminaire entre la feuille et l'air (ou résistance atmosphérique)
- $c_p$  = chaleur spécifique de l'air sec
- $\rho$  = masse volumique de l'air
- $\theta_f$  = température de la feuille
- $\theta_a$  = température de l'air
- $P$  = pression atmosphérique
- $L$  = chaleur latente de vaporisation

Dans cette formule on peut distinguer les facteurs suivants :

- Le rayonnement net (RN) est le facteur essentiel pour l'évapotranspiration par l'apport d'énergie qu'il implique. Il dépend de la saison et de la latitude de la région, de la nébulosité ainsi que de la couverture végétale.
- Le déficit hygrométrique ( $e_{\max} - e_a$ ) dépend de la température de la surface évaporante ainsi que de la température et de l'humidité relative de l'air. L'augmentation de ce déficit fait croître le gradient de pression entre la surface évaporante et l'atmosphère, donc la possibilité d'une transpiration plus grande.
- La résistance des stomates ( $R_s$ ). Par leur ouverture ou fermeture les stomates contrôlent la sortie de vapeur d'eau de la feuille vers l'atmosphère. La valeur de  $R_s$  dépend principalement de la lumière, ainsi que du bilan d'eau dans la plante elle-même.
- La résistance de la couche laminaire ( $R_a$ ). La couche d'air d'épaisseur très faible en contact avec la surface de la feuille a une turbulence presque nulle. De ce fait le transport de vapeur à travers cette couche est d'autant plus difficile qu'elle est plus épaisse. Le vent en premier lieu, ensuite la géométrie de la feuille déterminent essentiellement sa valeur.
- La différence entre la température de la feuille et celle de l'air ( $\Delta\theta$ ) est de jour généralement positive dans les pays tempérés, mais peut devenir négative dans les régions irriguées sous influence désertique, plus particulièrement en été.

Sous des conditions telles que la valeur de  $(e_{\max} - e_a)$  soit élevée la température de la feuille peut devenir du fait de la forte transpiration plus basse que celle de l'air entraînant ainsi un transfert de chaleur sensible par advection : le terme S devient négatif et l'énergie pour la transpiration (T) plus élevée que la radiation nette (RN).

Afin de calculer la transpiration de la plante les mesures ont donc porté sur :

- 1°) Radiation nette (RN) au cours de la journée et à différentes hauteurs
- 2°) Surface foliaire à différents étages afin d'établir le rapport entre le rayonnement net et l'indice foliaire et de pouvoir calculer la transpiration totale de la plante.
- 3°) Humidité de l'air
- 4°) La résistance des stomates
- 5°) Vitesse du vent à différentes hauteurs, afin d'établir le rapport entre la vitesse du vent et la résistance laminaire ( $r_a$ )
- 6°) Température de la feuille et celle de l'air

## (2) Mesure du rayonnement net

Le rayonnement net (RN) a été mesuré à différentes profondeurs dans les cultures de tomates, de maïs, de sorgho fourrager et de luzerne. La figure II.B-f21 montre le rayonnement net au cours d'une journée sans nuages, mesuré au-dessus du sorgho fourrager et de la luzerne. Le rayonnement net moyen de la journée est égal à  $0,66 \text{ cal cm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ . Il en ressort que l'on peut simplifier les mesures pour de telles journées en mesurant entre 12 et 13 heures et en multipliant cette valeur par  $2/3$  ( $2/3 \times 0,98 = 0,65$ ).

La figure II.B-f22 montre la diminution du rayonnement net en fonction de la profondeur. La réduction suit plus ou moins une loi exponentielle et elle est plus prononcée dans les tomates et le sorgho fourrager que dans le maïs et la luzerne. La quantité d'énergie absorbée est de 80 % pour les tomates et le sorgho fourrager, de 65 % pour la luzerne et de 60 % pour le maïs.

## (3) Mesure de la résistance des stomates

La résistance des stomates a été mesurée par un poromètre, sur les deux faces des feuilles, à différentes profondeurs dans les cultures, toutes les deux heures au cours de la journée. Ces mesures ont été effectuées trois fois par semaine afin d'établir la relation entre la résistance des stomates et le temps écoulé depuis l'irrigation. A titre d'exemple nous présentons les résultats obtenus sur tomates et maïs.

La résistance des stomates n'a pas été mesurée directement. Un poromètre a donné le temps (t) correspondant à l'abaissement de la pression ( $P_i - P_f$ ) dans une coupelle placée sur la feuille. La résistance des stomates est évaluée par la valeur  $R_p$ , qui a la dimension d'un temps (seconde) :

$$R_p = \frac{t}{\ln \frac{P_i}{P_f}}$$

Sur la figure II.B-f23 est représentée la variation journalière de la résistance stomatique des tomates. Cette variation est relativement faible 2 jours après l'irrigation. En revanche le 12 Juillet, 6 jours après l'irrigation, une élévation assez importante de la résistance apparaît. Elle est plus prononcée l'après-midi et sur la face supérieure des feuilles jeunes. Sur feuilles adultes, cependant, la résistance a tendance à rester élevée toute la journée. La figure II.B-f24 montre la relation entre la résistance de la face supérieure et celle de la face inférieure. Bien que la variation soit grande, la résistance de la face supérieure des feuilles jeunes semble être d'environ 10 à 20 % plus élevée, tandis que sur les feuilles adultes aucune différence nette n'a été remarquée.

Le maïs (figure II.B-f25) montre un aspect différent pour ce qui est de la variation journalière. Il y a deux maxima, l'un le matin, l'autre l'après-midi. La résistance des stomates sur la face inférieure est beaucoup plus élevée comme on peut le constater sur la figure II.B-f26.

A partir des valeurs mesurées nous avons calculé une moyenne quotidienne. Sachant que la transpiration est fonction du déficit hygrométrique ( $\Delta e$ ) et de la résistance des stomates et que l'influence de cette résistance à midi, quand  $\Delta e$  est élevé, est plus importante que tôt le matin ou tard l'après-midi, il faut donc adopter pour la résistance une moyenne pondérée :

$$R_p = \frac{\sum (\Delta e \times R_p)}{\sum \Delta e}$$

Sur les figures II.B-f27 et 28 nous avons indiqué la moyenne journalière de la résistance en fonction du nombre de jours après l'irrigation. Les mesures ont été faites au cours de deux cycles d'irrigation et elles correspondent bien entre elles. La résistance stomatique des tomates croît graduellement avec le nombre de jours après l'irrigation, à peu près de la même façon pour les deux types de feuilles et pour les deux faces. En revanche la résistance stomatique du maïs varie fortement sans qu'il y ait une corrélation nette avec le nombre de jours après l'irrigation, mais elle est en corrélation avec le déficit moyen journalier de tension de vapeur (figure II.B-f29). Au fur et à mesure que la température augmente et que l'humidité relative diminue, ce qui fait augmenter le déficit  $\Delta e$ , la résistance des stomates devient plus forte. Les deux maxima de la figure II.B-f25 et la corrélation étroite avec la valeur  $\Delta e$  indiquent, que le maïs exerce par ses stomates une excellente régulation sur la transpiration.

(4) Etude des différences entre les consommations en lysimètre et au champ dans le cas des tomates

Afin d'analyser ces différences, des recherches ont été effectuées en Août 1968 à Cherfech sur une culture de tomates, d'une part en plein champ (essai DF1), d'autre part sur les lysimètres placés à l'intérieur de cet essai.

Résistance des stomates

La figure II.B-f30 montre, que la résistance des stomates augmente à partir du 3e jour après l'irrigation aussi bien en plein champ que sur lysimètre. Cependant cette augmentation est moins rapide sur lysimètre, où la résistance n'atteint à la fin du cycle d'irrigation que 60 à 70 % de celle au champ. La différence de résistance stomatique reflète une meilleure alimentation en eau de la plante sur le lysimètre.

Il a fallu pour les calculs numériques établir la relation entre la résistance indiquée par le poromètre ( $R_p$ ) et la résistance stomatique ( $R_s$ ) à l'aide d'une balance de torsion.

Résistance de la couche laminaire

Les termes de l'équation du bilan d'énergie étant déterminés, la résistance de la couche laminaire ( $R_a$ ) a été calculée à partir de l'équation de base.

La figure II.B-f31 montre d'une part, que la résistance  $R_a$  sur lysimètre est inférieure à celle au champ, d'autre part la réduction de cette résistance sous l'influence du vent.

La résistance laminaire dépend de la vitesse du vent et de la géométrie de la feuille selon la relation :

$$R_a = a \cdot v^{-b}$$

v = vitesse du vent

a = constante, fonction de la géométrie de la feuille

b = constante de l'ordre de 0,8 d'après la littérature

Tableau II.B-t13 : Valeurs des constantes a et b à partir de l'analyse des courbes II.B-f31

	a	b
Lysimètre	0,602	0,86
Champ	0,766	0,86

Si on compare les conditions sur lysimètre et au champ, on constate que dans le premier cas la constante "a" est plus petite (cf. tableau ci-dessus) tandis que la vitesse est plus forte ; ceci explique que la résistance laminaire y soit plus abaissée.

Calcul de la consommation

La transpiration peut être calculée à partir des valeurs RN, t et R<sub>a</sub> :

$$T = RN - \frac{c_p \rho}{R_a} \Delta \theta$$

Dans le tableau II.B-t14 nous avons présenté les données et les résultats du calcul. La température de la feuille a été dans les deux cas plus basse que celle de l'air : S a été partout négatif. Comme sur le lysimètre la différence Δθ a été plus grande et la valeur R<sub>a</sub> plus basse, il en résulte une valeur absolue plus grande pour S : l'advection de chaleur sensible est plus importante sur le lysimètre qu'en plein champ.

Tableau II.B-t14 : Calcul de la transpiration à partir des valeurs Δθ, R<sub>a</sub> et RN pour la période du 26 Août au 4 Septembre 1968

	Δθ °C	R <sub>a</sub> s.cm <sup>-1</sup>	S cal.cm <sup>-2</sup> mn <sup>-1</sup>	RN cal.cm <sup>-2</sup> mn <sup>-1</sup>	T *	
					Cal.cm <sup>-2</sup> mn <sup>-1</sup>	mm.j <sup>-1</sup>
Lysimètre	-2,8	0,184	- 0,263	0,3	0,563	11,1
Champ	-2,1	0,285	- 0,128	0,3	0,428	8,4

\* la valeur T exprimée en cal cm<sup>-2</sup>mn<sup>-1</sup> doit être multipliée par 1,5 (indice foliaire) afin de tenir compte de l'absorption totale de l'énergie par la culture.

La différence entre le lysimètre et le champ est environ 30 %. Cet écart est calculé pour la période allant du 26 Août au 4 Septembre. Or les mesures effectuées par la méthode du bilan hydrique concordent bien si l'on tient compte seulement des moyennes des résultats obtenus fin Août et début Septembre (Tableau II.B-t15).

Tableau II.B-t15 : Comparaison des consommations d'eau en mm/j sur lysimètre et champ obtenues par les deux méthodes bilan hydrique et bilan énergétique

	Bilan hydrique				Bilan d'énergie	
	16-31 Août		1-15 Septembre		26 Août-4 Septembre	
Lysimètre	10	168 %	7,5	118 %	11,1	132 %
Champ	6	100 %	6,5	100 %	8,4	100 %

Il est possible, que dans l'évapotranspiration calculée par la méthode du bilan hydrique, l'effet du sirocco, qui s'est produit dans les premiers jours de Septembre a été compensé par le changement des conditions atmosphériques les jours suivants. En effet durant la période des mesures du 26 Août au 4 Septembre, l'évapotranspiration calculée d'après le bilan d'énergie paraît plus élevée que celle calculée d'après le bilan hydrique, mais la diminution de l'écart entre lysimètre et champ s'amorce déjà.

La transpiration peut être aussi calculée à partir des valeurs  $\Delta e$ ,  $R_s$  et  $R_a$  :

$$T = \frac{\xi \cdot L}{p} \frac{\Delta e}{R_s + R_a}$$

En prenant pour la période du 26 Août au 4 Septembre les moyennes de la température et de l'humidité de l'air, de la température des feuilles et des résistances on peut calculer la transpiration moyenne en mm par jour (tableau II.B-t16).

Tableau II,B-t16 : Calcul de la transpiration à partir des valeurs  $\Delta e$  et  $\sum R(R_s + R_a)$  pour la période du 26 Août au 4 Septembre 1968

	Temp. des feuilles °C	Humidité relative en %	$\Delta e$ mm.Hg	$\sum R$ s. cm <sup>-1</sup>	T	
					cal.cm <sup>-2</sup> mn <sup>-1</sup>	mmj <sup>-1</sup>
Lysimètre	26,3	50	12,67	0,820	0,573	10,6
Champ	27,0	50	13,37	1,127	0,416	8,1

Dans ce cas aussi les mesures montrent que la consommation d'eau sur lysimètre est de 30 % supérieure à celle au champ.

### (5) Conclusion

Dans les régions arides ou semi-arides la température élevée de l'air provoque un déficit hygrométrique très fort et rend possible une évapotranspiration importante, qui a lieu si l'humidité du sol est suffisante et le vent fort, donc si les résistances stomatique et laminaire sont faibles.

En été l'évapotranspiration sur lysimètre est nettement plus élevée qu'au champ. L'analyse des mesures effectuées met en évidence que :

- la résistance stomatique augmente moins sur lysimètre qu'au champ, ce qui reflète une meilleure alimentation en eau à partir du sol, en raison d'une réserve hydrique plus importante et d'un meilleur développement du système racinaire.

- la résistance de la couche laminaire est plus faible sur lysimètre qu'au champ à cause d'une vitesse du vent plus grande par un effet de bordure.

- environ 70 % de la différence entre lysimètre et plein champ s'explique par la différence de résistance stomatique, environ 30 % par celle de résistance de la couche laminaire.

- l'énergie nécessaire pour la transpiration est fournie d'une part par le rayonnement net et d'autre part par la chaleur sensible transmise par advection, aussi bien sur lysimètre qu'au champ, puisque la température de la feuille est plus basse que celle de l'air dans les deux cas. Cependant cette différence de température entre la feuille et l'air est plus grande sur lysimètre à cause de la transpiration plus élevée et amène conjointement avec la diminution de la résistance de la couche laminaire une advection plus importante de chaleur sensible.

### 3. APPORT D'EAU ET PRODUCTION

#### a. GENERALITES

Les essais entrepris ont eu pour buts essentiels :

(1) de dégager les principales caractéristiques phénologiques des cultures étudiées :

- rythme de production
- exigences écologiques :
  - climat
  - sol
- périodes critiques

(2) d'évaluer leur réaction à l'irrigation en faisant varier :

- la qualité de l'eau
- le régime d'irrigation, décomposé en deux facteurs :
  - période
  - dose

Dans une première phase on a cherché à évaluer l'influence de différents régimes maintenus durant la majeure partie du cycle, dans une deuxième les différences n'ont été introduites que lors des périodes critiques.

(3) d'établir un "modèle d'irrigation" en tenant compte notamment de la production par mètre cube d'eau par période végétative. Il est évident que ce "modèle" est à adapter à chaque cas particulier en fonction de l'ensemble des contraintes physiques, économiques et sociales propres aux différents périmètres.

Il n'a pas été possible à ce jour d'étudier la résultante sur la production d'une variation simultanée aussi bien dans l'alimentation hydrique que minérale de la plante. Pour sérier les problèmes dans un premier stade, seule l'influence du régime d'irrigation a été étudiée. Les apports minéraux en éléments fertilisants ont été tels qu'ils ne pouvaient raisonnablement pas limiter la production : les fumures furent les suivantes ( en kg/ha) :

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Fumier en T/ha
Maïs	200	120	150	
Tomates	200 à 230	110 à 120	240	25 à 40
Artichauts	200 à 250	130	200	35 à 50
Sorgho	200 à 300	110	150	

Toutefois, sur sol sableux, l'action d'amendements organiques et phosphatés a été examinée de façon à tenter de remonter le niveau particulièrement bas des rendements.

D'une façon générale, dans ces études la priorité a été donnée aux cultures les plus répandues dans les périmètres irrigués tunisiens.

Dans les tableaux II.B-17 à 24, en annexe sont résumés par culture pour les différents essais, les apports d'eau totaux et journaliers (irrigation et pluie), les productions par hectares et par m<sup>2</sup> d'eau.

## b. ETUDE PAR CULTURE

### Luzerne

#### (1) Phénologie de la plante

Elle est considérée comme l'une des plantes fourragères de base dans les périmètres irrigués tant pour sa plasticité que pour la qualité de son fourrage qui est apprécié aussi bien en sec qu'en vert.

Sa période de production étalée sur plusieurs mois, Mars à Octobre-Novembre, facilite les problèmes d'affouragement du bétail. En Tunisie elle donne suivant les régions et le mode d'exploitation de 6 à 12 coupes par an. Enfin son système racinaire puissant, qui dans certaines terres légères descend jusqu'à 2 m de profondeur lui permet de subsister à de courtes périodes de sécheresse ce qui facilite la conduite des irrigations.

#### (a) Cycle végétatif

La figure II.B-f32 indique le rendement de différentes coupes effectuées en 1968 sur une luzerne de troisième année variété Harry Peruvian à Nakta.

La pointe de production est obtenue au printemps (de Mars à Avril 8 à 10 T par coupe). De Mai à Juillet le rendement baisse légèrement (6 à 7 T par coupe) pour chuter fortement à partir d'Août (3 à 4 T par coupe) et se stabiliser à ce niveau en automne. Les résultats obtenus à Ksar Ghériss et à Cherfech sont comparables.

D'une façon générale la variété sous le climat tunisien n'intervient qu'assez peu sur cette évolution. En effet même avec des luzernes du type Gabès on retrouve la pointe de production au printemps et une baisse de rendement en été.

L'intervalle entre les coupes faites au stade "boutons formés - repousses apparentes" est en pratique de 4 semaines au début du printemps et en été, de 3 semaines en Mai - Juin, de 5 à 6 semaines en automne.

La figure II.B-f33 indique l'évolution de la production de matière verte par mètre cube d'eau à Nakta et à Cherfech. Elle est maximale au printemps et minimale en automne.

Il ressort des chiffres du tableau II.B-t17 en annexe que :

- pour s'implanter la luzerne demande un certain délai, de 3 mois en général mais pouvant aller jusqu'à 4 ou 5 mois si les conditions sont défavorables (forte densité apparente du sol).

- dépasser des apports journaliers moyens de 5 à 6 mm ne semble pas intéressant. Une bonne pratique, lorsque l'hiver n'est pas trop rigoureux et si les risques d'asphyxie sont faibles, consiste à semer la luzerne à l'automne sous couvert d'une céréale (orge par exemple) qui valorisera les irrigations d'hiver. Au printemps la luzerne se sera implantée suffisamment pour produire correctement. Par ce système on a obtenu à Nakta en 1969 des coupes de 10 à 12 T/ha en Avril et de 15 à 16 T/ha en Mai - Juin.

#### (b) Sols

La luzerne une fois implantée semble s'accommoder de sols très différents à condition toutefois qu'ils soient suffisamment profonds et ne présentent pas trop de risques d'asphyxie. Le rendement oscille entre 55 et 70 T/ha pour des apports annuels (irrigation et pluie) variant entre 750 et 1500 mm.

La nature du sol et le climat interviennent sur le devenir de la culture à partir de la troisième année. En effet sur sol lourd un certain nombre de pieds disparaissent sous l'effet conjugué des irrigations et des attaques de parasites. Dans la zone à hiver doux, la luzerne n'a pratiquement pas de repos végétatif ce qui a pour conséquence la disparition de la culture au bout de quelques années (3 à 4) alors que là où le climat est plus continental elle peut subsister de nombreuses années (6 à 9).

Si les conditions de milieu sont normales comme sur l'essai D<sub>1</sub> à Cherfech, en troisième année le rendement est du même ordre que celui obtenu en deuxième année. Il peut toutefois être réduit de moitié en milieu défavorable.

Pour améliorer la production en fin de cycle et limiter le développement des mauvaises herbes en hiver, il peut être intéressant dans la zone à hiver doux de semer dans la luzerne du bersim ou du trèfle de Perse. Il faut toutefois que l'hiver soit suffisamment pluvieux ou encore que la salure de l'eau d'irrigation n'excède pas 2,5 g/l. La production de matière verte au printemps est ainsi améliorée de 15 à 20 T/ha.

### (c) Rythme de production

Dans les tableaux II.B-t25 et 26 en annexe nous avons donné par période de végétation l'apport d'eau total (irrigation et pluie), l'apport journalier correspondant, la production en T/ha et celle obtenue en kg/m<sup>3</sup> d'eau sur les stations de Nakta (1968) et de Cherfech (1967 et 68). Notons toutefois pour la station de Nakta que les parcelles T<sub>1</sub> n'ont pas été irriguées du 10/8 au 20/9 et que, par suite, le fourrage qui a été récolté en Septembre était plus sec qu'en T<sub>2</sub> ce qui explique probablement la baisse de productivité constatée.

En examinant ces tableaux il est possible de tirer certaines conclusions :

- il n'est pas indispensable d'irriguer la luzerne avant fin Février - début Mars. Dans la région continentale sèche (station de Ksar Ghériss) la luzerne n'a pratiquement pas réagi aux irrigations d'hiver, la coupe de Janvier n'a pas dépassé 1 T/ha.
- jusqu'à la mi-Avril la période d'irrigation peut être de 3 semaines. La rentabilité la meilleure est obtenue semble-t-il avec un apport moyen à partir de Mars de 3 à 3,5 mm/j soit un apport total depuis Octobre de 550 - 600 mm. La production attendue de fourrage vert serait de 20 à 25 T/ha.
- de mi-Avril à mi-Juin la luzerne est en pleine végétation. Elle réagit bien aux irrigations. La productivité la meilleure serait obtenue avec des apports d'eau de l'ordre de 5,5 à 6,5 mm/j. L'apport total serait donc de 350 à 400 mm pour une production escomptée de 30 à 35 T/ha. La période d'irrigation pourrait être de 10 à 15 jours.
- durant l'été la production obtenue par mètre cube d'eau diminue fortement. La rentabilité la meilleure serait obtenue avec des apports moyens de l'ordre de 5 à 6 mm/j ce qui représente pour la période considérée un apport total de 550 à 600 mm pour une production de 15 à 20 T/ha.
- durant l'automne la production est très faible. Dans la région Nord il n'y a pas d'intérêt à poursuivre les irrigations au delà de début Septembre compte tenu des risques d'orages et des attaques de parasites. Dans le Sud s'il est nécessaire on peut poursuivre les irrigations jusqu'à fin Octobre. La meilleure rentabilité serait obtenue avec un apport de 4 à 5 mm/j correspondant à un apport total de 150 à 200 mm.

### (2) Réaction à l'irrigation

(a) La qualité de l'eau d'irrigation est assez peu intervenue sur le rendement, lorsque la salure n'excédait pas 4 g/l.

(b) Régime d'irrigation

L'incidence des doses et des fréquences sur les rendements a été examinée dans les essais.

Sur l'essai DF<sub>2</sub> - 1966 à Cherfech la période fut durant l'été  
T<sub>1</sub> = 10 jours et T<sub>2</sub> = 15 jours.

Les fréquences ont marqué alors que les doses n'ont pas marqué. Il faut cependant noter que :

- les coupes se faisaient au même moment pour les deux fréquences. La période courte T<sub>1</sub> a été irriguée en général 2 jours après la coupe contre 6 à 8 jours pour la période longue ce qui a défavorisé les traitements T<sub>2</sub>. Il n'en demeure pas moins qu'en été il serait préférable d'irriguer avec un intervalle de 10 - 12 jours.

- les irrigations d'été correspondaient pour T<sub>1</sub>D<sub>1</sub> à des apports moyens de l'ordre de 6,5 mm par jour et couvraient donc les besoins de la culture.

Sur les stations du Centre (Ksar Ghériss, Nakta), étant donné la faible productivité de la luzerne en fin d'été, l'effet d'une sur-irrigation au printemps (période de pousse intense) suivie d'un arrêt des irrigations en été a été comparé à celui d'un régime normal comprenant des irrigations jusqu'en automne.

Du printemps 1967 à l'automne 1968, les traitements de l'essai DF<sub>1</sub> à Nakta ont reçu les apports suivants en mm (irrigation et pluie) :

T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>
1736	2255	2268	1737	2243	2743

Les rendements de matière verte, en T/ha ont été :

	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	Moyenne
T <sub>1</sub>	94,8	112,2	121,6	109,5
T <sub>2</sub>	89,7	113,1	133,3	112,0
Moyen.	92,3	112,6	127,4	110,7

Les fréquences n'ont pas marqué alors que les doses ont fortement marqué. Les résultats sont identiques pour chacune des deux années étudiées séparément. L'apport moyen a oscillé entre 3 mm par jour pour D<sub>1</sub> et 5 mm par jour pour D<sub>3</sub>.

Or en 1967 les parcelles T<sub>1</sub> n'ont pas été irriguées du 10 Juillet au 7 Septembre et en 1968 du 10 Août au 20 Septembre. L'arrêt des irrigations en été ou tout au moins leur réduction n'influe que très peu sur le rendement de la luzerne du fait de sa faible production durant cette période.

Un essai du même type a été suivi à Ksar Ghériss en 1968. Il a abouti aux mêmes résultats. Comme à Nakta les parcelles T<sub>1</sub> surirriguées au printemps n'ont plus reçu d'eau à partir du 21 Juillet alors que les parcelles T<sub>2</sub> ont été irriguées du 12 Mars au 16 Septembre avec une période de 15 jours.

Les doses ont marqué fortement alors que les fréquences n'ont pas marqué. A la reprise des irrigations en Mars 1969 il n'a pas été possible de distinguer une différence dans le réveil de la végétation.

Il est donc possible même avec des eaux saumâtres de réduire sur luzerne les irrigations d'été et de rendre ainsi l'eau disponible pour d'autres cultures. Les conditions économiques et sociales du périmètre dicteront le choix.

(c) Production

Ci-dessous nous avons résumé les productions obtenues en kg/m<sup>3</sup> d'eau en précisant les apports journaliers :

	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
Production de Matière Verte en kg/m <sup>3</sup>	← 2 →			← 7 →								
				4 à 5				7 à 8	5 à 6		4	
Apport			2 à 3				4 à 7	4 à 6		4 à 5		

Un accroissement de 30 % dans l'apport d'eau augmente le rendement de 15 à 20 %.

(3) Modèle d'irrigation

Sur ces bases il est possible de proposer le schéma d'irrigation suivant en indiquant la production attendue :

	Apport total en mm (irr. et pluie)	Période d'irrigation en j	Production de Matière verte attendue en T/ha
Octobre à mi-Avril	550 à 600	20 j à par- tir de Mars	20 à 25
Mi-Avril à mi-Juin	350 à 400	10 à 15	30 à 35
Mi-Juin à fin Septembre	500 à 600	10 à 15	15 à 20
	<u>1400 à 1600</u>		<u>65 à 80</u>

Dans les régions sèches le modèle peut être légèrement modifié :

	Apport total en mm	Période d'irrigation en j	Production de Matière Verte attendue en T/ha
Mars - Avril	250	20	25
Mai -- Juillet	550	10 à 15	30
Août - Novembre	650 à 800	10 à 15	15 à 20
	<u>1450 à 1600</u>		<u>70 à 75</u>

Toutefois, comme on a pu le voir, des économies d'eau sont possibles sans baisse excessive de rendement.

#### Mode d'irrigation

La luzerne est en général irriguée par planche mais elle tolère l'irrigation par corrugation.

A Ksar Ghériss deux modes d'apport (planche et corrugation) ont été comparés sur une luzerne (variété Provence) de lère année.

La planche est préférable à la corrugation :

Mode d'irrigation	corrugation	planche
Apport total en mm	769	1046
Production de matière verte en T/ha	11,2	21,0
Production de matière verte en kg/m <sup>3</sup> d'eau	1,5	2,0

A Cherfech et à Ksar Ghériss l'irrigation par aspersion a été essayée :

	Apport eau d'irrigation en mm		Production de matière verte en T/ha	
	aspersion	ruissel.	aspersion	ruissel.
Cherfech 18.3-30.8 67	676	884	44,5	50,0
Ksar Ghériss 24.4- 4.7 67	950	1200	18	16,9
13.3-28.5 68	440	460	19,5	22,5

La luzerne semble s'accommoder de ce procédé même avec des eaux relativement chargées et des arrosages pratiqués quels que soient le vent et la température.

### SORGHO FOURRAGER

#### (1) Phénologie de la plante

##### (a) Cycle végétatif

Plante à croissance estivale, dont le zéro de végétation se situe aux alentours de 19°. Le sorgho fourrager ne doit pas être semé trop précocement étant donné sa sensibilité aux parasites durant les périodes froides. En fait la période de semis la plus favorable sous les conditions tunisiennes se situe de fin Avril à fin Mai. Pour des semis de Juillet la production est réduite ; en outre à partir de fin Septembre les températures sont trop basses et les jours trop courts pour lui permettre de se développer.

##### (b) Sols

Le sorgho plus encore que le maïs a un cycle végétatif court. En effet il faut compter de 6 à 8 semaines entre le semis et la première coupe, par la suite un délai de 4 semaines suffit entre chaque coupe. Il ne peut végéter correctement que sur des sols riches et bien préparés. C'est ainsi que pour des apports d'eau pratiquement identiques à Cherfech et à Messaoudia en 3 coupes les résultats furent les suivants :

	Cherfech			Messaoudia		
3 premières coupes Matière Verte en T/ha	74,0	82,0	79,0	50,3	56,7	56,2
apport, en mm	684	890	1097	612	786	960
mais surtout la 4ème coupe a été beaucoup plus faible à Messaoudia						
4ème coupe Matière Verte en T/ha	14,3	17,2	15,2	3,6	3,5	3,4
apport, en mm	141	186	231	142	181	236

A Ksar Ghériss où les sols sont sableux il est très difficile d'obtenir une deuxième coupe. La productivité de l'eau est de l'ordre de 30 % de celle obtenue à Nakta où les sols sont sablo-argileux.

L'apport de matière organique décomposée permet de remonter les rendements. L'amélioration serait de l'ordre de 80 à 100 %. Mais même dans ce cas la production sur sol sableux reste faible. Sur de tels sols l'apport de fortes fumures minérales se révèle sans grand effet.

Le sorgho semble très fortement affecté par la mauvaise répartition de la matière organique. Les faibles rendements obtenus en 1967 à Cherfech, l'action dépressive constatée à Ksar Ghériss sur les essais dfc et DFC en 1966 et sur l'essai "matière organique" (apport de paille) sont dûs respectivement à l'enfouissement d'un engrais vert et à celui d'une paille. Bien que des apports d'azote suffisants aient été faits (130 kg N/ha), le démarrage de la culture a été languissant et à Cherfech une coupe a été perdue. En effet la 1ère coupe n'a été faite que 62 jours après le semis contre 50 en temps normal.

En sol battant la levée peut être gênée surtout si elle se produit en période de vent. Les jeunes plants pris dans la croûte ne se développent plus et risquent de disparaître. L'aspersion qui permet de légers apports, suffisants pour ramollir cette croûte, se révèle un moyen pratique pour favoriser la levée.

### (c) Rythme de production

Dans la figure II.B-f34, sont présentés la production des coupes de sorgho et la production par mètre cube d'eau à Nakta et à Cherfech en 1968.

Les tableaux II.B-t27 et 28 en annexe résument les conditions d'irrigation en 1968 d'une part à Nakta (sol sablo-argileux, salure de l'eau 3,9 g/l) d'autre part à Cherfech (sol argilo-limoneux, salure de l'eau 2,5 g/l).

(2) Réaction à l'irrigation

(a) Qualité de l'eau

Le sorgho semble être moyennement résistant à la qualité de l'eau d'irrigation.

La baisse de production ainsi que celle de la productivité de l'eau seraient de l'ordre de 40 % lorsque la salure de l'eau passe de 0,2 à 3,5 g/l.

(b) Régime d'irrigation

Action des doses

Le sorgho, plante estivale, réagit favorablement à des apports moyens pouvant atteindre 8 à 10 mm/j. La productivité du mètre cube d'eau décroît mais la production augmente en général, sauf sur terres légères par suite probablement d'une capacité insuffisante du sol pour l'eau.

Action des fréquences

L'action des fréquences est assez nuancée. La meilleure production est obtenue à Cherfech avec la fréquence élevée, sur sol plus léger la fréquence agit moins. On peut penser que cette action de la fréquence en sol lourd est due pour une part à ce que le système racinaire doit y être plus superficiel qu'en sol plus léger, pour une autre part à l'action des fentes de retrait. En sol lourd une période courte de 10 à 12 jours, a un effet favorable sur le rendement ; au fur et à mesure que le sol s'allège la période a une action moins marquée et elle peut être portée sans inconvénient à 15 jours.

(c) Production

Ci-dessous nous avons présenté, pour un semis de mi-Mai, la meilleure production au mètre cube d'eau apporté ainsi que l'apport journalier correspondant :

	Cherfech		Nakta	
	apport en mm/j	production en kg/m <sup>3</sup>	apport en mm/j	production en kg/m <sup>3</sup>
1ère coupe	6 à 7,5	7	4 à 4,5	8
2ème coupe	6	15	5 à 7	10
3ème coupe	6	10	6	7
4ème coupe	3,5	10	4	3,5

(3) Modèle d'irrigation

On pourrait donc proposer le modèle d'irrigation suivant :

	Nombre de jours	Apport total en mm	Production en T/ha	
			terre riche	moins riche
15/5 au 7/7	53	230 à 300	20 à 25	15 à 20
7/7 au 7/8	31	200 à 220	30	20 à 25
7/8 au 7/9	31	200	20	13
7/9 au 25/10	48	200	16 à 20	7
		<u>850 à 900</u>	<u>90</u>	<u>60</u>

Mode d'irrigation

Le sorgho doit être irrigué par planches. L'essai billons - planches en 1967 à Ksar Ghériss le montre clairement.

L'aspersion, à condition de l'utiliser de nuit à partir du 15 Juin, est possible même avec des eaux saumâtres (2,5 à 4 g/l). Il y a cependant une légère perte de rendement. L'aspersion serait utile surtout pour obtenir des germinations correctes dans les terres battantes et asphyxiantes.

MAIS

(1) Phénologie de la plante

(a) Cycle végétatif

La culture a un cycle végétatif relativement court qui même pour les maïs tardifs n'excède pas 150 jours dans les conditions tunisiennes.

Il est possible de distinguer quatre phases principales dans son développement :

- la phase 1 va du semis au début de la montaison. Elle correspond à la levée et à l'implantation de la culture. Elle s'étend pour les semis de fin Avril - début Mai sur 5 semaines.
- la phase 2 correspond à la montaison. En fin de phase la pousse du maïs devient très importante. C'est durant cette période de 5 semaines que la plante colonise le terrain.
- la phase 3 d'une durée de 3 à 4 semaines environ voit la plante devenir adulte c'est-à-dire fleurir et féconder.
- la phase 4 correspond à la maturation des grains, elle s'étale sur 1 mois.

Pour un maïs semé au début de Mai la phase 1 s'étend jusqu'en Juin, la phase 2 va de début Juin à début Juillet, la phase 3 se termine en fin Juillet, la phase 4 s'étale sur Août.

### Importance de la phase 1

Bien que le maïs soit peu sensible à la salure au moment de la germination le retard dû à l'emploi d'eaux saumâtres s'accroît sous l'effet d'une mauvaise structure du sol. La plante une fois germée peut rencontrer des difficultés à la levée du fait de la formation d'une croûte à la surface du sol ou de la présence de mottes. Elle risque de pourrir en terre. Il en résulte une levée et un développement hétérogènes qui compromettent le rendement. Les racines réagissent fortement à une mauvaise préparation des sols (épaississement et même disparition des racines). C'est ce qui expliquerait la faiblesse des rendements constatés à Ksar Ghériss en 1966, à Messaoudia en 1967 et à Nakta en 1968.

Un binage léger peut dans certains cas faciliter la levée.

### (b) Sols

Etant donné la rapidité de son développement le maïs est assez exigeant sur la qualité des sols. En terre pauvre, comme c'est le cas de Ksar Ghériss, le niveau des rendements est relativement faible en dépit de fumures minérales élevées. Sur cette station par exemple les productions sont inférieures de plus de 30 % par rapport à celles obtenues avec une eau de même qualité à Cherfech où le sol est argilo-limoneux. Le pourcentage grains/épis y est aussi plus faible (60 % contre 70 %).

Les apports moyens journaliers en période de pointe (phase 3) et les productions en kg/m<sup>3</sup> d'eau qui y correspondent sont les suivants :

#### a) Sol lourd - Salure de l'eau : 2 à 2,5 g/l (Cherfech - Messaoudia)

apport moyen en période de pointe, en mm/j	5	7	8	9
production, en kg d'épis/m <sup>3</sup> d'eau	2,1	1,8	1,6	1,4

Lorsque le départ de végétation est médiocre le rendement baisse de 25 à 30 %.

#### b) Sol sablo-argileux - Salure de l'eau 4 g/l (Nakta)

apport moyen en période de pointe, en mm/j	4	5,5	7
production, en kg d'épis/m <sup>3</sup> d'eau	1,9	1,4	1,2

Les rendements sur ces sols sont légèrement plus faibles que ceux obtenus avec des eaux de qualité similaire sur sols sourds.

#### c) Sol sableux - Salure de l'eau 4 g/l (Ksar Ghériss)

Le rendement est plus bas de l'ordre de 30 % par rapport au cas précédent.

(2) Réaction à l'irrigation

(a) Qualité de l'eau d'irrigation

Le maïs semble être moyennement résistant à la salure de l'eau d'irrigation. De l'essai "Qualité d'eau" à Cherfech, il ressort une perte dans le rendement de 40 à 50 % lorsque la salure de l'eau monte de 0,2 à 3,5 g/l.

(b) Régime d'irrigation

Saison

Même avec les variétés tardives les irrigations ne sont pratiquées que pendant 90 à 95 jours. En tout état de cause, comme nous avons pu le constater sur nos essais (DF Cherfech - Ksar Ghériss) il ne paraît pas intéressant de poursuivre les irrigations une fois passée la fécondation (stade barbes noires apparaissant une semaine après la fécondation) sur un sol ayant une bonne capacité de rétention.

Apport total

Un apport total supérieur à 450 - 500 mm n'a pratiquement pas d'action sur le rendement à condition toutefois que le démarrage de la culture ait été correct.

Fréquence

Lorsque le maïs pousse normalement les fréquences marquent relativement très peu.

Au contraire, lorsque le départ de la végétation est mauvais, le rythme des irrigations agit fortement sur la culture. En effet, si la culture s'est mal développée en début de cycle, son système racinaire est réduit ; il ne peut exploiter complètement le sol et ne récupère qu'une partie des irrigations. La plante sera alors sensible à un allongement de la période.

Sur une plante normale en phase 3, la période peut être de 10 à 15 jours. Les irrigations gagnent à être resserrées en période de vent chaud et sec (sirocco).

Le système racinaire s'adapte bien aux fréquences : avec la fréquence rapide où les doses unitaires épanchées à chaque irrigation sont faibles, il est plus superficiel qu'avec la fréquence lente où les doses unitaires sont plus importantes (figure II.B-f19).

En 1968 à Messaoudia (essai DL) les phases 1 et 2 se sont déroulées sur un sol maintenu très humide par des orages fréquents tombés après des irrigations. Le maïs a abordé la phase 3 avec un système racinaire très superficiel. Il a souffert sur les traitements sous-irrigués et a végété correctement sur les traitements surirrigués.

Apport en période de pointe

Sur un maïs normalement développé un apport en période de pointe (phase 3) dépassant 5 à 5,5 mm par jour ne paraît pas très intéressant. En conséquence, il était opportun de rechercher si un apport supplémentaire fourni au cours d'une des trois premières phases du cycle végétatif était valorisé.

Dans l'essai D<sub>II</sub> - 1968 à Cherfech un apport supplémentaire de 80 mm a été fait au cours de chacune des phases 1, 2 ou 3. Nous avons donc quatre traitements qui ont reçu en mm/j :

	Phase I 21.4-29.5	Phase II 29.5-24.6	Phase III 24.6-13.7	Rt en qx épis/ha	Apport total en mm
D <sub>1</sub>	4,1	4,1	5,0	98,4	457
D <sub>2</sub>	6,2	4,1	5,0	103,3	537
D <sub>3</sub>	4,6	5,2	6,2	111,0	537
D <sub>4</sub>	4,1	4,1	8,0	113,0	537

Il n'y a pas eu de différence significative entre les traitements.

(c) Production

Ci-dessous nous avons résumé pour un maïs semé fin Avril - début Mai et poussant normalement, les productions en kg d'épis/m<sup>3</sup> d'eau en fonction des apports totaux fournis à la culture :

- Sol lourd - Salure de l'eau 2 g à 2,5 g/l (Cherfech - Messaoudia)

apport total en mm	450	500	600	700	800	1000
production en kg d'épis/m <sup>3</sup> d'eau	2,2	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1

- Sol sablo-argileux - Salure de l'eau 4 g/l (Nakta)

Les productions sont réduites de 20 à 30 % par rapport aux précédentes.

(3) Modèle d'irrigation

Etant donné les brusques variations que l'on peut constater dans le développement du maïs, les apports doivent légèrement précéder la demande pour que la plante n'ait pas à souffrir d'une sous-alimentation hydrique. Lorsque le sol est capable de bien tamponner la demande en eau, il y a intérêt à reconstituer au cours de la phase 1 et d'une partie de la phase 2 les réserves en eau du sol de manière à écrêter les pointes d'apport. Sur ces bases on peut dresser le modèle d'irrigation pour un semis de fin Avril - Mai :

	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
Apport	130 à	100 à	150 à	70 à	450
en mm	160	140	150	0	450

Lorsque le développement de la culture laisse à désirer ou en période de sirocco, il y a intérêt à resserrer les irrigations et à augmenter l'apport d'eau.

#### Mode d'irrigation

Le maïs peut être irrigué aussi bien par planche que par billon. Toutefois si le sol est très fortement battant le billon est à préférer pour obtenir une levée correcte. Sur ces terres l'emploi de l'aspersion en début de culture peut être intéressant. En effet, il est possible par ce procédé d'épandre de faibles doses (30 à 40 mm) qui n'entraînent pas l'apparition de la battance ce qui permet d'obtenir de très bonnes levées.

Ci-dessous nous avons indiqué les résultats de l'essai billons calants à Ksar Ghériss. De l'étude statistique il ne ressort pas de différence :

	Billons	Planches
Apport total en mm	486	610
Rendement en qx d'épis/ha	38,4	44,0
Production en kg d'épis/m <sup>3</sup> d'eau	0,8	0,7

Le maïs tolère d'être irrigué par aspersion même avec des eaux chargées : à Cherfech 2,5 g/l et à Ksar Ghériss 4 g/l. Dans les deux cas les cultures ont évolué normalement à condition d'être irriguées de nuit à partir de Juin. Toutefois il est à noter que le rendement a été plus faible à Cherfech sur ces parcelles que sur celles irriguées par ruissellement.

#### TOMATES D'ETE

Pour assurer l'équilibre financier des périmètres irrigués, il est nécessaire compte tenu des lourdes charges d'amortissement qu'ils ont à supporter d'y pratiquer des cultures riches. Elles permettent en outre de valoriser le fumier produit par le bétail et sont consommatives de main d'oeuvre.

Dans cette catégorie de spéculations la tomate d'été est l'une des plus intéressantes.

#### (1) Phénologie de la plante

(a) Cycle végétatif

Sa période de végétation s'étend d'Avril à Octobre, Novembre dans nos conditions de climat. Bien que la production débute vers la mi-Juillet la pleine récolte se situe en Août, en particulier avec la variété Roma. Une seconde période de floraison a lieu en fin Août avec production en automne (Octobre) si la culture a été préservée contre les parasites.

On peut distinguer 3 phases principales au cours de la végétation:

- la Phase 1 va de la reprise à la nouaison des premières floraisons. Elle correspond en principe à la floraison et s'étale sur dix semaines environ.
- la Phase 2 correspond au grossissement des fruits et dure 5 à 6 semaines.
- la Phase 3 d'une durée de six semaines en général coïncide avec la maturation et la récolte.

(b) Sols

La tomate d'été végète bien même sur des sols assez lourds. Toutefois en début de culture elle redoute l'asphyxie même de courte durée. Les sols légers peuvent être utilisés à condition que leur fertilité soit suffisante faute de quoi la production baisse fortement.

(2) Réaction à l'irrigation(a) Qualité de l'eau

Sous les conditions climatiques de la Tunisie la tomate en été se révèle sensible à la qualité de l'eau d'irrigation. En effet en utilisant des eaux chargées en sel, on entraîne l'apparition de la pourriture pistillaire ce qui a pour effet de réduire le tonnage de fruits "marchands".

Les productions obtenues avec des eaux de salures différentes furent les suivantes :

Année	Productions en T/ha pour deux salures		Perte de production en %	Date d'achèvement de récolte
	0,2 g/l	3,4 g/l		
1967	44,4	13,1	70	15.9
1968	36,3	17,8	51	5.9
	68,0	34,5	49	23.10

Le pourcentage de déchets dûs à la pourriture pistillaire baisse avec la température, comme le montrent les résultats suivants (déchets en %) :

Période	Salure g/l	0,2	1,1	2,5	3,4
	24.7.68 - 5.9.68		8,0	8,8	18,7
5.9.68 - 23.10.68		1,8	2,0	1,4	3,1

A Ksar Ghériss avec des eaux de 4 g/l il n'a pratiquement pas été constaté de pourriture pistillaire sur des tomates d'arrière saison.

(b) Régime d'irrigation

Fréquence

La tomate, étant riche en eau, est sensible aux surcharges climatiques. Pour prévenir l'effet d'un sirocco la fréquence des irrigations doit être élevée. Dans ces essais les périodes d'irrigation en saison de pointe étaient de 7 jours et de 10-11 jours. L'influence de la fréquence sur le rendement a été en général assez faible sauf en période de vent chaud (1968).

Il est préférable compte tenu de ce risque de ne pas espacer les irrigations de plus de 7 j en période chaude.

Dose

Pour des apports moyens compris entre 6 et 10 mm/j il ne semble pas y avoir "d'effet dose".

Apport en période de pointe

Dans l'essai "D<sub>II</sub>" à Cherfech un apport d'eau supplémentaire de 120 mm a été effectué au cours de chacune des 3 phases :

	Apport moyen en mm/j			Apport total en mm	Production en %
	Phase 1 22.4 - 4.7	Phase 2 4.7 - 7.8	Phase 3 7.8 - 30.9		
D <sub>1</sub>	4,0	6,2	4,0	721	100 = 28 T/ha
D <sub>2</sub>	5,6	6,2	4,0	841	150
D <sub>3</sub>	4,4	8,8	4,0	841	145
D <sub>4</sub>	4,0	7,5	5,5	841	103

Un apport d'eau supplémentaire à la récolte ne semble pas avoir d'effet sur le rendement. Il est préférable de l'effectuer au cours de la phase 2 ou à la rigueur en début de phase 3.

(c) Production

Le cas de la culture non palissée a été seul retenu.

Production d'été

Ci-dessous sont indiquées les productions obtenues par mètre cube en fonction des apports moyens en mm/j :

Production d'été

apport en mm/j	6	8	10
production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	5 à 5,5	4 à 4,5	3 à 3,5

Production d'été et d'automne

apport en mm/j	5,5	7,5	9
production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	5,5 à 6	4,5 à 5	3,5 à 4

La production par mètre cube d'eau obtenue en automne serait au moins aussi bonne que celle d'été. Sur sol favorable (sol se ressuyant bien) et lorsque les orages ne sont pas trop à craindre, il y a intérêt à poursuivre la culture jusqu'à son terme à condition que les plantes ne soient pas trop épuisées.

(3) Modèle d'irrigation

Nos essais se poursuivant nous ne donnerons pas de modèle d'irrigation. Toutefois, on peut retenir en première approximation dans les conditions de Tunis les chiffres de :

750 à 800 mm pour une production d'été de l'ordre de 40 T/ha  
1000 à 1100 mm " " " " et d'automne de 60 T/ha.

Mode d'irrigation

La tomate est en général irriguée par billons. Sur sol filtrant elle tolère toutefois la planche, mais alors le pourcentage de déchets est augmenté surtout en culture non palissée.

L'irrigation par aspersion avec des eaux chargées semble possible, à condition de n'irriguer que de nuit. Toutefois, la plante semble

végéter moins bien qu'en ruissellement, la nouaison est moins bonne, la pourriture pistillaire plus importante.

## RAY-GRASS

### (1) Phénologie de la plante

Fourrage d'hiver, le ray-grass présente des avantages qui en font un complément harmonieux du bersim.

- Son système racinaire très développé en surface le fait classer parmi les cultures pionnières et amélioratrices de la structure.
- Il peut donner plusieurs coupes pendant son cycle végétatif.
- Il supporte bien la dent des bêtes et résiste dans une certaine mesure au piétinement.
- Il se fane aisément.
- Il serait plus résistant au froid que le bersim.

### (a) Cycle végétatif

Sous le climat tunisien, le ray-grass est à considérer comme une plante d'hiver et de printemps. Avec un semis d'Octobre et des irrigations de complément, la première coupe est obtenue en fin Janvier, début Février, la seconde en début Mars, la troisième en Avril, la quatrième en Mai.

En principe, il est préférable de couper dès que la plante est mûre. Cependant il est possible de cumuler les deux premières coupes. Le rendement global est alors légèrement diminué (25 % environ). Au contraire, à partir de Mars, les coupes ne peuvent être retardées sans danger, car la plante risque de monter à graine et de mal repartir. Il est possible dans les conditions de la Tunisie de pratiquer deux coupes de printemps. A partir de Mai le ray-grass repart mal, il est en général attaqué par la rouille, la végétation devient languissante quels que soient les apports d'azote.

### (b) Sols et climat

Le ray-grass poussant relativement vite, demande des terres suffisamment riches. C'est ce qui explique les différences de productions par m<sup>2</sup> d'eau constatées entre Cherfech (sol lourd) et Ksar Ghériss (sol sableux) en dépit de fumures minérales importantes.

(N. 100 à 200 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 à 140 kg/ha, K<sub>2</sub>O 100 kg/ha)

Ces différences ne sont pas imputables à la salure de l'eau d'irrigation, le ray-grass étant bien résistant à la salure (figure II.B-f4).

Station	Date de semis	Rendement en T/ha	Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	Apport total en mm	Hauteur de précipitation en mm
Cherfech DF <sub>1</sub> 1965-66	23.10.65	39,0	5,1	759	306
Ksar Ghériss dfc 1965-66	31.10.65	7,4	1,0	729	46

### Pluviosité

La plante semble présenter des exigences nettes quant à l'humidité de l'air. Si l'humidité relative est trop basse, la pousse est réduite malgré le recours à l'irrigation. Une certaine humidité atmosphérique semble indispensable. C'est ainsi qu'à Ksar Ghériss le démarrage ne se produit qu'après une chute de pluie et une période de brouillards (Printemps 1966 et 1968). De ce fait, sa culture n'est pas à conseiller au-dessous d'une certaine pluviosité d'hiver qui peut être chiffrée à 200 mm.

### Fumure organique

Le ray-grass ne semble pas, surtout en sol sableux, valoriser correctement des apports de matière organique. Son cycle végétatif relativement long, la puissance de son système racinaire, lui permettent d'exploiter correctement le terrain à condition toutefois de garantir une alimentation azotée suffisante par l'emploi d'engrais minéraux.

### (c) Rythme de production

Sur la figure II.B-f35, nous avons représenté la production des coupes de ray-grass et la production par mètre cube d'eau sur l'essai lessivage 1967-68 à Cherfech. Le rendement de la coupe de Février est assez faible (7 T/ha) alors que pour les différentes coupes de printemps les productions se maintiennent à un niveau supérieur (12 à 15 T/ha par mois). Le rendement du printemps semble conditionné par la température de Mars.

Il semble possible d'améliorer la production en pâturant, toutefois le sol doit être bien drainé. Dans de bonnes conditions de sol l'intervalle entre les passages serait de trois semaines.

### (2) Réaction à l'irrigation

#### (a) Qualité de l'eau

Sous une hauteur de précipitation hivernale de 300 mm, le ray-grass n'a été que peu affecté par la salure de l'eau (3 g/l).

(b) Régime d'irrigation

Fréquences

En zone suffisamment pluvieuse et sur sol favorable les fréquences marquent peu en hiver. Elles marquent davantage par printemps sec (Mars - Avril - Mai). Il faut assurer une pousse soutenue et éviter l'asphyxie que risquent d'entraîner des apports d'eau massifs. En hiver les interventions sont complémentaires de la pluie, au printemps une période de 15 jours est préférable à des périodes longues (1 mois).

A Ksar Ghériss, en sol filtrant la fréquence agit plus nettement ; la période de 15 jours est recommandée.

Doses

La dose n'intervient pratiquement pas pour des apports moyens compris entre 3,5 et 4,5 mm/j.

Il ne semble pas prudent de dépasser le chiffre de 4,5 mm/j, car un orage peut survenir juste après une irrigation et déterminer l'apparition de phénomènes d'asphyxie.

(c) Production

La production la plus intéressante semble obtenue avec des apports moyens de l'ordre de 2,5 à 3 mm/j. Le mètre cube d'eau reçue produirait de l'ordre de 12 kg de matière verte (figure II.B-f35).

Toutefois pour des apports supérieurs à 4 mm/j la production est fonction des phénomènes d'asphyxie qui peuvent se produire en cours de végétation sous l'action combinée des irrigations et des pluies.

(3) Modèle d'irrigation

De l'analyse des essais entrepris, ressort le modèle d'irrigation suivant :

	Octobre à Février	à Mars	à Mai	Total
Apport moyen en mm/j	2,5	3	4	3
Apport total en mm	200	100	250 à 300	550 à 600
Production attendue	7 à 10	15 à 25	25 à 30	45 à 50

## Mode d'irrigation

Le mode d'irrigation normal est la planche, toutefois compte tenu de la sensibilité de la plante à l'asphyxie la corrugation qui permet un ressuyage plus rapide de la surface, peut être intéressante en zone inondable ou se ressuyant mal. L'aspersion même avec des eaux salées à 4 g/l peut être employée ; elle n'entraîne pas de baisse de rendement sensible.

## BERSIM

### (1) Phénologie de la plante

Cette légumineuse fourragère permet durant la période hivernale une alimentation en vert du bétail. Son système racinaire pivotant s'apparente à celui de la luzerne. Comme cette dernière elle redoute l'asphyxie, surtout en début de végétation et se plaît dans les terres profondes, riches et bien drainées.

#### (a) Cycle végétatif

La première coupe débute à la fin Novembre pour un semis de fin Septembre, mais elle est reportée à la mi-Janvier pour un semis de mi-Octobre et à début Février pour un semis de fin Octobre.

La production d'hiver et surtout celle de Mars (40 %) est directement influencée en outre, par les conditions climatiques de l'hiver. C'est ainsi que la production de 1967-68 a été fortement influencée par les chutes de grésil survenues en Janvier. La production de printemps (60 %) est la plus importante dans le cas d'une culture normale. Les coupes se succèdent à partir de Mars à raison de une par mois, elles sont en pratique d'égale production.

A partir de mi-Mai la production décroît (la plante est attaquée par l'oidium), elle est tellement réduite à partir de fin Juin qu'il n'est plus intéressant d'irriguer.

#### (b) Rythme de production

Le tableau II.B-t29 en annexe donne par période de végétation l'apport d'eau total (irrigation et pluie), l'apport journalier correspondant, la production en T/ha et celle obtenue en kg/m<sup>3</sup> d'eau.

La figure II.B-f36 présente l'évolution de la production du bersim au cours de la campagne 1968-69.

(2) Réaction à l'irrigation

(a) Qualité de l'eau

Le bersim est assez sensible à la qualité de l'eau d'irrigation. Sous le climat de Tunis la baisse de rendement devient sensible lorsque la salure de l'eau dépasse 3 g/l. Sous des pluviosités de 250 à 300 mm elle ne doit pas dépasser 2,5 g/l surtout s'il est nécessaire d'irriguer au semis.

(b) Régime d'irrigation

Jusqu'en Mars les fréquences marquent peu. A partir de cette date où la végétation est intense les irrigations qui seront complémentaires de la pluie pourront être appliquées toutes les 2-3 semaines suivant les conditions climatiques. Les apports massifs sont à éviter surtout en terre battante étant donnée la sensibilité du bersim à l'asphyxie qui de ce fait devient alors la proie des parasites.

Les doses marquent peu pour des apports moyens compris entre 3 et 4,5 mm par jour jusqu'en Mars et 4 à 7 mm par jour d'Avril à Juin.

(c) Production

Ci-dessous sont indiquées les productions moyennes de matière verte en kg/m<sup>3</sup> d'eau en fonction des apports journaliers :

	Octobre à Mars	à Mai	à fin Juin
apport moyen en mm/j	3 à 4	4 à 5	4 à 5
production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	6 à 10	10 à 12	5 à 6

(3) Modèle d'irrigation

Sur ces bases il est possible de proposer le modèle d'irrigation suivant valable pour un semis d'Octobre :

Période	Durée en jours	Apport en mm	Production attendue en T/ha avec une eau titrant 2 g/l
Octobre à Mars	150	300 à 400	20 à 40
Mars à Mai	90	400 à 450	40
Juin	40	150 à 200	5 à 10
		<u>850 à 1150</u>	<u>65 à 90</u>

### Mode d'irrigation

En irrigation de surface le bersim est cultivé par planches. Il est possible d'utiliser l'aspersion avec une salure de 2 g/l au prix d'une très légère baisse de rendement à partir de Mai.

	Aspersion	Ruisselle- ment
apport du 1.4 au 22.5 en mm	176	353
apport moyen en mm/j	4,3	8,6
production de matière verte en T/ha	16,6	33,5
production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	9,4	9,4

### ORGE EN VERT

#### (1) Phénologie de la plante

La résistance de l'orge à la salure, sa plasticité aussi bien vis à vis des sols que du climat devraient en faire une culture fourragère de choix pour les périmètres irrigués de Tunisie ; signalons toutefois qu'elle ne peut être consommée qu'en vert ou ensilée. Fanée elle est peu appréciée par le bétail.

#### (a) Cycle végétatif

Elle peut être semée depuis fin Septembre jusqu'en Janvier. Cette souplesse la fait apprécier pour pallier une période de sécheresse en hiver ou au printemps. Il est ainsi possible de pratiquer, en fonction des conditions climatiques de l'automne ou de l'hiver, des semis échelonnés de façon à atténuer les effets d'une sécheresse momentanée.

Les semis précoces d'Octobre permettent d'effectuer plusieurs coupes (2 ou 3). Lorsque la plante est pâturée sur pied les passages du bétail peuvent se succéder à la cadence de un par mois à partir de fin Novembre.

Les semis plus tardifs ne permettent qu'une seule coupe au printemps.

A condition de faucher avant le 15 Décembre il est possible de laisser monter à graines une culture d'orge en vert. Le rendement est légèrement diminué par rapport à celui obtenu avec un semis normal mais reste encore intéressant. Ainsi donc si une période de pluie succède à une

sécheresse et que la demande de fourrage diminue le capital engagé pour la culture peut encore être rentabilisé.

(b) Sols

La plante serait relativement plus plastique que la plupart des cultures quant à ses exigences vis à vis du sol. Elle végète d'une façon presque identique sur une gamme de sols allant de l'argile au sable limoneux. Sur sol sableux le rendement baisse légèrement, de l'ordre de 20 %, par rapport à celui obtenu sur sol plus lourd. Toutefois son développement est gêné et la culture ne démarre qu'au printemps, si la densité apparente du sol est trop forte.

(c) Rythme de production

Dans la figure II.B-f37 nous avons représenté l'évolution de la production à Nakta en 1968 sur l'essai D<sub>I</sub> et à Ksar Ghériss en 1967 et 1968 sur l'essai "fumure organique". Comme on peut le voir la production d'hiver est importante :

	Semis	le coupe			2e coupe			Production totale de M.V. en T/ha	Apport total en mm
		Date	Production de M.V. en T/ha	Apport mm	Date	Production de M.V. en T/ha	Apport mm		
Nakta-1968	10.10	6.1	21,9	391	3.3	14,3	207	36,2	598
K.G. -1967	20.10	29.1	14,5	370	26.3	26,6	224	41,1	594
1968	22.10	8.1	12,3	287	11.3	29,2	182	41,5	469

En zone continentale la production de printemps serait légèrement plus forte que celle d'hiver. Il n'en demeure pas moins qu'il est possible de récolter 90 jours après le semis.

(2) Réaction à l'irrigation

(a) Qualité de l'eau

La qualité de l'eau d'irrigation ne semble pas avoir une influence très marquée sur le rendement à condition toutefois que la salure de l'eau ne dépasse pas 4 g/l.

(b) Régime d'irrigation

Fréquence

Etant donné le climat de la Tunisie les irrigations en hiver sont

complémentaires de la pluie. Le but recherché étant d'assurer une pousse aussi rapide que possible et d'atténuer les effets nocifs des vents d'hiver il est préférable, si le besoin s'en fait sentir, d'irriguer avec une période de 3 à 4 semaines en hiver, 2 à 3 au printemps.

Doses

Une variation des apports moyens entre 2,5 et 5 mm/j marque assez peu à condition toutefois que la culture se soit implantée correctement.

(c) Production

La figure II.B-f37 présente également la production par mètre cube d'eau en fonction des apports, obtenue sur sol convenable pour un semis d'Octobre et un cycle végétatif de 150 j environ.

La plante, comme on l'a déjà vu, est relativement sensible à l'asphyxie et au compactage des terres qui peuvent provoquer une baisse de rendement par rapport à la normale de 30 à 40 %.

Ci-après sont indiquées les productions par saison en précisant les apports moyens :

	Automne hiver	Printemps
apport en mm/j	3,5 à 4,5	3,5 à 4
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	6 à 4	10 à 7

(3) Modèle d'irrigation

Sur ces bases il est possible de proposer un modèle d'irrigation

Période	Apport en mm	Production attendue en T/ha
Octobre à Janvier	200 à 300	15 à 20
Janvier à Mars	250 à 350	25
	<hr/> 450 à 600	<hr/> 40 à 45

Mode d'irrigation

L'orge en vert s'irrigue normalement par planche. Toutefois en sol battant ou asphyxiant elle peut être irriguée par corrugation.

Elle compense par un meilleur tallage l'espace perdu par les sillons.

L'aspersion est possible avec des eaux dont la salure atteint 4 g/l ainsi qu'il a pu être constaté à Ksar Ghériss.

Essai 1968-69	aspersion	ruissellement
Apport en mm	579	574
Production en T/ha	26,7	21,6

## FÈVE

### (1) Phénologie de la plante

#### (a) Cycle végétatif

Récoltée en vert la fève est une spéculation d'hiver à revenu intéressant. Toutefois sa production dépend des conditions climatiques de l'hiver et en particulier de la période allant de fin Décembre à Février. En effet des gelées peuvent anéantir les deuxième et troisième floraisons qui sont les plus rémunératrices. Cette spéculation est surtout localisée le long de la zone côtière.

#### (b) Sols

La fève doit être considérée comme une culture maraîchère. Elle ne pousse et produit correctement que si le sol est suffisamment riche. Elle craint les terres asphyxiantes. Avec des salures d'eau dépassant 3,5 g/l il est préférable de lui réserver les terres sableuses à condition toutefois qu'elles soient d'une richesse suffisante sinon la plante ne produit pas.

A Nakta (salure 4,5 g/l) la fève a été cultivée sur trois séries de parcelles sablo-limoneuses avec un pourcentage de sable grossier allant en augmentant des parcelles 1 aux parcelles 3 .

Parcelle	1	2	3
Nature de l'essai	DL	DF <sub>4</sub>	hors essais
Production de fève verte en kg/m <sup>3</sup> d'eau	0,5	1,7	2,6

### (2) Réaction à l'irrigation

(a) Qualité de l'eau

La fève semble être moyennement résistante. La perte de production est de 30 à 40 % lorsque la salure de l'eau passe de 0,2 à 3,2 g/l.

(b) régime d'irrigation

Fréquence

La culture se pratiquant en hiver les irrigations sont complémentaires des précipitations. Etant donné la valeur du produit il y a intérêt à intervenir dès que la plante manifeste un besoin en eau. L'apport par intervention sera réduit du fait qu'en général la plante est cultivée en billons. En principe à partir de Janvier les périodes sont de 15 jours à 3 semaines en fonction des pluies.

Doses

Pour des apports moyens variant entre 2,5 et 5,5 mm/j la dose ne marque pratiquement pas si ce n'est en fin de culture (fin Mars-Avril par printemps sec).

(c) Production

La production comme nous l'avons dit est essentiellement fonction des conditions climatiques de l'hiver et de la date de la récolte. En effet considérée comme une culture de primeur cette spéculation est très fortement soumise à l'évolution du marché.

Des essais il ressort que : pour un hiver tunisien moyen, un semis d'Octobre et une récolte effectuée début Avril la production de gousse verte par mètre cube d'eau reçue passe de 2,3 à 1,6 kg lorsque l'apport moyen passe de 2,5 à 5,5 mm/j :

apport en mm/j	2,5	3,0	3,5	5,5
production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	2,3	2,0	1,8	1,6

Lorsque le semis est décalé jusqu'en fin Octobre - début Novembre, la plante peut échapper aux gelées d'hiver. La récolte est alors plus tardive. Le produit brut risque d'être plus faible si les cours baissent. Toutefois la production par mètre cube est améliorée :

apport en mm/j	3,0	3,5	4,0
production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	4,5	4,3	4,1

(3) Modèle d'irrigation

Sur ces bases il est possible de proposer le modèle d'irrigation suivant pour des semis d'Octobre et de Novembre :

Période	Apport en mm	Production attendue en T/ha avec une eau titrant 2 g/l
Octobre à début Avril	400 à 500	8 à 12
Novembre à fin Avril	500 à 600	20 à 25

Mode d'irrigation

La fève s'irrigue généralement au billon surtout en terre battante et dans les zones ventilées. Toutefois elle tolère la planche.

ASPERGE DE PRIMEUR

Légume tige l'asperge de primeur est une culture à produit brut élevé.

(1) Phénologie de la plante

Sa grande résistance au sel et sa précocité surtout le long de la côte Sud en font une culture de choix pour les périmètres irrigués de cette zone. Une aspergeraie bien conduite dure de 10 à 12 ans ; les trois premières années sont sans production.

(a) Cycle végétatif

En Tunisie l'asperge entre en repos de végétation en fin d'automne et repart au printemps. Etant donné les conditions de marché, la cueillette se fait en général de Février à Mai. On constate une reprise de la végétation à l'automne. Cette caractéristique pourrait être exploitée pour satisfaire une demande limitée mais intéressante. Il ne semble pas rentable de faire partir la culture trop tôt car le repos de végétation risque d'être insuffisant ce qui nuit à la qualité de la récolte (Turions, grèles).

(b) Sols et climat

L'asperge pousse sur une gamme de sols assez étendue allant du limon au sable. Toutefois une production de "qualité" ne s'obtient que sur terre légère.

En effet, si le sol est lourd les turions sont déformés et le pourcentage de déchets augmente.

Les terrains asphyxiants ou mal drainés sont à proscrire. L'épaisseur de sol sain doit dans tous les cas dépasser 1,20 m. La présence d'une croûte même disloquée ou d'un encroûtement compromet la réussite de la culture. Dans le même ordre d'idées, il est préférable d'éliminer les sols qui présentent dans leur profil un horizon difficilement pénétrable pour les racines ou dont la perméabilité plus faible risque de ralentir la percolation des eaux.

La fumure tant organique que minérale marque sur la production. Toutefois, il faut compter sur un temps de latence d'une année :

Année	Fumier	Récolte de turions en T/ha	
		culture normale	culture forcée
1968	Dose faible	4,6	7,1
	" forte	5,3	7,2
1969	" faible	4,7	7,2
	" forte	5,4	8,2

Dose faible : fumier 10-15 T/ha, 133 kg N, 119 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,  
147 kg K<sub>2</sub>O

Dose forte : fumier 20-30 T/ha, 266 kg N, 201 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,  
200 kg K<sub>2</sub>O

Bien que le climat de la côte Sud soit réputé clément en hiver l'asperge dans cette zone réagit bien au forçage sous tunnel de polyéthylène. Non seulement la cueillette est avancée de plus d'un mois, mais la production augmente de 50 à 100 %. Toutefois il n'y a pas lieu de démarrer le forçage trop tôt (Décembre) car d'une part les vents violents qui soufflent à cette époque peuvent en réduire l'effet, d'autre part les premières récoltes risquent d'être de qualité médiocre.

### (c) Rythme de production

La cueillette débute en Mars mais sous plastique elle peut être avancée jusqu'en Février. A partir de Mai les cours à l'exportation s'effondrent et il n'est plus intéressant de cueillir sauf pour satisfaire les besoins locaux. Une fois la commercialisation du produit organisée, il sera sans aucun doute intéressant de poursuivre l'exploitation jusqu'à la mi-Mai qui coïncide avec la pointe de production. Cependant pour ne pas épuiser les plants et surtout ceux destinés au forçage, il sera prudent d'arrêter la cueillette au cours de la seconde quinzaine de Mai.

Une seconde récolte pourrait se faire en automne à condition de faire reposer l'asperge en été, mais outre que cette pratique est d'une mise au point difficile, le débouché est assez limité.

Dans la figure II.B-f38 et le tableau II.B-t30, nous donnons l'évolution de la production au cours des années 1968 et 1969 sur la parcelle de Zarzis (Sanghou). En 1968 l'hiver a été clément et bien que les irrigations n'aient commencé qu'en Février, la production de ce mois a été notable en culture forcée. En 1969 l'hiver a été particulièrement venteux, la production n'a vraiment débuté qu'en Mars.

Tableau II.B-t29 : Evolution de la production de l'asperge de primeur

Récolte de turions en T/ha	Février		Mars		Avril		Total	
	1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969
Culture normale	0,2	0,01	2,1	1	2,6	4	4,9	5
Culture forcée	1,2	0,2	3,2	2,5	2,8	5	7,2	7,7

(2) Réaction à l'irrigation

(a) Qualité de l'eau

L'asperge résiste bien au sel. Les productions obtenues à Zarzis où la salure de l'eau est de 6,5 g/l sont du même ordre que celles des périmètres irrigués à l'eau douce (4 à 8 T/ha).

(b) Régime d'irrigation

Fréquence

Etant donné la faible capacité de rétention du sable pour l'eau et la puissance du système racinaire, la période est de l'ordre de une semaine durant toute la saison d'irrigation. En effet, en hiver, il faut que le billon soit maintenu humide pour éviter une déformation des turions. En été, période où la pousse est moins intense, la plante peut, grâce au développement de son système racinaire aller chercher l'eau jusqu'à une certaine profondeur.

Doses

L'asperge ne semble pas réagir à des apports moyens supérieurs à 3,5 mm/j au cours du cycle (220 à 240 jours). En période de cueillette l'apport moyen est de l'ordre de 2,5 à 3 mm/j.

(c) Production

Ci-dessous sont indiqués les apports d'eau effectués au cours de

la cueillette et durant le cycle complet ainsi que les rendements correspondants au cours des années 1968 et 1969 :

Année	Régime	Apport total en mm	Apport moyen pendant la cueillette en mm/j	Récolte de turions en T/ha	
				culture normale	culture forcée
1968	D <sub>1</sub>	788	2,3 Février-Avril	4,9	7,2
	D <sub>2</sub>	1183	3,5	4,9	7,2
1969	D <sub>1</sub>	907	3,3 Janvier-Avril	5,0	7,7
	D <sub>2</sub>	1342	4,9	5,0	7,7

### (3) Modèle d'irrigation

Etant donné la salure des eaux utilisées (6,5 g/l), l'expérience est encore trop récente pour qu'il soit possible de proposer valablement un modèle d'irrigation. Toutefois on peut retenir en première approximation les chiffres suivants :

Apport total en mm	Apport moyen en période de cueillette en mm/j	Production attendue en T/ha	
		culture normale	culture forcée
800 à 1000	2,5 à 3	4 à 5	7 à 8

### PALMIER DEGLAT ENNOUR

#### (1) Phénologie de la plante

Bien que peu rustique cette variété est préférée en Tunisie pour la qualité de ses fruits.

En effet, elle est beaucoup plus exigeante que les autres variétés de palmiers tant en ce qui concerne la culture que le climat et le sol.

Ses besoins en eau sont plus élevés que ceux des autres variétés. La production est très sensible à la régularité des apports, alors que les variétés dites communes sont beaucoup plus plastiques.

Son besoin en température la fait cantonner essentiellement dans la zone du Djerid.

### Sols

Le sol ne doit pas présenter d'obstacles à la pénétration des racines, la présence de croûte dure ou d'horizons compacts est à éviter. Dans de telles situations un défoncement avec décroûtement conditionne la réussite de la plantation. Le gypse, s'il n'est pas aggloméré ne semble pas présenter d'inconvénient.

Le palmier redoute l'eau stagnante, les poches d'eau sont à éliminer soigneusement par drainage. Il semble que le Deglat exige le maintien du plan d'eau à une profondeur minimale, variable selon la qualité d'eau. En Tunisie, on estime qu'il doit disposer d'une épaisseur de sol sain au moins égale à 1,20 m.

## (2) Réaction à l'irrigation

### (a) Qualité de l'eau

Le palmier résiste à la salure de l'eau d'irrigation. Toutefois il n'est pas exclu que la qualité des fruits et la production n'y soient pas légèrement sensibles.

### (b) Régime d'irrigation

Le besoin brut du palmier Deglat est, en général, estimé à 6-8 mm/j en été. Il ne semble pas y avoir d'effet marqué lorsque l'apport moyen en période de pointe passe de 7 à 10 mm/j. Un apport de l'ordre de 5 mm/j en période de pointe entraînerait une baisse non seulement de la production mais aussi de la qualité des fruits. La période d'irrigation en été ne devrait pas dépasser 10 jours. La qualité des fruits serait meilleure avec une période plus courte (5 à 6 j). L'arrêt des irrigations en Décembre et Janvier, ne semble pas avoir d'effet fâcheux (hiver 1965-1966). Toutefois lorsque les eaux sont salées il est plus prudent de maintenir une période d'irrigation de 3 semaines en hiver.

Ci-dessous sont indiquées les productions de dattes obtenues au cours des 3 années d'essais en précisant les apports moyens journaliers en période de pointe :

Traitement	Production de dattes en T/ha				Apport moyen de pointe en mm/j
	1966	1967	1968	Moyenne	
D <sub>1</sub>	8,77	3,09	10,47	7,44	6,75
D <sub>2</sub>	9,55	3,17	10,79	7,84	10,0

(c) Amélioration due à un meilleur régime hydrique

Il était évident que le palmier dattier réagissait favorablement à l'irrigation. Toutefois la question se posait de savoir s'il était possible d'augmenter la production de palmiers adultes précédemment sous-irrigués et mal drainés en améliorant leur alimentation hydrique et le drainage. Après 5 années d'essais il est possible de conclure d'une façon favorable sur la remise en état de palmiers plantés à une densité correcte (100 plants/ha) mais jusqu'alors sous-irrigués et mal drainés.

En 1964 le débit fictif continu en pointe était de 0,4 - 0,5 l/s/ha équivalent à un apport moyen de 3,5 à 4 mm/j.

En 1965 il a été de 0,75 l/s/ha équivalent à un apport moyen de 6,35 mm/j.

De 1966 à 1968 il a été de 0,8 l/s/ha pour D<sub>1</sub> et 1,2 l/s/ha pour D<sub>2</sub> équivalent à un apport moyen de 6,75 mm et 10 mm/j.

La figure II.B-f39 et le tableau II.B-t31 montrent l'évolution de la production de 1964 à 1968. S<sub>0</sub> et S<sub>1</sub> représentent l'absence ou la présence de sous-culture.

Tableau II.B-t31 : Production de dattes en T/ha

Année	SoD <sub>1</sub>	SoD <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
1964	3,47	3,17	2,2	2,93
1965	4,2	3,41	3,83	4,0
1966	8,77	9,55	7,77	7,95
1967	3,09	3,17	2,2	2,97
1968	10,47	10,79	7,54	8,55
Moyenne 1965-68	6,62	6,73	5,34	5,87

La production a pratiquement doublé depuis 1964, considérée dans la région comme une bonne année. La faible récolte de 1967 est la

conséquence des pluies tombées en automne (100 mm). La récolte potentielle était de l'ordre de 6 à 7 T/ha (800 régimes).

La qualité des dattes s'est améliorée puisque le pourcentage de dattes marchandes est passé de 46 % à 50-55 %. La teneur en sucre a augmenté également, elle est passée de 75 % à 85 %.

(d) Production

La production est fortement influencée par les conditions climatiques de l'année. Des vents violents peuvent compromettre la fécondation ou des pluies anéantir la récolte (1967). De plus la plante saisonne et une année de forte production est en général suivie par une année médiocre.

Dans le but d'améliorer l'utilisation de l'énergie solaire et d'augmenter la valorisation du mètre cube d'eau, il peut paraître tentant de pratiquer des cultures sous-jacentes au palmier. A partir de 1966, pour étudier l'intérêt de cette pratique, l'essai "dose sous-culture" a été mis en place.

La sous-culture retenue a été la luzerne. Les récoltes de dattes ont été données dans le tableau II.B-t31 ci-dessus. La perte de production a été la suivante :

	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
apport moyen en pointe en mm/j	6,75	10,0
perte cumulée de 1966 à 1968 en T/ha	4,77	4,01

La luzerne semée au printemps 1966 a produit en moyenne 57 T de Matière Verte/ha :

	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
apport moyen en pointe en mm/j	6,75	10,0
production de Matière Verte en T/ha		
1966/67	8,0	8,0
1967/68	27,4	34,5 *
1968	18,2	18,2
	<u>53,6</u>	<u>60,7</u>

\* différence significative

Il n'a pas été possible de conserver la luzerne plus longtemps étant donné l'envahissement des parcelles par le chiendent qui a fortement réduit la production de troisième année.

Pour compenser la perte due à la présence de la luzerne il faudrait que sa production soit valorisée entre 4 et 6 D la tonne de matière verte ce qui dans les conditions du Djérid paraît difficile.

La culture de légumes d'été à produit brut élevé semble difficile à préconiser étant donné le coût de la matière organique et les attaques de parasites que favorise le micro-climat des oasis.

A partir de 1968, nous avons mis en place une sous-culture d'hiver (orge). Il semble en se basant sur la sortie des régimes de 1969 que l'effet dépressif soit très atténué.

### c. OBSERVATIONS

De ces essais, donc dans des conditions précédemment définies, les enseignements suivants peuvent être tirés :

- L'emploi d'eaux salées se révèle donc possible pour une gamme assez étendue de plantes. Il a pour conséquence une influence défavorable sur le rendement, variable avec les cultures, qui a pu être évaluée dans les conditions de la Basse Vallée de la Medjerdah. Toutefois ce n'est qu'après une étude minutieuse des conditions techniques, économiques et sociales de la zone à irriguer que l'utilisation de telles eaux pourra être planifiée.

- Lorsque la plante végète normalement le régime d'irrigation agit relativement peu :

- . L'action des fréquences est assez faible sous réserve que les périodes choisies n'amènent pas à maintenir la culture dans des conditions trop dures.
- . Les doses marquent davantage. Toutefois pour des apports moyens supérieurs à un seuil, variable suivant les saisons et les cultures, (2 à 3 mm/j en automne - hiver, 5 - 6 mm/j en été pour la plupart des cultures méditerranéennes) leur effet s'estompe.
- . Le lessivage permanent ne semble pas améliorer beaucoup les rendements dans nos conditions.
- . D'autres considérations interviennent, qui limitent le choix des fréquences : la plupart des cultures se révèle être sensible à l'asphyxie même de courte durée, ce qui amène à pratiquer des irrigations légères. En effet un apport léger s'infiltré facilement même dans un sol déjà humide, comme cela peut arriver en hiver ; les périodes relativement courtes sont pour cette raison à préférer. En été, de brusques surcharges climatiques peuvent survenir et, la période courte, qui diminue le délai d'intervention, réduit les risques.

En pratique la période pourra être de l'ordre de 2 à 3 semaines en hiver si des irrigations sont nécessaires et de 7 à 10 jours en été.

- Au contraire lorsque la plante souffre et donc végète mal, le régime d'irrigation intervient fortement ; l'action de la fréquence prime semble-t-il celui de la dose à condition que celle-ci couvre au moins 70 % des besoins en eau de la culture.

- Des périodes de vie intense se sont nettement manifestées durant lesquelles les cultures réagissent favorablement à une suralimentation hydrique ; elles ont coïncidé pour la luzerne avec le printemps et pour le sorgho fourrager avec l'été.

Le fumier a agi surtout en période chaude alors que la paille doit être apportée à l'automne pour ne pas avoir d'effet dépressif. Le grignon d'olives épuisé semble être une source de matière organique intéressante.

#### d. CONCLUSIONS

Le problème commun à tous les périmètres irrigués, à savoir le choix de l'intensité du régime hydrique au vu de la réponse des cultures n'est pas le seul à considérer ici puisque l'évolution de la salinité du sol est une donnée majeure.

L'expérience acquise permet, en considérant principalement le végétal, de proposer pour les fourrages d'hiver étudiés un schéma de gestion. Le tableau suivant, base de raisonnement, résume les productions obtenues avec les apports d'eau correspondants pour trois périodes d'octobre à mai.

		Octobre à Février	à Mars	à Mai
Ray-grass	apport moyen en mm/j	2,5	3	4
	production en kg de M.V/m <sup>3</sup>	3,5 à 5	5 à 8	8 à 10
Bersim	apport moyen en mm/j	3 à 4	4 à 5	4 à 5
	production en kg de M.V/m <sup>3</sup>	6 à 10	6 à 10	10 à 12
Orge en vert	apport moyen en mm/j	3,5 à 4,5	3,5 à 4,5	-
	production en kg de M.V/m <sup>3</sup>	4 à 6	7 à 10	-
Luzerne	apport moyen en mm/j	-	3 à 5	4 à 7
	production en kg de M.V/m <sup>3</sup>	-	7 à 10	7 à 10

Il en ressort que là, où sa culture est possible, le bersim sera irrigué en priorité par rapport aux autres fourrages durant l'hiver et le début du printemps.

Lorsque les conditions climatiques sont moins bonnes (froid) et que l'asphyxie peut se manifester, le ray-grass est à préférer.

A partir de Mars au contraire la luzerne est à favoriser aux dépens des autres cultures.

L'orge en vert doit être considérée comme une culture dérobée destinée à pallier un déficit d'alimentation ou lorsque les conditions de milieu (climat, salure, asphyxie) sont défavorables.

Le tableau ci-dessous expose des résultats relatifs à la luzerne et au sorgho fourrager :

Période	Production en UF/m <sup>3</sup>		Apport moyen en mm/j	
	Luzerne	Sorgho fourrager	Luzerne	Sorgho fourrager
Mai à Juin	0,9	0,7	3 à 7	4 à 7
Juillet	0,8	0,9	4 à 7	5 à 7
Août	0,35	0,35	3 à 7	5,5 à 10
Septembre - mi - Octobre	0,3	0,3	3 à 7	4 à 7

On voit qu'en Mai-Juin il est préférable de favoriser, s'il y a lieu, la luzerne alors que la situation s'inverse en Août. Au contraire en Juillet et Septembre les productions des deux cultures s'équivalent.

Des "modèles d'irrigation" ont été proposés pour diverses cultures ; ils tendent à obtenir pour chacune des périodes étudiées la meilleure valorisation de l'eau. Encore faut-il pouvoir les appliquer.

En effet sur un périmètre irrigué, à un moment déterminé, coexistent différentes cultures, qui toutes ont des besoins en eau élevés, c'est-à-dire auxquelles il est indispensable dans les conditions Tunisiennes d'apporter un appoint d'eau d'irrigation. En d'autres termes l'irrigant devra déterminer suivant les époques les besoins de ses cultures et essayer de les satisfaire.

Lorsque l'eau est non seulement abondante mais encore bon marché, il satisfera les besoins maxima sans trop se soucier de la productivité de l'eau : la production globale primera.

Malheureusement ce cas ne se rencontre que très rarement. L'agriculteur doit donc faire un choix parmi ses cultures et favoriser les unes aux dépens des autres. Or pour faire ce choix en toute connaissance de cause un certain nombre de données lui sont nécessaires. Certaines sont d'ordre économique : prix de revient des cultures, frais fixes, produit brut des récoltes ; d'autres d'ordre agronomique : production obtenue par culture et par période, incidence sur le rendement d'une variation dans le régime hydrique ; d'autres enfin d'ordre social : main d'oeuvre disponible, besoins à satisfaire....

La caractéristique des périmètres irrigués est donc cette concurrence entre les cultures en vue de satisfaire leurs besoins en eau.

D'une façon plus générale si l'objectif est à la fois l'obtention de récoltes satisfaisantes et la conservation du capital "sol", les positions suivantes peuvent être adoptées selon le risque toléré et les propres contraintes :

- La première est celle de la garantie maximum : elle correspond à la "surirrigation". Les cultures sont arrosées non seulement suivant leurs besoins mais reçoivent en outre un apport d'eau supplémentaire destiné à lessiver en permanence le sol. Dans ces conditions le sol, s'il est suffisamment drainant, ne courra aucun danger. La culture toutefois peut souffrir d'asphyxie à certaines périodes et son rendement s'en ressentir.

- La deuxième admet une certaine remontée de la salure, combattue en pratiquant des lessivages saisonniers. Les apports d'eau en période de pointe ne sont destinés qu'aux cultures, le sol sera lessivé durant la saison de moindre demande. Durant la pointe les besoins des cultures sont satisfaits en tenant compte de leur rentabilité.

- La troisième est la plus hasardeuse : elle admet une remontée de la salure en relation avec l'assolement utilisé. Le lessivage devient cyclique, il peut être différé durant quelques années. La rentabilisation de l'eau dans ce cas est optimale. Toutefois cette pratique implique une connaissance exacte de l'évolution de la salure.



II. LES RECHERCHES ET LEURS RESULTATS

C. AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DU TERRAIN



### C. AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DU TERRAIN

La technologie de l'apport et de l'élimination des eaux et par voie de conséquence l'aménagement des terrains irrigués ne faisaient pas partie intégrante des objectifs immédiats du projet.

Ce sujet a dû cependant être abordé pour mettre au point l'équipement des stations puis il est devenu un des thèmes notables du programme vu que la maîtrise de la salinité et la maîtrise de l'humidité des sols sont inséparables.

En outre il était recommandé que les études du CRUESI ne restent point académiques ; il fallait amorcer la mise en pratique des principes dont la validité était démontré par les travaux de recherche.

C'est dans cet esprit que l'examen de l'aménagement hydraulique des parcelles a été envisagé.

#### 1. IRRIGATION

La maîtrise de l'eau implique :

- l'apport de quantités d'eau déterminées variables suivant le régime d'irrigation, la plante et le sol.
- l'obtention d'une répartition homogène le long de l'élément d'irrigation de façon à ce que en tout point la culture dispose de la même quantité d'eau et que le lessivage s'il doit se produire soit identique.
- l'absence d'asphyxie et partant l'évacuation aussi rapide que possible de tout excès d'eau tant en surface qu'en profondeur.

Un bon nivellement est la condition préalable à toute irrigation.

En irrigation de surface les deux premières conditions peuvent être satisfaites en faisant varier suivant la nature des sols :

- la pente de l'élément d'irrigation
- sa longueur
- le débit d'amenée en tête de l'élément

Pour mieux satisfaire à la seconde condition tout en respectant la première nous nous sommes intéressés à l'aspersion. Sans pour autant entreprendre des essais statistiques on a voulu examiner les contraintes de ce procédé.

a. IRRIGATION DE SURFACE

Les essais visaient à examiner l'influence de la pente, de la longueur de l'élément d'irrigation et du débit sur la dose et sa répartition aussi bien dans le sens transversal que dans le sens longitudinal sur des sols de nature différente.

La répartition de l'eau a été étudiée par la méthode des profils hydriques établis avant et après irrigation.

Les prélèvements ont été faits jusqu'à une profondeur de 140 cm (11 profondeurs) et répétés 5 à 6 fois dans le sens transversal, 4 à 7 fois dans le sens longitudinal. Le délai d'entrée sur l'élément après irrigation a varié avec la nature du sol de 5 heures sur sol sableux à 60 heures sur sol lourd. Dans tous les cas la quantité d'eau "retrouvée" par cette méthode a été presque identique à l'apport. Les figures II.C-f1 et 2 donnent un exemple des profils hydriques avant et après irrigation et de la quantité d'eau retenue à chaque transversale.

Les études ont d'abord porté sur les sols sableux : leur faible capacité de rétention pour l'eau (50 mm sur une épaisseur de 1,20 m), le prix de revient élevé des irrigations, leur a fait attribuer une priorité. Par la suite elles ont été poursuivies sur une gamme de sols allant de l'argilo-limoneux au sablo-limoneux.

(1) Sols sableux

Dans une première phase, un seul paramètre (pente ou débit ou longueur) a été pris comme variable, dans une seconde les interactions ont été recherchées.

Compte tenu de la faible capacité de rétention pour l'eau la dose épanchée, sauf en cas de lessivage, ne devrait pas dépasser 50 à 60 mm sur des sols sableux comme celui de Ksar Ghériss pour être exploitée par les racines.

Cette dose de 50 à 60 mm peut donc être considérée comme un critère, quand il s'agit de définir les facteurs pente, longueur et débit d'irrigation.

Compte tenu de la percolation rapide de l'eau en profondeur, il n'y a pas lieu de prévoir un système de colatures pour évacuer un excès d'eau éventuel ; la végétation ne marque pas d'effet dépressif en bout de parcelles.

La vitesse d'infiltration, qui est de l'ordre de 10 à 15 cm/h au début de l'irrigation, diminue rapidement jusqu'à 4 cm/h environ. D'après la loi de Darcy ( $v = K.i$ ) la vitesse d'infiltration ( $v$ ) devient finalement pour une pente motrice ( $i$ ) de 1 égale à la perméabilité du sol ( $K$ ), appelée aussi vitesse de filtration par unité de pente.

En effet cette valeur de 4 cm/h pour la perméabilité du sol a été confirmée par les mesures effectuées par la méthode Porchet.

Etant donné , que la vitesse d'infiltration dépend de l'humidité du sol, sa valeur initiale au début de l'irrigation peut varier, en particulier à la suite des petites pluies précédant l'irrigation, qui augmentent l'humidité en surface.

(a) Planches

(i) Influence de la pente sur la dose

Plus la pente est forte, plus la vitesse d'avancement de l'eau est grande, et plus la durée d'irrigation sera courte, donc la dose faible. On peut observer l'existence d'une corrélation (figure II.C-f3) entre la hauteur d'eau infiltrée au niveau d'une transversale donnée et la durée de submersion de cette transversale. Il s'agit en fait d'un mode d'expression particulier de la vitesse d'infiltration.

Sur un essai comprenant trois planches à pente de 16, 12 et 8 ‰ nous avons comparé l'action de la pente. En regroupant les doses moyennes apportées pour une même longueur et un même débit on obtient :

	Pente			Longueur en m	Débit en l/s/11m
	16 ‰	12 ‰	8 ‰		
Dose moyenne en mm	73,5	84	115	68	20
Rapport	1	1,14	1,56		
Dose moyenne en mm	50	60	80	68	25
Rapport	1	1,30	1,60		
Dose moyenne en mm	70	74	112	140	
Rapport	1	1,06	1,60		
Rapport moyen	1	1,15	1,59		

Bien que la variation soit assez forte pour la pente de 12 ‰, peut-être du fait des irrégularités de terrain, il semble que la pente intervienne sur la dose par sa puissance  $2/3$  environ. Ceci est à rapprocher des formules d'écoulement dans les canaux.

$$D = cP^{-2/3}$$

c étant une constante dépendant de la longueur et du débit.

Il est toutefois à signaler, que dans le cas de pentes faibles les irrégularités de terrain peuvent jouer un rôle important, de telle

sorte que la dose dépasse largement celle calculée à partir du rapport mentionné ci-dessus.

sur la répartition de la dose

Les figures II.C-f4 et 5 montrent la répartition de l'eau le long de la planche. La dispersion entre les valeurs extrêmes a été exprimée en pourcentage de la dose "retrouvée" et la dispersion a été jugée excellente à moins de 10 %, bonne entre 10 et 25 %; irrégulière entre 25 et 50 %, mauvaise pour plus de 50 %.

Date	Longueur en m	Débit l/s/11 m	Dispersion entre les valeurs extrêmes		
			p = 16 ‰	p = 12 ‰	p = 8 ‰
16.1.68	68	25	17 % bonne	8 % excellente	
1.2.68	68	25	15 % bonne	-	42 % irrégulière
17.2.68	68	25	22 % bonne	13 % bonne	6 % excellente
27.2.68	140	27	75 % mauvaise	68 % mauvaise	
27.3.68	140	27	63 % mauvaise		73 % mauvaise
11.4.68	140	27		30 % bonne, sauf en bout	23 %

On peut constater que,

- la pente ne semble pas intervenir d'une façon systématique sur la répartition de l'eau.
- la répartition est en général bonne à excellente pour des planches de 68 m de longueur. Elle devient mauvaise pour des planches de 140 m, où la quantité d'eau infiltrée a tendance à diminuer au fur et à mesure que la distance augmente. En outre, on ne peut éviter une certaine accumulation en bout de parcelle ; toutefois pour de telles longueurs la pente 12 ‰ amènerait à une homogénéité acceptable.

Il faut toutefois noter les points suivants :

- Les risques d'érosion croissent avec la pente. Il y a donc lieu de veiller au nivellement pour éviter que l'eau ne bascule d'un côté vers l'autre de la planche.

- La végétation, surtout si le semis est fait perpendiculairement au sens de l'irrigation facilite l'étalement des eaux et diminue les risques d'érosion.

- La pente de 12 ‰ serait à préférer bien que nécessitant des doses d'eau légèrement supérieures à celles utilisées sur une pente de 16 ‰. Car d'une part l'eau a moins tendance à s'emballer sur la moindre dénivelée, d'autre part les risques d'érosion sont plus faibles. Au prix de certains artifices comme par exemple la réduction de la longueur des planches, il est possible d'assurer correctement les premières irrigations après semis sur des planches de 12 ‰, mais l'emploi de l'aspersion devient pratiquement indispensable sur des planches de 16 ‰.

interaction de la pente et de la longueur de la planche

Les figures II.C-f6 et 7 montrent l'avancement de l'eau sur des planches de 140 m de longueur avec des pentes de 16, 12 et 8 ‰, irriguées avec un débit de 2,5 l/s/m de largeur. Les différences entre les pentes de 16 et 12 ‰ sont faibles, peut-être masquées par les irrégularités du terrain.

En partant du principe d'arrêter l'irrigation au moment, où l'eau est arrivée à environ 5 m du bout de la parcelle, on peut à l'aide des courbes d'avancement calculer les doses correspondant à des planches ayant une longueur de 60, 80 et 100 m (valeurs arrondies à 5 mm) :

	12 à 16 ‰			8 ‰		
	60 m	80 m	100 m	60 m	80 m	100 m
27.2.68	45	50	55	55	70	80
27.3.68	55	65	70	80	100	115
11.4.68	45	55	65	65	85	100

L'apport recherché étant de l'ordre de 50 à 60 mm on pourrait sur des pentes comprises entre 12 et 16 ‰ avec un débit de 2,5 l/s/m de largeur adopter des longueurs de 80 à 100 m pour les planches. Au contraire sur des pentes de 8 ‰ la longueur ne devrait pas dépasser 60 m.

(ii) Influence du débit  
sur la dose

L'action du débit est plus complexe que celle de la pente. En général, si le débit d'irrigation diminue, le temps nécessaire pour que l'eau couvre toute la planche tend à augmenter plus que proportionnellement, de sorte que la dose (débit x temps) devient plus grande. En effet sur sol sableux, la quantité d'eau infiltrée augmente avec la durée d'irrigation.

Tous les facteurs, qui agissent sur la quantité d'eau infiltrée, modifient l'influence du débit sur la dose. Plus la vitesse d'infiltration, la rugosité de la surface du sol et la longueur sont grandes et la pente faible, plus l'influence du débit sur la dose est prononcée.

Le tableau C.II-t1 donne les résultats des essais d'irrigation, effectués au printemps 1965 et 1966. Compte tenu des variations dues aux irrégularités du terrain, il en ressort que :

- il n'y a pas de différence jusqu'à 30 m sur la parcelle à pente de 3 ‰ (en luzerne) et jusqu'à 50 m sur la parcelle à pente de 6 ‰ (en vesce-orge).
- pour des débits de 20 et 30 l/s/12 m les différences ne commencent à apparaître qu'à partir de 66 m sur la parcelle en luzerne et de 100 m sur la parcelle en vesce-orge.
- ceci est confirmé par l'essai du printemps 1966, qui ne montre pas non plus de différence jusqu'à 68 m de longueur entre les débits de 20, 30 et 40 l/s/12 m.

Avec des pentes de l'ordre de 10 ‰ pour un débit d'amenée de 10 l/s/12 m l'eau ne progresse plus après 70 m ; a ce stade, où l'eau ne progresse plus, on arrive à l'équilibre suivant :

$$\text{débit} = \text{surface} \times \text{vitesse d'infiltration}$$

Pour un débit de 10 l/s, soit 864 m<sup>3</sup>/j, et une planche de 12 x 70 m la vitesse d'infiltration devient donc environ 1 m/j; valeur correspondant à celle mentionnée ci-dessus.

La figure II.C-f8 montre d'une façon théorique l'influence du débit sur la dose. Il n'y a donc pas de rapport fixe entre ces deux facteurs. Pour des éléments courts le débit n'intervient pas sur la dose. Mais au fur et à mesure que la longueur de la planche augmente, son action devient plus forte tout en restant fonction de la vitesse d'infiltration, de la rugosité du terrain et de la pente. Si la vitesse d'infiltration est plus faible, soit à cause de la nature du sol (p.e. texture argileuse au lieu de texture sableuse), soit par suite d'une humidité plus élevée (p.e. à cause d'une légère pluie précédant l'irrigation), la longueur à partir de laquelle l'influence du débit se fait sentir, est plus grande.

En automne 1967, des essais ont eu lieu sur des planches couvertes de luzerne bien développée, dont la rugosité a dû être plus grande que celle des planches utilisées au printemps 1965 et 1966. La vitesse d'infiltration a été probablement aussi plus grande du fait d'une consommation plus élevée. En effet, contrairement aux résultats du printemps 1965 et 1966, des débits variant de 20 à 30 l/s/12 m pour des planches de 68 m de longueur, ont agi sur la dose :

Débit en l/s/12 m	Dose en mm	
	17.10.67	29.11.67
20	50	76,5
25	-	52,5
30	46	-

Tableau II.C-t1 : Dose en fonction du débit et de la longueur de la planche

Longueur	Date	Débit en l/s/12 m						
		Luzerne (3 ‰)			Vesce-orge (6 ‰)			
		10	20	30	10	15	20	30
30 m	4.3.65	58	40	38	34	50	41	41
	24.3.65	45	32	45	38	52	42	52
50 m	4.3.65	100	54	-	50	50	42	45
	24.3.65	88	47	47	57	69	49	54
66 m	4.3.65	200	92	60	100	64	53	47
	24.3.65	126	62	59	95	83	54	56

Longueur	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m
20 l/s/12 m	20	35	30	35	40	45	51
30 l/s/12 m	22	30	35	38	42	45	54
Longueur	80 m	90 m	100 m	110 m	120 m	130 m	140 m
20 l/s/12 m	58	72	81	109	136	173	217
30 l/s/12 m	60	70	81	100	102	-	115

Longueur	Date	Débit en l/s/12 m				
		10	15	20	30	40
68 m	24.2.66	59		38	39	
	7.3.66		46		36	35

Bien que le nombre d'observations soit faible, il semblerait, que pour ces irrigations le débit intervienne sur la dose à la puissance  $2/3$ . C'est-à-dire, que pour des planches de 60 à 70 m de longueur, couvertes par une culture bien développée, on pourrait agir sur les doses en faisant varier le débit de 20 à 30 l/s/12 m.

#### sur la répartition de la dose

Les figures II.C-f9 et 10 montrent la répartition de l'eau le long de la planche. Pour les doses fortes la percolation a dépassé 1,40 m de profondeur 5 heures après irrigation, de sorte que la quantité d'eau infiltrée n'a pas été "retrouvée" en totalité.

Alors qu'elle semble indépendante de la pente, la répartition de l'eau semble liée au débit.

En général, les débits de 10 à 20 l/s/12 m entraînent une dissymétrie dans la répartition de l'eau, la moitié amont de la planche recevant plus d'eau que la moitié aval. La seule irrigation réalisée avec un débit de 30 l/s/12 m a conduit à une distribution inverse, la moitié aval recevant un peu plus d'eau que la moitié amont. Le débit de 25 l/s/12 m paraît être un optimum pour l'obtention d'une répartition régulière de l'eau sur une planche de 68 m de long (figure II.C-f10). Le débit de 30 l/s/12 m pourrait être également employé soit lorsqu'il n'y a pas de risque d'érosion, soit sur des pentes plus faibles que celles utilisées dans ces essais d'irrigation ; la dissymétrie entre les parties amont et aval serait ainsi diminuée. Les débits égaux ou inférieurs à 20 l/s/12 m devraient être réservés à l'application de doses fortes. Ils amènent toutefois à surirriguer la partie amont de la planche.

#### interaction du débit et de la longueur de la planche

Les figures II.C-f11 et 12 montrent l'avancement de l'eau pour des débits différents et des pentes de 6 à 9 ‰. De l'étude de ces courbes il ressort, que si l'on néglige l'action de la végétation et pour une dose de 50 à 60 mm :

- le débit de 10 l/s/12 m ne devrait être utilisé que sur des longueurs de 40 à 50 m
- celui de 20 l/s/12 m pour des planches de 50 à 60 m de longueur
- celui de 25 l/s/12 m pour des longueurs de 60 à 70 m.

Comme il a été constaté précédemment, on peut augmenter la longueur des planches à condition d'utiliser des pentes plus fortes : de 80 à 100 m pour des pentes de 12 à 16 ‰ et un débit de 25 à 30 l/s/12 m.

Il est toutefois à signaler que :

- 1°) ces doses s'entendent pour des parcelles en eau ; après un arrêt des irrigations ou juste après le semis elles seraient considérablement augmentées.
- 2°) La végétation freine la progression de l'eau et son état influence la dose nécessaire pour arriver en bout de parcelle, comme il ressort de la figure II.C-f13 : 159 mm pour une luzerne de 20 cm de hauteur contre 87 mm pour une luzerne récemment coupée.

#### (iii) Cas des premières irrigations

Sur des sols aussi sableux que ceux de Ksar Ghériss, il y a intérêt à retenir des pentes assez prononcées (12 - 16 ‰) ; en outre le débit d'amenée doit être fort, de l'ordre de 25 l/s/12 m, pour réduire les pertes en profondeur. Cependant lors d'une première mise en eau sur des planches à forte pente les risques d'érosion sont considérables, d'autant que le sol est ameubli en surface. Il ne saurait être question d'utiliser alors des débits importants. On doit employer des débits relativement faibles ce qui augmente la dose épandue d'une part et allonge la durée de l'irrigation d'autre part. Si celle-ci devient trop grande (plus de 3 à 4 heures), les mottes de surface se dissolvent et l'érosion apparaît quel que soit le débit utilisé.

Deux artifices peuvent réduire cet inconvénient. Le premier consiste à semer perpendiculairement au sens de l'irrigation. Les dérayures des socs semeurs régularisent l'avancée de l'eau. Le second est de raccourcir la longueur de l'élément d'irrigation (de moitié par exemple).

Avec un débit de 15 l/s/12 m, une pente de 12 ‰ et 34 m de longueur, on peut apporter au semis, sans érosion marquée, moins de 65 à 70 mm contre 90 à 100 mm en utilisant un débit de 25 l/s et 68 m. De plus on ne peut éviter dans ce cas une certaine érosion.

Il est certain que l'aspersion qui permet d'apporter de faibles doses est à même de rendre de précieux services lors des premières irrigations. Les économies d'eau ainsi réalisées et la meilleure levée obtenue compenseraient largement le supplément de frais qu'elle entraîne.

#### (iv) Conclusions

Sur un sol sableux comme celui de Ksar Ghériss à faible capacité de rétention pour l'eau, la dose épandue ne devrait pas dépasser 50 à 60 mm pour être exploitée par les racines.

Le taux d'infiltration qui est de l'ordre de 10 à 15 cm/h au début de l'irrigation diminue rapidement jusqu'à 4 cm/h environ.

Compte tenu de ces contraintes les conclusions suivantes se dégagent des essais effectués sur planche :

- La pente interviendrait par sa puissance  $2/3$  environ sur la dose. Plus la pente est forte, plus la dose est faible. Une pente de 12 ‰ est à préférer.
- La pente n'influe pas sur la répartition de l'eau. En employant un débit de 25 l/s/12 m, soit 2,2 l/s/m de largeur, la répartition est en général bonne à excellente pour des planches de 68 m de longueur, mais elle devient mauvaise pour des planches de 140 m.
- Le débit intervient sur la dose, mais son action dépend d'autres facteurs. Sur des éléments courts elle est très faible. Au fur et à mesure que la longueur augmente, son action devient de plus en plus forte, tout en restant fonction de la vitesse d'infiltration, de la rugosité du terrain et de la pente. Plus le débit est fort plus la dose devient faible pour des longueurs de l'ordre de 70 m.
- Le débit intervient également sur la répartition de l'eau. Le débit de 25 l/s/11 à 12 m peut être considéré comme optimal pour obtenir une bonne répartition de l'eau sur des planches de 68 m de longueur.
- La longueur de la planche intervient sur la dose. La dose unitaire augmente avec la longueur. Pour des pentes de 12 à 16 ‰ et un débit de 25 l/s/11 à 12 m on peut adopter des longueurs de 80 à 100 m, pour des pentes de 6 à 10 ‰ et le même débit des longueurs de 60 à 70 m.
- Ces conclusions sont valables pour un périmètre en eau. Après un arrêt des irrigations ou au moment d'un semis la dose épandue ne peut être inférieure à 60 mm.

## (b) Billons

### Mode de prélèvements

Les prélèvements ont été exécutés à égalité sur le sommet et le creux des billons. Les doses ainsi "retrouvées" sont voisines des apports. Les écarts sont de l'ordre de 9 %, ce qui se justifie sur des sols sableux.

### (i) Influence de la pente

#### sur la dose

En procédant de la même façon que sur les planches, les résultats furent les suivants :

Date		pente ‰			débit	longueur
		16	12	8	l/s	m
1.10.68	dose en mm	15	19	28	10/8 m	72
	Rapport	1	1,3	1,8		
25.10.68	dose en mm	45	62	86	15/8 m	132
	Rapport	1	1,4	1,9		
11.11.68	dose en mm	35	58	62	15/8 m	132
	Rapport	1	1,6	1,8		
27.11.68	dose en mm	41	57	62	25/8 m	132
	Rapport	1	1,4	1,5		
7. 2.68	dose en mm	29	48	64	30/8 m	132
	Rapport	1	1,6	2,2		
8. 3.68	dose en mm	13	21	22	27/8 m	132
	Rapport	1	1,6	1,7		
9. 6.68	dose en mm		18	24	20/8 m	132
	Rapport		1	1,3		
3. 7.68	dose en mm		43	53	10/8 m	132
	Rapport		1	1,25		
	Moyenne du Rapport	1	1,5	1,8		

La dose serait pratiquement inversement proportionnelle à la pente

$$D = cP^{-(0,9 \text{ à } 1)}$$

c étant une constante dépendant de la longueur et du débit.

sur la répartition de la dose

La figure II.C-fl4 montre la répartition de l'eau le long du billon pour deux irrigations faites sur terre nue. En appliquant la même notation que pour les planches les résultats suivants furent obtenus :

Date	Longueur en m	Débit en l/s/8 m	Dispersion entre les valeurs extrêmes		
			p = 16 ‰	p = 12 ‰	p = 8 ‰
7.2.69	132	30	27 % irrégulière	18 % bonne	45 % irrégulière
8.3.69	132	27	17 % bonne	15 % bonne	30 % bonne sauf en bout

La pente ne semble pas intervenir d'une façon systématique sur la répartition et les observations faites pour les planches sont valables pour les billons.

interaction de la pente et de la longueur du billon

La figure II.C-f15 montre l'avancement de l'eau sur des billons de 132 m de longueur avec des pentes de 16, 12 et 8 ‰.

En partant du principe d'arrêter l'irrigation au moment où l'eau est arrivée à 5 m du bout de la parcelle on peut à l'aide des courbes d'avancement calculer les doses correspondant à des longueurs de 60 m, 80 m et 100 m :

Longueur de billon en m	pente		
	16 ‰	12 ‰	8 ‰
60	15	22	26
80	20	36	45
100	28	40	64
132	45	62	90

L'apport recherché étant de l'ordre de 50 mm on pourrait sur des pentes de :

16 ‰ adopter une longueur de 130 à 140 m  
 12 ‰ " " " " 100 à 120 m  
 8 ‰ " " " " 80 à 90 m

(ii) Influence du débitsur la dose

Il n'y a pas eu ici d'essais aussi systématiques que pour les planches. Les résultats ci-après se rapportent à des billons plantés en maïs.

Longueur en m	Date	pente					
		16 ‰		12 ‰		8 ‰	
		Débit en 1/s/8 m	Dose en mm	Débit en 1/s/8 m	Dose en mm	Débit en 1/s/8 m	Dose en mm
72	1.10.68	10	15	10	19	10	27
72	10.10.68	7,5	14	7,5	15	5	37
132	25.10.68	15	45	15	62	15	62
132	11.11.68	15	35	15	58	15	60
132	27.11.68	25	41	25	57	25	62
132	9. 6.69			20	18	20	24
132	3. 7.69			10	40	10	52

Comme pour les planches, on peut dire que la dose épanchée diminue en général si le débit augmente. Toutefois l'état du terrain influe sur la dose beaucoup plus que dans le cas des planches.

sur la répartition de la dose

Les figures II.C-f16, 17 et 18 montrent que pour des longueurs de 132 m :

- les débits faibles (5 à 10 l/s/8 m) ne permettent pas d'obtenir une bonne répartition longitudinale
- les débits élevés (25 à 30 l/s/8 m) assurent une assez bonne régularité
- les débits moyens (15 l/s/8 m) entraînent une surirrigation de l'amont, une sous-irrigation de l'aval sur les pentes faibles (8 à 12 ‰) alors que sur les pentes fortes la répartition est meilleure.

interaction du débit et de la longueur du billon

Les figures II.C-f19, 20 et 21 montrent l'avancement de l'eau pour des débits différents et des pentes de 8, 12, 16 ‰. De l'étude de ces courbes on peut voir si l'on néglige l'action de la végétation que pour une dose de 40 à 50 mm.

le débit de	5	l/s/8 m	ne devrait être utilisé	au delà de	60 à 70 m
" " "	8,75	" " "	" " "	" " "	80 à 90 m
" " "	10	" " "	" " "	" " "	90 à 100 m
" " "	15	" " "	" " "	" " "	100 à 130 m
" " "	25	"	pourrait	"	sur 150 à 200 m
" " "	30	"	"	"	au delà de 200 m

Le taux d'infiltration, fonction du périmètre mouillé, varie avec la pente :

- Sur pente de 8 ‰ le débit d'équilibre est de 5 l/s épanchés sur 400 m<sup>2</sup>, le taux d'infiltration serait donc de 4,5 cm/heure.
- Sur pente de 16 ‰ le débit d'équilibre est de 5 l/s épanchés sur 640 m<sup>2</sup>, le taux d'infiltration serait de 2,75 cm/heure.

En conclusion on peut retenir si le débit ne varie pas au cours de l'irrigation :

pour des longueurs de	60 à 80 m	des débits de l'ordre de	1 à 1,5 l/s/m
	100 à 130 m		2 à 2,5
	150 à 200		3
	250 à 300		4

L'adoption d'un débit élevé améliore l'homogénéité de la répartition mais augmente l'érosion. Elle a aussi pour conséquence des apports trop faibles pour les périodes retenues (8 jours). Dans une seconde phase de nos essais nous ferons varier le débit en cours d'irrigation : débit initial 20 à 25 l/s/8 m, débit final 10 à 15 l/s/8 m par exemple sur des longueurs de 140 m.

## (2) Sols argilo-limoneux

L'analyse des paramètres pour ces sols sera très sommaire car les essais qui ne font que débiter se poursuivent actuellement.

La vitesse d'infiltration sur les sols argilo-limoneux de Cherfech est de l'ordre de 10 à 15 cm/h au début de l'irrigation, donc à peu près la même que celle sur sol sableux à Ksar Ghériss. Une dose de 100 mm s'infiltré en une heure environ. Cependant une fois les fentes de retrait colmatées et la surface du sol plus ou moins glacée, la vitesse d'infiltration diminue fortement. Alors qu'à Ksar Ghériss la vitesse d'infiltration ne descend pas au-dessous de 4 cm/h, à Cherfech elle devient beaucoup plus faible et descend nettement au-dessous des valeurs de 1,5 à 2 cm/h, qui correspondent à la perméabilité du profil (chapitre II.C.2.c), à cause de la formation d'une mince couche peu perméable à la surface du sol. En effet il faut à peu près 24 heures pour qu'une dose de 200 à 250 mm s'infiltré.

(a) Planches

(i) Influence de la pente

Ce facteur n'a pas encore été étudié.

(ii) Influence du débit

sur la dose

Ci-après sont données les doses épandues sur des planches de 104 m de long ayant une pente de 2 ‰ (Cherfech) et semées en luzerne.

Date	Débit	15 l/s/6m	15 l/s/12m	10 l/s/12m	15 l/s/24m	20 l/s/36m
	Débit en l/s/m	2,5	1,25	0,835	0,625	0,55
22.8.66	Dose en mm	49	49		52	
12.9.66	"	45	45			
18.9.66	"	49 <sup>‡</sup>	39			
18.3.67			65 <sup>‡</sup>	57 <sup>‡</sup>		49

‡ accumulation en bout de parcelle

Comme sur les terres sableuses le débit intervient sur la dose mais d'une façon assez complexe. Il est à noter toutefois qu'en terre lourde, sujette à fente de retrait, et sur faible pente son action semble moins marquée qu'en terre légère.

sur la répartition de la dose

La figure II.C-f22 représente la hauteur infiltrée à la tête, au milieu et à la queue des planches lors des irrigations du 22.8 et 12.9.1966. Le nombre d'irrigations suivies est trop faible pour permettre de dégager une loi de distribution.

interaction du débit et de la longueur de la planche

La longueur a relativement peu d'incidence sur la dose. On peut déjà le voir sur les courbes d'avancement relatives à des planches de 105 m (figure II.C-f23). En 1969 une planche de 200 m a été mise en place et même dans ce cas la dose a été peu influencée. L'utilisation de planches de 200 m est à recommander à Cherfech.

Date	Longueur en m	212	25
	Débit l/s/m	4	1,25
23.4.69	Dose en mm	70	66
30.4.69	"	59	70
16.5.69	"	44	38
27.5.69	"	59	59

(b) Billons

(i) Influence de la pente

Ce facteur n'a pas encore été étudié.

(ii) Influence du débit

sur la dose

Les résultats de 2 séries d'irrigations effectuées sur billons de 110 m de longueur, 1,20 m de largeur, plantés en tomates (Cherfech) sont donnés ci-après. L'influence du débit ne semble pas être très forte sur les sols argilo-limoneux.

Date	Débit	30 l/s/12m	30 l/s/24m
	Débit l/s/m	2,5	1,25
5.7.68	Dose en mm	106	
15.7.68	"	82	105

sur la répartition de la dose

La figure II.C-f27 montre la répartition de l'eau après 2 à 3 jours de ressuyage. Elle est assez bonne sauf en tête, ce que l'on peut expliquer par un léger basculement de la pente à l'emplacement des tournières. Bien que pour le débit de 1,25 l/s/m l'homogénéité semble meilleure il ne saurait être question pour l'instant de juger du débit optimal.

interaction du débit et de la longueur du billon sur la dose

En étudiant les courbes d'avancement (figure II.C-f25) il semble que pour un débit de 1,25 l/s/m la vitesse baisse à partir de 70 m et par suite la dose épandue augmente alors que pour un

débit de 2,5 l/s/m la perte de vitesse est plus faible.

(iii) Etat du terrain (Planches - Billons)

La surface du terrain influe fortement par son état. Suivant qu'elle est plus ou moins humide ou fissurée elle pourra faire varier la dose du simple au double.

Lors de la première irrigation la présence de mottes fait augmenter considérablement la dose épanchée. Nous avons pu réduire cette dernière de près d'un tiers (65 à 70 mm contre 100 à 105 mm) lorsque les mottes n'excédaient pas la taille d'une noisette.

Une fois les fentes de retrait établies, longueur, débit n'ont plus qu'une influence réduite.

(iv) Observation

Les études sur l'aménagement du terrain demandent au technicien irrigant la collaboration d'un laboratoire pour être menées à bien. Toutefois il est déjà possible de dégrossir sérieusement le problème en pratiquant sur le terrain quelques mesures, qui porteraient essentiellement sur la vitesse d'avancement de l'eau en fonction de débits différents et des pentes caractéristiques du périmètre.

b. ASPERSION

(1) But et intérêt

La mise en place des cultures correspond à une période cruciale pour la vie d'un périmètre. Elle coïncide normalement à une pointe des besoins en eau. En effet d'une part les cultures de la saison précédente arrivent à la période de leurs consommations maxima en eau, d'autre part les nouveaux semis doivent être irrigués fréquemment. L'irrigant qui ne dispose que d'un débit limité aimerait pouvoir réduire à cette époque les apports. Sur les cultures en fin de cycle cette pratique est dangereuse, car elle risque d'abaisser le rendement. Il n'est donc possible d'agir que sur les cultures à mettre en place, quitte par la suite à surirriguer. En effet plus tard en saison les disponibilités en eau sont meilleures du fait de l'arrêt des irrigations sur les cultures du cycle précédent. L'irrigant pourra donc lessiver, s'il y a lieu.

Prenons par exemple le cas des périmètres du Centre tunisien où le besoin d'irriguer est quasi permanent. Au printemps les cultures d'hiver sont en plein développement et leurs besoins en eau sont maxima ; il y a donc intérêt à augmenter l'efficacité des apports nécessaires à la mise en place des cultures de printemps. En automne les besoins sont inversés, mais la situation reste inchangée. Au contraire en été ou en hiver on dispose de plus de souplesse du fait que les irrigations sont arrêtées soit sur les cultures d'hiver soit sur celles d'été.

Sur terre légère les premières irrigations sont en général très fortes. Le sol ameubli par les façons culturales absorbe beaucoup d'eau. La cohésion des agrégats étant faible, a pour conséquence une érosion importante. Quel que soit l'expédient retenu (pente forte, débit important, raccourcissement de l'élément d'irrigation) il ne paraît pas possible d'épandre moins de 60 à 70 mm en ruissellement.

Sur terre lourde le problème est le même à ceci près que les terres sont moins sensibles à l'érosion, mais se ressuyent mal. Un orage tombant inopinément sur un sol déjà gorgé d'eau peut venir compromettre la levée par l'asphyxie qu'il entraîne.

L'aspersion qui permet d'apporter de faibles doses, d'une façon homogène en principe, nous a semblé une solution pour nos problèmes. Bien que la littérature fasse les plus extrêmes réserves sur son emploi avec des eaux saumâtres, nous l'avons essayée compte tenu de la modicité des débits dont les périmètres disposent en Tunisie et du prix de revient de l'eau. Dans les essais entrepris ici, il a été simplement question de faire des tentatives d'emploi de l'eau saumâtre en aspersion et de voir quelles en étaient les limites. Il ne s'agit donc ni d'essais statistiques dont le but aurait été de comparer les effets de l'aspersion et du ruissellement sur la culture et le sol, ni d'une étude approfondie des modalités de l'aspersion (débit, granulométrie des gouttes, spectre de répartition...).

## (2) Restrictions imposées par les conditions météorologiques

Une première restriction sur l'emploi de l'aspersion est imposée par la vitesse du vent. Compte tenu de ce que en Tunisie en moyenne sur 24 heures celle-ci est de l'ordre de 3 m/s, il ne semble pas possible d'apporter moins de 30 à 35 mm en automne et de 35 à 40 mm au printemps pour assurer une levée correcte des cultures bien que les semis aient besoin de peu d'eau. Pour cette même raison il est préférable de resserrer les asperseurs et de les placer à 12 m x 12 m ou mieux de 6 m x 12 m.

Alors que pour des vitesses de 2 à 3 m/s la dose varie d'un point à un autre de 30 à 40 %, l'écart de distribution est pratiquement décuplé pour un vent de 5 m/s avec des rafales de 8 m/s (figure II.C-f26). Quel que soit le développement de la culture il faut cesser les irrigations avec de tels vents.

Une deuxième restriction est imposée par la température, qui amène à modifier les heures d'irrigation sur des cultures, qui ont dépassé le stade de la levée. Il est admis que l'on doit éviter d'irriguer par aspersion durant les heures chaudes de la journée. Cependant en fait, seules quelques cultures, maraîchères et florales, ont montré des traces de brûlures en toute saison. La plupart des autres se sont révélées tolérantes en automne, en hiver et au printemps. En été toutefois les aspersions ne peuvent être pratiquées que de nuit ou au crépuscule sauf pour la luzerne qui paraît très peu sensible.

(3) Débit à utiliser

Il semble que l'on ne puisse sans danger dépasser certaines intensités d'apport. En effet avec des vitesses de 10 mm/h la végétation a été déprimée à la hauteur des asperseurs aussi bien à Cherfech qu'à Ksar Ghériss. Cet effet s'estompe dès que l'on descend à 5 mm/h.

(4) Effets

(a) Levée

L'aspersion qui dans un premier temps a été spécialement utilisée ici comme mode d'irrigation en début de culture, a donné des résultats très satisfaisants pour assurer la germination et la levée de l'orge du ray-grass, de la fétuque, de la luzerne, du maïs et du sorgho fourrager. On a pu ainsi économiser sur le sol sableux de Ksar Ghériss de 120 à 150 mm pour la levée des cultures par rapport au ruissellement (3 à 4 irrigations de 30 à 40 mm contre 70 à 80 mm par ruissellement).

En sol lourd la levée peut être même meilleure avec l'aspersion qu'avec le ruissellement, comme il a été constaté au printemps 1968 sur maïs et coton. En effet avec les faibles doses apportées par l'aspersion, la bonne structure du sol obtenue par les façons culturales se maintient, la croûte de surface qui gêne la levée est beaucoup moins épaisse.

(b) Composition minérale des végétaux

cf II.B.1.b

(c) Salure du sol

cf II.A.1.a

(d) Rendement

Au chapitre II.B.3 des informations ont été données à ce sujet, qui n'ont qu'une valeur indicative car les essais n'ont pas été conduits d'une façon statistique et de ce fait l'influence des facteurs sol, précédent cultural, hasard, n'a pas pu être éliminée.

Il y a lieu de signaler les points suivants :

- Les arrosages de jour ont entraîné des brûlures sur les feuilles du maïs, du sorgho fourrager, des tomates et du bersim (relativement peu) dès que la température sous abri a dépassé 20 à 22°C. Par contre sur la luzerne les dégâts ont été insignifiants.
- L'intensité de 10 mm/h semble être trop forte et peut entraîner un effet dépressif.
- Sur maïs les épis paraissent plus petits et la fécondation est moins bonne.

- Pour les tomates, non seulement le développement des plants mais aussi le rendement et la qualité des fruits sont plus faibles que par ruissellement.
- Le coton semble très sensible aux aspersions effectuées de jour dès qu'il émet ses feuilles.
- Les gouttes ne doivent pas être trop grosses pour éviter les projections de terre sur les feuilles.

## 2. DRAINAGE

### a. BUT

Le drainage a pour but d'empêcher la nappe phréatique d'atteindre un niveau nuisible aux cultures et aux sols : il maîtrise la nappe.

Il permet ainsi de ressuyer vite le sol mais, pour une profondeur donnée du réseau, à court terme il n'abaisse pas le "point de ressuyage". L'humidité correspondant à ce point dépend de la nature du sol (texture et structure), par conséquent les sols lourds gardent leur tendance asphyxiante.

Dès que l'on installe un périmètre irrigué, l'excès d'eau percolant en profondeur fait changer le régime hydrologique : un nouvel équilibre s'installe mais la nappe est plus élevée. Considérons un mouvement de terrain ; d'une façon générale on peut distinguer trois zones (voir figure II.C-f27) :

- le terrain de coteau, où la nappe reste encore profonde et n'est donc pas dangereuse et où le drainage se fait d'une façon naturelle vers la plaine.
- la plaine, où la nappe remonte près de la surface, le drainage naturel ne suffisant pas. On est donc obligé d'installer un réseau de drainage artificiel.
- la zone intermédiaire, où le drainage pourrait être nécessaire, mais moins intensif que dans la plaine.

L'oasis en est un exemple : drainage naturel dans la zone amont, alors que la zone aval a besoin d'un drainage artificiel.

Il est évident, que la façon dont la nappe remonte, est fonction d'une part de l'excès d'eau du périmètre, donc de la surface du périmètre, d'autre part du drainage naturel. Il est tout à fait possible que l'installation d'un petit périmètre ne crée pas une remontée dangereuse de la nappe dans les terrains avoisinants et que le drainage naturel soit suffisant.

Cependant aucun périmètre d'irrigation ne doit être installé sans faire attention au problème du drainage, dans cet esprit un réseau de piezomètres est indispensable.

Le drainage, naturel ou artificiel, est le complément obligatoire de l'irrigation.

Outre les inconvénients d'un manque d'aération et d'une mauvaise structure du sol, une nappe trop élevée présente en cas de nappe salée le danger de favoriser la remontée de sels par capillarité.

Si dans un périmètre irrigué la nappe se trouve à 1,50 m de profondeur environ, une légère remontée capillaire de l'ordre de 0,1 à 0,2 mm/j a lieu entre les irrigations mais est contrebalancée par l'eau percolant lors des irrigations. Cependant en absence d'irrigations ou de pluie, par exemple sous climat désertique, même des sols ayant une nappe à 2-3 m de profondeur peuvent se saler par une remontée capillaire qui a une vitesse réduite mais continue.

#### b. CALCUL DE L'ESPACEMENT DES DRAINS

Pour le calcul de l'espacement des drains, il est commode de distinguer en principe deux cas d'écoulement (voir figure II.C-f28) :

- les drains sont posés sur une couche imperméable. L'eau s'écoule au-dessus de cette couche presque horizontalement vers les drains.
- la couche imperméable se trouve plus basse que le niveau des drains. L'eau s'écoule d'abord d'une façon presque verticale en profondeur puis d'une façon horizontale et remonte ensuite par écoulement radial vers les drains.

L'espacement peut être calculé pour un régime permanent à l'aide des formules classiques suivantes :

drain sur couche imperméable	couche imperméable profonde
$l^2 = \frac{4K \Delta h^2}{s}$	$l^2 = \frac{8Kd \Delta h}{s}$

avec :

- l    espacement entre les drains en m
- K    perméabilité en m/j
- d    profondeur en m de la couche équivalente (d'après Hooghoudt), qui dépend de la profondeur D de la couche imperméable, de l'espacement et du rayon du drain
- $\Delta h$  charge ou différence de hauteur entre la nappe et le niveau des drains en m
- s    débit à évacuer par unité de surface en m/j

L'espacement des drains dépend donc de plusieurs facteurs :

- la perméabilité du sol K et la profondeur de la couche imperméable D. Plus la perméabilité est élevée et la couche imperméable profonde, plus l'espacement entre les drains peut être grand.
- la charge  $\Delta h$ , c'est-à-dire la différence entre la profondeur de la nappe et celle des drains. Plus la charge admise est grande, plus on peut espacer les drains.
- le débit à évacuer s. Plus il est grand, plus l'espacement entre les drains est réduit.

La perméabilité du sol K peut, soit être mesurée par des essais de pompage, soit être évaluée par extrapolation à partir des résultats d'un réseau fonctionnant dans des sols similaires.

La profondeur de la couche imperméable D est plus difficile à déterminer. Une couche, dont la perméabilité est au plus égale à 1/5, 1/10 de la perméabilité de la couche supérieure, peut être considérée comme imperméable. Des différences pareilles en perméabilité coïncident souvent avec un changement important dans la texture du sol. On peut donc utiliser les coupes des sondages pour s'orienter à ce sujet.

La charge  $\Delta h$  (p-z) dépend d'une part de la profondeur des drains (p), d'autre part de la profondeur de la nappe (z), qui serait obtenue si en régime permanent le réseau évacuait le débit s. Juste après l'irrigation, la nappe sera plus élevée, par la suite elle s'abaissera (voir figure II.C-f30). Elle oscillera donc autour d'un niveau moyen et il s'agit de choisir un niveau qui ne gêne pas les plantes. Pour les cultures annuelles une couche assainie de 0,8 - 1 m de profondeur, donc incluant la zone racinaire, peut être considérée comme suffisante ; pour les arbres une profondeur de 1,50 m est préférable.

Afin de réduire la remontée capillaire lors des périodes entre les irrigations, il est préférable d'adopter pour la profondeur des drains (p) au moins 1,50 m. Il en résulterait donc une valeur de  $\Delta h$  de 0,5 à 0,7 m pour les cultures annuelles.

En cas d'une couche imperméable nettement plus profonde que les drains l'espacement est proportionnel à la racine carrée de la charge :

$$l = c_1 \sqrt{\Delta h}$$

$c_1$  : constante, qui dépend des conditions.

Si pour  $\Delta h$  on admet 0,7 au lieu de 0,5 l'espacement augmente de 1 à  $1\sqrt{7/5}$ , donc de 20 % environ.

Le débit à évacuer s dans un périmètre irrigué dépend des quantités d'eau apportées en excès. Il n'est pas nécessaire de tenir

compte des débits très importants inhérents à un lessivage massif de terres hors culture, puisque dans ce cas on peut admettre temporairement une nappe très élevée.

Il en est de même du cas des fortes averses. Bien que la nappe puisse monter considérablement lors d'une averse, c'est plutôt la stagnation d'eau à la surface, consécutive à la destruction de la structure du sol, qui crée des dangers pour les plantes. Afin de pallier cette stagnation il peut être utile de prévoir sur des sols battants et asphyxiants une évacuation de surface par des rigoles.

Le débit à évacuer doit plutôt correspondre à l'excès d'eau en saison d'irrigation, excès qui provient des percolations d'une part dans les canaux en terre et d'autre part dans les parcelles. On peut donc agir sur ces percolations soit par l'emploi de canaux bétonnés soit en améliorant les irrigations. Cependant on doit en général tenir compte d'une certaine perte d'eau en profondeur, qui même avec des irrigations correctement conduites est à la parcelle environ égale à  $1/4 - 1/3$  de l'apport ; on peut ainsi pour des doses de l'ordre de 80 mm apportées à un rythme de 10 à 15 jours évaluer l'excès d'eau à 20 - 25 mm, donc à 2 mm/j environ.

Une deuxième façon d'estimer ce débit consiste à considérer la quantité d'eau nécessaire pour le lessivage, qui est fonction des apports de sel par l'irrigation.

Prenons le cas de Cherfech (en supposant les irrigations orientées vers l'économie d'eau en été):

- Apport d'eau d'irrigation ( $Q_i$  en mm) : été 600, hiver 200
- Salure des eaux d'irrigation ( $C_i$  en g/l) : été 2,5, hiver 2
- Salure maximum admise pour le sol de la partie inférieure de la zone racinaire :  $EC_e = 8$  mmho/cm

et comme  $SP/H_s = 2$ , ceci correspond à une solution de sol de 12 g/l

- Efficacité du lessivage évaluée à : 0,85

Il vient :

- Salure de l'eau de drainage ( $C_d$  en g/l) :  $C_d = 0,85 \times 12 = 10$
  - Quantité d'eau à drainer ( $Q_d$  en mm) :  $Q_d \times C_d = \sum Q_i \cdot C_i$
- donc  $Q_d = \frac{600 \times 2,5 + 200 \times 2}{10} = 190$

En supposant dans le cas le moins sévère pour le réseau que ce lessivage tributaire des irrigations et de la pluie s'étale régulièrement sur la période d'hiver et les premières irrigations d'été, donc sur une période d'environ 6 mois (Novembre/Décembre à Avril/Mai), le débit à évacuer serait d'environ 1 mm/j.

L'espacement est inversement proportionnel à la racine carrée du débit à évacuer :

$$l = \frac{C_2}{\sqrt{S}}$$

$C_2$  : constante qui dépend des conditions.

Si pour  $s$  on prend 2 au lieu de 1 mm/j, l'espacement diminue de 1 à  $1/\sqrt{2}$ , donc de 30 % environ.

Etant donné l'approximation dans la formule (on utilise une formule de régime permanent pour un processus qui est en réalité transitoire), l'imprécision sur la valeur  $KD$  (perméabilité et épaisseur du profil) et qu'il s'agit en pratique de calculer un ordre de grandeur pour l'espacement, il semble que le choix du critère de drainage (débit évacué pour une charge donnée) importe peu entre certaines limites. En utilisant par exemple des valeurs  $\Delta h = 0,5$  m et  $s = 2$  mm/j ou  $\Delta h = 0,7$  m et  $s = 1$  mm/j l'espacement calculé est respectivement de 80 % ou de 130 % de celui obtenu pour des valeurs moyennes  $\Delta h = 0,6$  m et  $s = 1,5$  mm/j. On resterait donc dans les limites d'approximation de la formule et de  $KD$ .

### c. DRAINAGE A CHERFECH ET A TOZEUR

#### (1) Cherfech

Avant la création du périmètre irrigué de la Basse Vallée de la Medjerdah, la nappe dans la plaine oscillait environ entre 0,5 m en hiver et 2 m de profondeur en été. Il est évident que dans de telles conditions l'irrigation implique la nécessité d'un réseau de drainage pour éviter la remontée de la nappe à la surface du sol.

La perméabilité du sol et la profondeur de la couche imperméable varient d'un endroit à l'autre. En général la perméabilité est de l'ordre de 1 m/j ( $10^{-5}$  m/s) et la couche imperméable se trouve à plusieurs mètres de profondeur (4 à 5 m). Il en résulte qu'il faut un espacement de 90 m pour des valeurs  $\Delta h = 0,6$  m (profondeur des drains 1,50 m) et  $s = 1,5$  mm/j.

Pour des raisons expérimentales la parcelle "Bilan" a été drainée à un espacement de 40 m (cf I.A.2.b). A l'aide de la formule de drainage on peut inversement calculer la valeur  $Kd$ , si pour un espacement donné on établit la relation entre le débit  $s$  et la charge  $\Delta h$ . Le fait que ce rapport (figure II.C-f29) est linéaire ( $s/\Delta h = C_3$ ) et non parabolique ( $s \sqrt{\Delta h} = C_4$ ), indique que le drain n'est pas situé sur une couche imperméable.

Au moyen de ce rapport et de l'analyse du profil de la nappe entre les drains, comme le montre la figure II.C-f31, on peut calculer séparément la perméabilité  $K$  et l'épaisseur  $D$  de la couche perméable au-dessous du niveau des drains (Note technique NOIA).

Pour la parcelle, qui ne présente pas de différence systématique, la perméabilité est de l'ordre de 2,5 m/j, valeur que confirment des essais de pompage. L'épaisseur  $D$  de la couche perméable au-dessous du niveau des drains calés à 1,50 m de profondeur, serait de 2 m.

En effet des sondages indiquent une alternance de couches argilo-limoneuses et limono-sableuses, suivies à partir de 3,5 - 4 m de profondeur par une couche argileuse très lourde (90 % argile et limon), qui semble correspondre à la couche imperméable indiquée par nos calculs.

Dans les conditions de la parcelle (écoulement horizontal vers les drains principalement au-dessous de leur niveau) l'analyse des débits des drains en fonction de la hauteur de la nappe ne permet pas de calculer la perméabilité au-dessus du niveau des drains. Cette dernière a été mesurée par couche de 20 cm par la méthode Porchet. Les valeurs ci-dessous reflètent l'alternance des couches limono-argileuses et limono-sableuses :

Couche	20-60	60-80	80-120	120-140
Perméabilité en m/j	0,35	0,70	1,0	0,35
" en m/s	$0,4 \times 10^{-5}$	$0,8 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-5}$	$0,4 \times 10^{-5}$

On peut donc conclure que jusqu'à 1,50 m de profondeur (niveau des drains) le profil a une perméabilité de moyenne à bonne, qui ne gêne pas l'écoulement vertical de l'excès d'eau vers la nappe. A partir de 1,50 m et jusqu'à 3,50 m environ la perméabilité est bonne, permettant l'écoulement horizontal vers les drains avec relativement peu de charge. L'espacement qui a été choisi égal à 40 m comme nous l'avons déjà dit, aurait pu être de l'ordre de 80 m à 100 m, comme dans le reste de la station.

La figure II.C-f30 montre l'évolution de la nappe au cours de l'été 1966 pour des piezomètres placés à mi-distance des drains. La nappe remonte lors des irrigations, ensuite elle s'abaisse rapidement jusqu'au niveau des drains et descend légèrement au-dessous de ce niveau. Après l'arrêt des irrigations au cours des mois d'Août et de Septembre, la nappe s'abaisse nettement au-dessous du niveau des drains. Ce phénomène peut être attribué d'une part à l'action drainante du fossé collecteur et d'autre part à la remontée capillaire.

Utilisant les valeurs K et D, déterminées comme indiqué ci-dessus, connaissant la distance entre le fossé et l'autre extrémité de la parcelle (120 m) ainsi que la différence entre la profondeur de la nappe et la ligne d'eau du fossé (environ 20 cm) on peut calculer la quantité, qui se draine vers le fossé à partir du moment où les drains se sont arrêtés de couler. Elle serait d'environ 25 mm par an (0,1 mm/j sur 250 j).

L'abaissement quotidien de la nappe au-dessous du niveau des drains est de 1 cm entre les irrigations d'été. La porosité utile étant de 0,04, ceci correspond à 0,4 mm/j d'eau soutirée. Compte tenu d'une évacuation vers le fossé collecteur de 0,1 mm/j, la remontée capillaire serait de 0,3 mm/j en été à partir du troisième ou quatrième jour suivant l'irrigation. En hiver elle serait de 0 à 0,2 mm/j.

(2) Tozeur

A la station de Helba en aval de l'oasis de Tozeur, en bordure du chott, la nappe se trouvait à 0,5 - 1 m de profondeur. Un drain d'interception a été nécessaire du fait de la situation de la station. Comme à Cherfech un espacement de 40 m a été choisi pour des raisons expérimentales. A l'aide de la relation trouvée entre le débit  $s$  et la charge  $\Delta h$  ainsi que de l'analyse du profil de la nappe entre les drains, nous avons calculé la perméabilité. Elle est de l'ordre de 2 m/j jusqu'à 20 à 30 m de profondeur.

Le palmier Deglat exige au moins 1,20 m de sol sain. Pour une profondeur de drains de 1,60 m la charge  $\Delta h$  devient donc 0,4 m. Le débit à évacuer  $s$  est de l'ordre de 1,5 mm/j en été lors des irrigations de pointe (un excès d'eau de 15 mm sur un apport de 75 mm tous les 10 jours). L'espacement des drains pourrait donc être de l'ordre de 200 m.

En effet nous avons constaté que les drains à ciel ouvert, espacés de 40 m, ne fonctionnent que très peu de temps et que la plupart des eaux de drainage est évacuée vers le chott soit par les collecteurs, espacés de 200 m, soit directement. Quand la perméabilité est bonne sur une profondeur importante, l'espacement peut être grand et il devient possible d'adopter celui qui convient le mieux aux dimensions des parcelles.

La figure II.C-f32 montre l'évolution de la nappe au cours de l'année 1967. Pendant l'hiver la nappe monte au-dessus des drains qui coulent après irrigation. Au cours du printemps le niveau général de la nappe dans l'oasis descend et, tout en réagissant aux irrigations, il ne remonte plus au-dessus de celui des drains. En automne une remontée se produit et les drains coulent de nouveau lors des irrigations.

Les fluctuations de la nappe en été (au-dessous du niveau des drains) indiquent une percolation à la suite des irrigations. La quantité d'eau transitant sous les drains vers les collecteurs et le chott peut être évaluée en convertissant les remontées apparentes en mm d'eau à l'aide de la porosité utile (le volume des pores, qui se remplissent et se vident lors de la fluctuation de la nappe).

Au niveau des drains, à partir de leurs débits et des fluctuations de la nappe lors des irrigations d'hiver, on a pu calculer une porosité utile, qui doit être voisine de celle qui nous intéresse ici, compte tenu du profil. La porosité utile serait de l'ordre de 6 à 10 %, valeur indiquée également par la relation  $pF$  - humidité.

En utilisant une valeur intermédiaire de 8 % nous avons calculé sur les quatre années 1965-1968 la valeur moyenne de la quantité d'eau drainée :

Années de référence	Apport d'eau en mm	Quantité d'eau drainée en mm		
		par les drains	transitant hors des drains	Total
1965-1968	2122	74	314	388

La quantité totale d'eau drainée serait donc environ 18 % de l'apport annuel, variant au cours de l'année à peu près entre 15 et 20 %. La quantité transitant par les drains n'est que 20 % de la quantité totale drainée, calculée sur toute l'année, et environ un tiers pour les six mois de Novembre à Mai.

En admettant des valeurs de 6 % ou de 10 % pour la porosité utile la quantité drainée varierait en plus ou moins de 75 mm. Des différences pareilles sont assez importantes pour le calcul du bilan des sels, car on intègre une série des années. Mais elles le sont relativement peu pour le calcul de la consommation, étant donné que l'apport d'eau représente le terme le plus important dans le bilan hydrique et que la quantité d'eau drainée est relativement faible devant l'apport d'eau. Ceci peut s'illustrer par l'exemple suivant pour la période d'été (Juillet-Septembre des années 1965 - 1968) où les drains n'ont jamais coulé :

Porosité utile en %	6	8	10
Apport brut en mm	663	663	663
Quantité drainée en mm	67,5	90	112,5
Apport net en mm	595,5	573	550,5
Consommation en mm/j	6,6	6,4	6,1

Abstraction faite d'une éventuelle variation du taux d'humidité du sol, la consommation ne varie que de 6,1 à 6,6 mm/j, soit une différence de 8 % de la moyenne, alors que la quantité d'eau drainée varie de 67,5 à 112,5 mm, soit une différence de 50 % de la moyenne.



III. REVUE DES RESULTATS ET SYNTHESE  
GENERALE



Après l'exposé détaillé des moyens et de méthodes de travail dans le chapitre I et des résultats des recherches dans le chapitre II il est utile de présenter un aperçu d'ensemble des résultats et une synthèse générale.

En utilisant des eaux saumâtres pour l'irrigation les problèmes essentiels peuvent se résumer ainsi :

- éviter la dégradation et la stérilisation du sol par un excès de sels, ce qui implique la maîtrise de la salinité et de l'alcalisation.
- obtenir des rendements convenables, ce qui nécessite la connaissance de la réaction des cultures à la salure et de celle à l'apport d'eau.
- aménager le terrain de façon que les conditions préalables pour la réussite de l'opération soient remplies, à savoir un apport d'eau correct et aussi homogène que possible et une évacuation de l'eau de lessivage par le drainage.

A. REVUE DES RESULTATS

1. MAITRISE DE LA SALINITE ET DE L'ALCALISATION

a. L'examen du rôle des différents facteurs agissant sur la salure a été fait sur des terrains soumis à des régimes d'irrigation variés mais ne s'écartant que raisonnablement de la pratique ; ceci explique peut-être que certains facteurs n'aient pas marqué, la plage de variation était relativement étroite afin de respecter l'esprit du projet et de ne pas faire des essais à caractère purement théorique.

Après une période de l'ordre de quatre années, la salure semble se stabiliser en quantité et en qualité (composition chimique) et cet état est le reflet de l'eau utilisée. Compte tenu de ce qui a été dit plus haut, doses et fréquences n'ont guère marqué. Le mode d'irrigation a une incidence par suite du modelage du sol qu'il implique mais les rotations culturales normalement pratiquées rendent cet effet temporaire.

Une parcelle de quatre hectares, spécialement équipée, a été soumise depuis 1964 à un régime d'irrigation excédentaire ; de très nombreuses analyses ont permis de suivre l'évolution de la salinité ainsi que la répartition de la salure dans le volume sous observation.

Dans le même esprit il a été démontré que l'on peut tirer parti des pluies hivernales, à condition que le sol ait atteint une humidité suffisante au moment où commencent les précipitations "lessivantes".

b. L'alcalisation a donné lieu à moins d'études que la salinité car, en Tunisie, elle n'est ni fréquente ni grave, tout au moins dans les périmètres irrigués existants ou projetés vu la valeur favorable du rapport  $Ca^{++}/Na^{+}$  dans la plupart des sols et des eaux utilisées ; elle est jugulée si l'on réduit la salure étant donné les liens entre ces deux phénomènes. Un cas de désalcalisation a été suivi, les résultats en sont exposés.

## 2. REACTION DES CULTURES

a. Au moyen d'une gamme de quatre qualités d'eau, différentes cultures ont été réalisées du semis à la récolte. Les baisses de rendement se sont manifestées d'autant plus que la salinité de l'eau était plus forte. La salure de l'eau d'irrigation influe surtout les cultures d'été alors que les cultures d'hiver sont en outre fortement dépendantes de la salure du sol à l'automne et de la pluviosité. L'eau de la Medjerdah est utilisable ; l'essai vise plus particulièrement à fournir des informations sur un plan de retenu et d'emploi annuel des eaux puisque les salures des rivières varient selon les saisons.

Lors de ces essais, le rôle des conditions de levée et de germination est apparu comme déterminant ; le projet a mis en évidence qu'on a peut-être souvent tendance à sous-estimer ce "goulot d'étranglement". La levée est un point encore plus délicat que la germination et son bon déroulement met en cause non seulement la qualité de l'eau mais aussi l'état de surface des terres, partiellement liée à la méthode d'irrigation (finition de la surface, croûtage...).

De brusques troubles de croissance s'étant manifestés sur luzerne à la suite de certains apports d'eau, il est apparu que ces accidents étaient provoqués par des asphyxies passagères et une sulfato-réduction rhizosphérique a été discernée. Il s'agit là d'une étude originale qui a sans doute un domaine d'application plus étendu qu'on ne le prévoyait en commençant.

La qualité de l'eau agit sur la composition minérale du végétal et cette action est encore plus nette lorsque l'aspersion est pratiquée. Cela peut conduire à une grave perturbation du métabolisme de la plante et à son "intoxication". Il faut sans doute voir là la cause de certains échecs en emploi d'aspersion. Toutefois d'après ces études, cette technique ne paraît pas systématiquement inemployable.

b. La détermination de la consommation d'eau n'était, en raison de sa généralité, qu'à titre accessoire au programme : elle y était cependant nécessaire pour fixer les quantités d'eau provoquant un drainage, en outre elle devait permettre de préciser certains besoins afin d'orienter ultérieurement les plans d'emploi des eaux disponibles.

C'est la méthode du bilan hydrique qui a été adoptée. Dans les zones fortement filtrantes et à drainage naturel la "consommation brute", somme de l'évapotranspiration et de la quantité d'eau drainée, a été calculée. Dans les zones à drainage artificiel il a été possible de calculer la "consommation nette" ou évapotranspiration, la parcelle "Bilan" étant spécialement équipée pour les mesures de débit des réseaux d'irrigation et de drainage.

Les valeurs obtenues pour la consommation sont utiles pour la Tunisie si on les considère dans leur détail mais ne présentent pas dans leur ensemble un intérêt international car on retrouve les valeurs classiques observées dans les zones semi-arides (moyenne estivale mensuelle 7 à 8 mm/j.

En revanche de fortes discordances sont apparues en été entre les résultats obtenus au champ et sur lysimètre, la consommation sur ce dernier étant 1,5 à 2 fois plus forte que celle au champ.

Ceci mettait en cause la valeur des informations obtenues sur bac, car on risque d'adopter pour les périodes les plus difficiles à franchir en ce qui concerne le réseau, des chiffres peut-être systématiquement trop élevés.

Des études détaillées étaient nécessaires, la méthode du bilan d'énergie a été utilisée pour ces recherches. Il en est ressorti, que d'une part la résistance stomatique augmente moins sur lysimètre qu'au champ, ce qui reflète une meilleure alimentation en eau à partir du sol, en raison d'une réserve hydrique plus importante et d'un meilleur développement du système racinaire sur lysimètre ; d'autre part la résistance de la couche laminaire est plus faible sur lysimètre qu'au champ, à cause d'une vitesse du vent plus grande par un effet de bordure.

c. Vu les objectifs du projet, une série de cultures a été pratiquée, le choix des spéculations a été dicté par le réalisme et il a été tenu compte notamment de la vocation naturelle de la région d'implantation de la station (Medjerdah, Centre, Oasis, Zone côtière...). C'est avec ces remarques présentes à l'esprit qu'il faut aborder l'étude systématique présentée en II.B.3.

Des conclusions qui portent plus spécialement sur l'ensemble des dix cultures méthodiquement suivies ont été données en II.B.3.c. Il faut essentiellement en retenir que l'agronome peut utiliser les eaux salées disponibles pour l'irrigation en Tunisie, mais évidemment il doit prendre plus de précautions et accepter des rendements moins élevés que dans des cas normaux.

La salinité - et encore une fois il faut préciser "telle qu'elle se présente dans les périmètres irrigués de Tunisie" - est un obstacle surmontable. Son effet défavorable sur la végétation ne peut pas être totalement éliminé aussi, par rapport à un cas normal, les plantes sont-elles plus sensibles à l'asphyxie même très temporaire plus fragiles pendant leurs périodes critiques, plus sujettes à un déséquilibre hydrique lors des "surcharges climatiques".

Une bonne préparation des sols rend la levée moins aléatoire ; d'une façon générale il ne faut pas perdre de vue que l'on a affaire à des sols difficiles.

### 3. AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DU TERRAIN

"L'eau doit passer partout et ne séjourner nulle part", ce proverbe prend toute sa valeur quand les risques de salinisation exigent un soin particulier dans le travail.

a. Les essais d'irrigation ont principalement porté sur les méthodes de surface : planches et billons, en y adjoignant les "corrugations".

C'est en terrain léger, en Tunisie Centrale, que le problème était le plus délicat et qu'il était aussi le plus urgent de l'examiner afin de pouvoir réduire les apports sur terre filtrante. Des règles d'usage ont pu être dégagées relativement aux pentes à employer, aux débits à utiliser par mètre de largeur ou par raie afin d'obtenir une bonne répartition sans perte en colature et de travailler avec une haute efficacité. En revanche, une fois de plus, il est apparu clairement que par les méthodes de surface, malgré toutes les précautions, on ne peut pas donner des doses très faibles par intervention.

Déjà des publications ont été faites pour vulgariser les procédés de surfaçage qui n'ont pas été reproduites ici où l'on s'est contenté de résumer les renseignements qui permettent de prévoir les résultats escomptables en observant certaines règles. Retenons qu'il est très possible de bien travailler sur des longueurs de l'ordre de 100 m en sol léger et que le problème est moins difficile en sol lourd (cas de la Basse Vallée de la Medjerdah) : les parcelles peuvent y être plus longues.

Le rapport s'attache surtout à présenter la méthodologie. Afin de réduire les apports d'eau, il a fallu se pencher sur la période suivant les semis qui donne lieu à un gaspillage d'eau. On en est venu à envisager l'aspersion, en dépit des échecs mentionnés jusqu'alors et cette technique s'est révélée utilisable, sous certaines réserves, avec des eaux titrant jusqu'à 4 g/l de sel.

Outre les restrictions d'emploi d'ordre générale : ne pas arroser aux heures de vent fort, ce qui pour la Tunisie est un handicap notable et aussi éviter la mise en route ou l'arrêt à des heures de forte chaleur, il faut tenir compte dans le cas des cultures maraîchères et florales de limitations dues à la minéralisation des eaux. Comme l'étude de l'aspersion n'était point prévue initialement elle n'a été que fragmentaire, ainsi est-il difficile d'être affirmatif sinon pour dire qu'il est raisonnable non seulement de ne pas rejeter ce procédé mais encore de poursuivre l'examen de son domaine d'emploi.

b. Les résultats des drainages confirment la théorie, ils sont fort intéressants car ils ont été obtenus surtout dans deux conditions assez typiques : d'une part en Basse Vallée de la Medjerdah, en sol lourd, dans une zone où le problème se présente de façon assez homogène, d'autre part Tozeur, en queue d'oasis, en bordure du chott dans un terrain extrêmement gypseux.

## B. SYNTHESE GENERALE

Si la fertilité d'un sol peut être définie comme l'aptitude à donner des récoltes, la question à laquelle le Projet devait répondre peut être énoncée ainsi : dans quelle mesure est-il possible d'assurer, en zone semi-aride, la fertilité de sols irrigués à l'eau saumâtre ?

Le sujet est multiple et il a fallu le décomposer en deux :

- effet de l'eau salée sur le sol
- croissance et développement des cultures sur un sol arrosé à l'eau salée.

Le premier thème ne met pratiquement en jeu que des réactions physico-chimiques alors que le second inclut en outre des phénomènes biologiques. Il était nécessaire d'élucider le premier point avant d'aborder le second, qui est le but final mais est évidemment plus complexe.

Une précision s'impose afin de bien délimiter le domaine dans lequel les enseignements retirés sont valables. Les informations recueillies seront pour la plupart utilisables ailleurs, mais des réserves doivent être faites lors de leur transposition. Le domaine de travail a été la Tunisie et plus précisément les parcelles choisies comme représentatives ; les eaux y ont souvent une minéralisation posant un problème, mais en revanche trois caractéristiques sont éminemment favorables :

- la teneur en sodium dans les sols est généralement faible par rapport à celle en calcium
- les eaux utilisées ont pour la plupart, compte tenu de leur salure, une teneur en sodium relativement basse.
- la hauteur de précipitation est assez importante pour une zone semi-aride et surtout les chutes sont groupées et ont une intensité forte : les orages de 40 à 50 mm sont fréquents chaque année.

Tout ce qui suit doit être lu avec ces remarques présentes à l'esprit.

Des études accomplies il se dégage quant au premier thème que la salinité et l'alcalinité, risques inhérents à l'emploi d'eau salée, peuvent être jugulées.

La salinité de l'eau ne constitue qu'une contrainte, lourde il est vrai, sans être toutefois un obstacle infranchissable ou la source d'un danger croissant inexorablement.

L'alcalisation ayant, pour des raisons déjà exposées, été considérée comme provenant de la salinité n'a pas été discutée dans cette revue.

Il s'est avéré en effet que :

- la salinité du sol a une action défavorable et plus elle croît plus la fertilité baisse, mais il n'est pas apparu de discontinuité dans la relation.
- la salinisation n'est pas un phénomène irréversible et il est même assez facile, à condition évidemment que l'aménagement de base soit prévu à cet effet, de faire baisser la salure du sol.

Ainsi il n'y a pas lieu de s'inquiéter outre mesure de la salinité tant qu'on peut la surveiller et intervenir : il est même concevable que, dans un plan d'ensemble, on la laisse monter momentanément. En d'autres termes la salinité n'est un danger que dans la mesure où l'on n'est pas équipé, humainement et techniquement, pour lutter préventivement et curativement contre elle.

La lutte préventive met en jeu la qualité des irrigations et du drainage, celui-ci pouvant être naturel ou artificiel. Il faut que l'irrigant sache épandre de façon homogène des quantités d'eau dosées et que l'équipement des périmètres soit conçu pour éviter des apports incontrôlés.

La lutte curative doit pour être efficace intervenir assez tôt et donc il faut pouvoir déceler le danger en temps opportun :

- La détection du danger doit être organisée systématiquement. Des analyses de "dépistage" sont à prévoir. Il est bon non seulement de mesurer la salure mais aussi de détecter les facteurs pouvant l'engendrer, par exemple : remontée de la nappe, sous-irrigation systématique, hétérogénéité des apports etc...
- Le remède est le lessivage ; le problème est de l'effectuer en tirant partie des conditions existantes de façon à utiliser peu d'eau d'irrigation ou tout au moins à ne pas alourdir la demande en période de pointe.

Le lessivage n'est obtenu que si une percolation a lieu, il faut donc que le sol atteigne son point de rétention et qu'ensuite un apport "excédentaire" soit fait.

Un lessivage permanent peut être prévu : à la limite la salure de la solution du sol tendrait vers celle de l'eau. On pouvait craindre qu'une inertie dans les échanges ne vienne invalider la théorie mais les essais ont démontré qu'avec un régime intensif, légèrement excédentaire, la salinité était effectivement jugulée, d'autant mieux que le terrain traité est maintenu humide pour la culture. Cette façon de procéder qui a une efficacité optimale est théoriquement la meilleure, mais elle implique une sur-irrigation même en été, c'est-à-dire une accentuation des pointes estivales.

Un lessivage annuel, voire même de périodicité plus longue, peut être envisagé puisque un accroissement de la salinité est admissible si l'on accepte une dépression momentanée de la production. Un tel lessivage est fait en automne ou en hiver, il permet d'employer des eaux qui, compte tenu de l'époque, sont inutiles pour l'irrigation. Le même résultat peut être atteint spontanément si survient une pluie suffisamment importante ou une série de pluies assez groupées. Est-il raisonnable de compter sur cette seconde solution ? Le calcul de son espérance mathématique nécessite des relevés climatologiques et la connaissance des caractéristiques du sol à l'égard de l'eau, en particulier la capacité de rétention. Il apparaît ainsi qu'une étude statistique devrait permettre d'évaluer le risque que l'on assume en se fiant aux conditions spontanées pour assurer le lessivage. Une telle étude serait à combiner avec celle sur la réduction de la fertilité en fonction de la salinité de façon à évaluer l'incidence d'une faible fréquence des lessivages.

Il est évident que les solutions sont nombreuses : élimination de tout accroissement notable de la salinité (lessivage permanent), variation saisonnière de cette grandeur (lessivage systématique en hiver) acceptation du risque de la voir monter pendant deux ou plusieurs années consécutives (lessivage par la pluie) etc.. La décision finale n'est plus du domaine du spécialiste en agronomie mais elle entre dans celui de l'économiste.

Le deuxième thème est riche en interactions et il met en cause la fertilité des sols en zone semi-aride où la salinité n'est malheureusement pas le seul facteur limitant.

Les études font apparaître que la salinité ne fait qu'aggraver les difficultés à surmonter et tout particulièrement celles relatives à l'implantation des cultures c'est-à-dire à la germination et la levée. Il semble bien que ce soit là un point essentiel à examiner, il conditionne la production.

Pour les besoins de l'analyse les relations "salure de l'eau - salure du sol" ont été distinguées de celles "salure du sol - production". En fait les techniques culturales ont une influence sur la salinisation du sol : pour une qualité d'eau donnée, l'évolution dépend de la préparation des terres, de la rotation des cultures billonnées et des cultures à plat....

Du plan d'assolement et des objectifs de production dépendent l'importance relative des pointes de demande sur le réseau et aussi la possibilité, grâce à des économies faites à bon escient, de disposer d'eaux pour les lessivages. Il s'agit donc d'un problème d'optimisation.

### C. RECOMMANDATIONS

Ce projet essentiellement tunisien a cependant une portée générale non négligeable : il a fourni des éléments utilisables tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des frontières de la Tunisie, bien qu'évidemment ce ne soient pas exactement les mêmes enseignements qu'il faille retenir dans les deux cas.

#### 1. ELEMENTS A RETENIR POUR LA TUNISIE

Les résultats substantiels déjà acquis permettent de préciser les thèmes principaux des travaux à venir. Il semble que trois directions puissent être utilisées pour classer les activités souhaitables :

- a. Recherches faisant suite à celles déjà effectuées, qu'elles en soient le prolongement ou qu'elles en soient l'extension.
- b. Etudes économiques.
- c. Formation et information.

#### a. RECHERCHES

Les sujets peuvent être regroupés sous quatre rubriques :

- (i) La préoccupation majeure doit être l'examen précis des limites tolérables dans l'économie d'eau. Il sera nécessaire d'accroître les études entreprises dans cette direction. En effet au début des travaux exposés dans ce rapport, une politique d'extrême prudence a été de règle, puis il est apparu que des restrictions dans les apports d'eau étaient possibles sans que des accidents se manifestent tout au moins à court terme. Il est indispensable de conserver un réflexe de prudence mais il faut en même temps faire des tentatives rationnelles pour tirer le meilleur parti des ressources en eau, vu leur faible importance. L'établissement de règles de gestion agronomique comportant un approvisionnement hydrique réduit doit être précédé par une stricte expérimentation sur une durée assez longue si l'on veut garantir la sécurité.
- (ii) La place qui doit revenir à l'arboriculture fruitière dans les périmètres irrigués est à préciser. C'est une question difficile et délicate à approfondir vu la durée des expériences. Des essais ont été mis en place mais ils n'ont point encore fourni de résultats exploitables.
- (iii) Jusqu'à maintenant la fumure a été choisie, compte tenu de l'expérience générale, de façon à ne pas être à priori un facteur limitant, mais ce n'est pas dire qu'elle soit optimale. Une étude est à entreprendre dans ce domaine.

- (iv) Le rôle de la structure du sol s'est manifesté de façon frappante dans les présentes recherches ; l'un des grands avantages de ce projet a été d'éviter l'attribution à la salinité de certains accidents dus à des causes diverses et en particulier à la mauvaise structure du sol. Il serait opportun de reprendre les modestes expériences faites durant le projet et de monter une véritable expérimentation sur ce thème.

Les moyens en laboratoires, terrains et documentation peuvent permettre d'aborder ces sujets dans un esprit de "recherche appliquée" étant entendu que des liaisons, avec la recherche fondamentale notamment, demeurent indispensables.

#### b. ETUDES ECONOMIQUES

Une meilleure connaissance des difficultés techniques que soulèvent la salinité et la rareté des eaux disponibles est une base de départ pour des études d'ensemble sur la valorisation des ressources naturelles. Un examen économique intégrant la contrainte "salinité" parmi les diverses données d'origine agronomique et humaine sera désormais plus fructueux.

#### c. FORMATION ET INFORMATION

L'action entreprise dans ce domaine doit être poursuivie. Toute culture irriguée requiert une bonne technicité et une surveillance continue, ceci est encore plus vrai lorsque le danger de la salinité est sous-jacent.

La formation et la diffusion de directives concrètes sont indispensables et revêtent une importance primordiale au niveau de l'exécution, c'est-à-dire des responsables sur le terrain. C'est, pour une très grande part de la réalisation judicieuse des tâches quotidiennes que dépend la pérennité du succès d'un périmètre.

## 2. ENSEIGNEMENTS AU NIVEAU INTERNATIONAL

Les leçons qu'il faut retenir de ce projet peuvent être examinées d'une part sous un aspect technique et scientifique, d'autre part sous l'angle de la méthodologie.

#### a. ASPECT SCIENTIFIQUE

Les résultats acquis sont transposables mais sous réserve d'ajustement. Il ne faut pas dissocier les conclusions et le cadre dans lequel elles ont été obtenues et il faut insister sur ces notions de prudence et de rigueur scientifiques. Il a été signalé, à plusieurs reprises, que

le projet n'a porté que sur certaines parcelles, représentatives il est vrai des problèmes économiquement majeurs quant à la salinité en Tunisie.

La variété des eaux et des terres objet des travaux, autorise à espérer que des transpositions seront relativement faciles ce qui ne saurait être synonyme de généralisation abusive.

#### b. ASPECT METHODOLOGIQUE

L'exécution de ce projet s'est déroulée pendant sept années conformément aux prévisions et les résultats acquis sont assez copieux. Ceci tient sans aucun doute au fait que le projet avait un objectif précis, délimité clairement par le Gouvernement tunisien : une série d'études rationnelles devaient permettre "de formuler, dans des conditions culturelles du pays, les règles d'utilisation de l'eau saumâtre en irrigation". Ce thème a servi de ralliement et a facilité la naissance d'un esprit d'équipe entre ingénieurs, techniciens tunisiens et experts, ou consultants d'autant plus qu'une bonne continuité d'action a été possible, tant du côté international que du côté national.

De nombreux consultants ont pu, grâce à cette unité d'action, venir apporter leur collaboration et introduire des notions originales sans qu'il résulte de cet apport une dispersion préjudiciable à l'efficacité.

Le Comité Consultatif Scientifique et Technique a parachevé l'entreprise : au cours de ses réunions annuelles il a aussi bien assuré des révisions périodiques offrant l'occasion de mise au point que remis en lumière des jalons devant permettre de remplir réellement la tâche assignée dans la requête initiale du projet, formulée environ neuf années auparavant.



Tableaux I.A - t 1 à I.A - t I2

Tableaux II.A - t 20 à II.A - t 27

Tableaux II.B - t 16 à II.B - t 28



Tableau I.A-t1 : Caractéristiques chimiques du sol - Station de Cherfech

Profondeur cm		0-20	20-40	40-80	80-120	120-150	
pH - pâte sat.		7,8	7,8	7,8	7,6	7,8	
CaCO <sub>3</sub> total ‰		46	45	45	45	44	
CaCO <sub>3</sub> actif ‰		17,0	17,3	15,8	11,3	13,0	
CaSO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O ‰ *		trace	trace	trace	trace	trace	
C ‰		1,23					
N ‰		0,13					
Mat. org. ‰		2,1					
Rapport C/N		9,5					
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25°C		1,1	1,7	4,8	9,3	9,8	
SP ‰		58	59	56	50	52	
Composition de l'extrait saturé mé/l	Cl <sup>-</sup>	3,9	6,6	24,7	59,9	64,3	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,8	7,6	29,9	48,7	50,9	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,9	3,7	2,3	1,7	1,6	
	Ca <sup>++</sup>	4,4	5,3	17,5	31,4	33,0	
	Mg <sup>++</sup>	1,1	1,6	7,5	19,6	21,7	
	K <sup>+</sup>	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	
	Na <sup>+</sup>	6,3	10,3	31,4	61,7	64,6	
Comple- xe ab- sorbant	me/ 100g sol	Mg <sup>++</sup>	1,8	2,4	2,6	2,5	2,7
		K <sup>+</sup>	1,2	0,9	0,5	0,4	0,5
		Na <sup>+</sup>	0,6	1,1	1,5	1,8	2,1
		T	19,3	18,2	15,4	13,4	15,8
	‰	Na/T	3,1	6,0	9,7	15,4	13,3

\* trace : quantité de gypse inférieure à 1 ‰

Tableau I.A-t<sup>2</sup> : Caractéristiques chimiques du sol - Parcelle de Messaoudia

Profondeur cm	DF <sub>1</sub> et DF <sub>2</sub>			DL			
	0-20	20-40	40-80	0-20	20-40	40-80	
pH pâte sat.	7,8	7,9	7,8	7,8	7,9	7,9	
CaCO <sub>3</sub> total %	33	35	36	34	32	35	
CaCO <sub>3</sub> actif %	15,0	16,0	15,5	16,0	18,5	16,5	
CaSO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O % *	trace	trace	trace	trace	trace	trace	
C %	0,89			0,87			
N %	0,08			0,07			
Mat. org. %	1,6			1,5			
Rapport C/N	11,1			12,4			
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25°C	4,7	5,8	7,0	7,4	7,3	8,1	
SP %	54	55	54	56	60	53	
Composition de l'extrait saturé mé/1	Cl <sup>-</sup>	19,7	25,6	38,2	38,6	36,4	46,2
	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	31,7	40,7	42,9	49,7	50,6	50,6
	HCO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	3,6	2,8	2,6	2,3	2,0	1,9
	Ca <sup>++</sup>	22,2	28,8	33,7	34,5	33,8	37,1
	Mg <sup>++</sup>	5,4	6,4	9,2	10,9	10,6	10,5
	K <sup>+</sup>	1,2	0,3	0,3	1,1	0,5	0,3
	Na <sup>+</sup>	27,6	35,5	42,2	47,5	47,6	50,4
Complexe absolu sorbant %	me/100g Na <sup>+</sup>	1,8	2,2	2,0			
	T	25,0	24,3	20,6			
	Na/T	7,3	9,1	9,2			

\* trace : quantité de gypse inférieure à 1 %.

Tableau I.A-t3 : Caractéristiques chimiques du sol - Station de Nakta

Profondeur cm	DF <sub>1</sub> et DF <sub>2</sub>			DF <sub>3</sub>			DL			
	0-20	20-40	40-80	0-20	20-40	40-80	0-20	20-40	40-80	
pH - pâte sat.	7,7	7,9	7,9	7,6	7,7	7,9	7,8	7,8	8,0	
Ca CO <sub>3</sub> total %	9	9	11	9	9	11	8	8	12	
Ca CO <sub>3</sub> actif %	4,5	4,0	6,0	4,5	5,0	5,0	4,0	3,5	6,5	
Ca SO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O % *	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	
C %	0,66			0,75			0,63			
N %	0,06			0,06			0,06			
Mat. Org. %	1,1			1,3			1,1			
Rapport C/N	11,0			12,5			10,5			
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25°C	4,9	4,2	4,5	8,1	6,2	4,4	8,5	7,2	6,2	
SP %	39	39	43	40	41	39	39	39	42	
Composition de l'extrait saturé mé/l.	Cl <sup>-</sup>	26,4	23,1	19,8	52,9	40,9	26,2	53,5	46,9	35,8
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	21,1	20,6	27,4	35,1	21,9	16,3	42,4	28,7	33,4
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,2	4,8	2,9	6,2	4,2	3,0	4,6	3,4	2,3
	Ca <sup>++</sup>	12,6	10,0	13,8	21,0	17,2	11,1	25,2	20,5	18,4
	Mg <sup>++</sup>	6,0	4,2	4,2	12,9	8,9	9,2	12,7	8,8	7,3
	K <sup>+</sup>	0,6	0,4	0,3	0,9	0,6	0,3	0,7	0,5	0,2
	Na <sup>+</sup>	35,5	31,4	33,0	60,1	42,9	31,9	61,0	51,0	45,4
Complexe absolu me/100g sorbant	Na <sup>+</sup>	1,3	1,3	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,5	1,9
	T	12,2	12,1	15,3	13,0	14,1	13,8	14,4	14,6	17,8
	Na/T	10,6	11,0	11,6	13,5	11,7	11,7	10,8	10,5	10,4

\* trace : quantité de gypse inférieure à 1 %

Tableau I.A-t4 : Caractéristiques chimiques du sol - Station de Ksar Ghériss

Couche *		1	2	3	4
pH - pâte sat.		8,1	8,1	8,1	8,2
CaCO <sub>3</sub> total ‰		5	7	15	20
CaCO <sub>3</sub> actif ‰		2,0	3,5	7,5	9,5
CaSO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O ‰ **		trace	trace	trace	trace
C ‰		0,19			
N ‰		0,02			
Mat. org. ‰		0,3			
Rapport C/N		9,5			
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25°C		0,6	0,7	0,7	0,7
SP ‰		23	24	27	29
Composition de l'extrait de saturation mé/l	Cl <sup>-</sup>	1,8	1,5	1,8	1,9
	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	3,7	3,4	3,8	4,8
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,9	3,9	3,7	3,4
	Ca <sup>++</sup>	3,5	4,4	4,3	4,3
	Mg <sup>++</sup>	0,6	0,7	0,9	0,9
	K <sup>+</sup>	0,6	0,4	0,2	0,1
	Na <sup>+</sup>	1,5	1,5	1,7	2,0
Complexe absolu mé/100g sorbant	Mg <sup>++</sup>	0,5	0,0	0,3	
	K <sup>+</sup>	0,3	0,3	0,2	
	Na <sup>+</sup>	0,08	0,08	0,08	
	T	4,9	4,7	5,5	
‰	Na/T	1,6	1,7	1,5	

\* couche n° 1 :  
0-20 cm  
couche n° 2 :  
de 20 cm à l'horizon à nodules calcaires  
couche n° 3 :  
dans l'horizon à nodules, les 10 premiers cm  
couche n° 4 :  
dans l'horizon à nodules, 20 cm au-dessous du début de cet horizon

\*\* trace : quantité de gypse inférieure à 1 ‰.

Tableau I.A-t5 : Caractéristiques chimiques du sol - Parcelle de Tozeur

Parcelle		A					B				
Couche		0-20	20-40	40-80	80-120	120-150	0-20	20-40	40-80	80-120	120-150
pH - pâte sat.		7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0	7,9	7,9	7,9	7,9
CaCO <sub>3</sub> total %		12	11	11	10	7	8	7	9	9	6
CaSO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O %		54	58	56	58	63	53	56	54	57	65
C %		0,78					0,63				
N %		0,06					0,04				
Mat. org. %		1,3					1,1				
Rapport C/N		13,0					15,7				
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25°C		25,8	26,1	21,7	15,1	12,6	53,8	38,5	21,4	19,4	13,2
SP %		39	37	36	34	33	36	35	33	34	32
Composition de l'extrait de saturation en mé/l	Cl <sup>-</sup>	222,0	237,0	183,0	112,6	89,1	551,2	364,2	172,3	147,7	94,2
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	98,0	89,2	83,0	71,0	63,9	222,2	136,0	88,0	88,6	66,6
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,3	2,1	2,1	2,0	1,8	2,4	2,2	2,3	2,2	2,1
	Ca <sup>++</sup>	43,6	48,2	47,3	41,6	39,7	45,7	48,3	44,0	42,9	40,2
	Mg <sup>++</sup>	55,2	41,0	31,5	21,1	16,1	158,9	81,9	35,6	35,6	21,8
	K <sup>+</sup>	9,3	9,4	7,3	5,6	5,0	19,2	14,3	8,6	8,1	5,9
	Na <sup>+</sup>	221,4	225,5	195,4	113,4	85,7	545,7	363,9	176,5	154,3	97,3

Tableau I.A-t5 (Suite)

Parcelle C						
Couche	0-20	20-40	40-80	80-120	120-150	
pH - pâte sat.	8,0	7,9	7,9	7,9	7,9	
CaCO <sub>3</sub> total %	4	3	7	6	2	
CaSO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O %	54	54	49	53	75	
C %	0,51					
N %	0,03					
Mat. org. %	0,9					
Rapport C/N	17,0					
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25° C	55,3	38,7	22,8	17,0	10,9	
SP %	35	36	35	35	31	
Composition de l'extrait de saturation en mé/l	Cl <sup>-</sup>	611,5	368,7	183,2	123,3	72,5
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	204,2	135,7	95,7	82,8	61,4
	HCO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	2,5	1,7	1,8	2,1	1,8
	Ca <sup>++</sup>	48,7	46,0	42,9	39,2	40,2
	Mg <sup>++</sup>	146,9	81,0	46,4	34,5	15,7
	K <sup>+</sup>	23,7	16,7	8,9	7,4	5,2
	Na <sup>+</sup>	552,6	359,1	179,8	128,1	76,5

Tableau I.A-t6 : Caractéristiques chimiques du sol - Parcelle d'Utique

Partie avec végétation							
Couche	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100	
pH - pâte sat.	7,6	7,7	7,7	7,8	7,7	7,6	
CaCO <sub>3</sub> total %	39	41	42	42	41	41	
CaCO <sub>3</sub> actif %	14,5	11,0	10,0	8,5	8,0	10,5	
CaSO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O % *	trace	trace	trace	trace	trace	trace	
C %	1,15						
N %	0,10						
Mat. org. %	2,0						
Rapport C/N	11,5						
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25° C	6,4	7,5	10,0	10,4	11,4	17,3	
SP %	52	51	46	42	43	45	
Composition de l'extrait de saturation en mé/l	Cl <sup>-</sup>	54,8	65,6	94,1	99,8	120,9	173,0
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	15,5	16,7	17,5	18,4	20,9	23,8
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,4	2,5	2,1	1,9	1,6	1,4
	Ca <sup>++</sup>	27,4	26,9	34,2	34,7	39,6	54,4
	Mg <sup>++</sup>	11,8	13,5	16,1	16,6	20,5	32,7
	K <sup>+</sup>	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
	Na <sup>+</sup>	35,1	44,6	64,3	67,7	81,7	111,9

\* trace : quantité de gypse inférieure à 1 %

Tableau I.A-t6 (Suite)

Partie sans végétation							
Couche	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100	
pH - pâte sat.	7,4	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5	
CaCO <sub>3</sub> total %	39	39	41	42	41	41	
CaCO <sub>3</sub> actif %	13,5	11,5	9,5	7,0	6,0	7,0	
CaSO <sub>4</sub> - 2H <sub>2</sub> O % *	trace	trace	trace	trace	trace	trace	
C %	1,00						
N %	0,08						
Mat. org. %	1,7						
Rapport C/N	12,5						
EC <sub>e</sub> en mmho/cm 25°C	39,1	37,2	35,6	30,5	28,6	30,2	
SP %	51	49	46	44	40	43	
Composition de l'extrait de saturation en mé/l	Cl <sup>-</sup>	473,4	442,2	398,3	334,2	306,1	324,6
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	31,5	25,0	28,4	27,6	30,6	34,1
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,6	1,7	1,4	1,4	1,3	1,2
	Ca <sup>++</sup>	172,9	179,3	130,1	108,1	100,7	103,5
	Mg <sup>++</sup>	121,6	100,0	85,3	70,2	65,3	70,0
	K <sup>+</sup>	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
	Na <sup>+</sup>	212,7	219,6	215,3	185,8	174,2	190,2

\* trace : quantité de gypse inférieure à 1 %.

Tableau I.A-t7 : Composition des eaux d'irrigation

Origine	EC <sub>25°</sub> mmho/cm	Résidu sec g/l	pH	Anions mé/l			Cations mé/l				SAR
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Ksar Ghériss	4,9	4,0	7,5	20,9	37,9	3,2	18,0	15,5	0,6	29,0	7,1
Tozeur	3,1	2,1	7,7	17,6	13,0	2,4	9,0	6,7	0,6	17,6	6,3
Messaoudia	2,8	2,0	7,6	12,4	14,4	3,8	11,2	3,1	0,5	16,3	6,1
Nakta	5,5	3,8	7,6	36,7	20,8	3,0	13,5	7,5	0,5	37,8	11,7
Zarzis	9,2	6,5	7,9	70,2	32,6	2,1	14,8	6,2	0,8	81,3	24,8
<b>Cherfech</b>											
Eté 64	3,7	2,3		21,6	14,5	2,6	11,0	7,4	0,3	21,7	7,2
Eté 65	3,7	2,5		23,5	13,2	2,7	10,7	6,8	0,2	22,1	7,5
Eté 66	3,3	2,2		20,6	11,9	2,7	9,7	5,2	0,2	20,3	7,4
Eté 67	3,8	2,5		23,4	14,1	2,5	11,9	4,8	0,2	22,9	7,9
Eté 68	3,4	2,2		20,5	12,9	2,1	10,6	4,7	0,2	19,9	7,2
Hiver 64-65	2,9	1,7		16,3	11,9	2,6	10,3	4,8	0,2	16,5	6,0
Hiver 65-66	2,0	1,3		11,5	5,9	3,0	7,0	2,6	0,1	11,3	5,2
Hiver 66-67	2,3	1,6		14,0	8,5	2,7	8,2	3,9	0,1	13,4	5,4
Hiver 67-68	3,1	2,0		19,8	10,6	1,9	9,6	3,7	0,2	19,1	7,4
Hiver 68-69	2,9	1,8		17,5	9,7	2,7	9,3	3,5	0,2	17,1	6,8
Moyenne des étés	3,6	2,3		21,9	13,3	2,5	10,8	5,8	0,2	21,4	7,4
Moyenne des hivers	2,6	1,7		15,8	9,3	2,6	8,9	3,7	0,2	15,5	6,2

Tableau I.A-t8 : Valeurs climatologiques - Station de Cherfech  
(Latitude 36°50' N)

Mois	Humidité relative %			Température °C			Insol. en heures	Vent en m/s
	max.	min.	moyen.	max.	min.	Moyen.		
Janvier	86	64	78	14,4	6,0	9,6	5,1	3,2
Février	88	59	78	16,2	6,0	10,5	5,4	2,9
Mars	88	61	78	17,2	7,0	11,8	5,6	3,0
Avril	86	55	74	20,3	9,2	14,4	7,5	3,2
Mai	87	45	69	25,5	12,2	18,6	9,5	3,3
Juin	86	45	68	28,4	15,7	21,9	9,9	3,3
Juillet	83	39	64	32,4	18,3	25,3	11,5	2,9
Août	83	42	67	32,0	19,2	25,4	10,2	2,9
Septembre	83	47	70	29,4	17,2	22,9	7,8	2,7
Octobre	83	48	71	25,8	14,3	19,6	7,3	2,8
Novembre	82	54	72	20,2	10,8	14,9	5,0	2,9
Décembre	84	63	77	15,4	7,6	11,0	4,2	3,2
Année	85	52	72	23,1	12,0	17,2	7,4	3,0

Tableau I.A-t8 suite : Valeurs climatologiques - Station de Cherfech  
(Latitude 36°50' N)

Mois	Evaporation en mm/j				Hauteur de précipitation en mm		
	Piche	Bac A <sub>1</sub>	Bac A <sub>2</sub>	Penman	moyen.	min.	max.
Janvier	2,6	1,4	1,1	1,1	63,3	30,9	99,0
Février	2,7	2,1	1,5	1,7	67,9	38,7	115,2
Mars	3,0	3,0	2,4	2,6	35,1	14,7	77,5
Avril	4,2	4,3	3,5	3,9	27,7	10,4	39,7
Mai	5,7	6,3	5,1	5,5	22,4	0,4	64,1
Juin	7,5	7,5	5,7	6,4	12,4	0,0	50,4
Juillet	8,0	8,2	6,3	7,4	1,6	0,0	5,2
Août	6,5	7,2	5,7	6,4	19,9	0,0	79,7
Septembre	5,3	5,0	3,8	4,5	28,7	0,0	59,2
Octobre	5,0	3,8	2,8	3,2	54,0	0,3	118,8
Novembre	3,9	2,2	1,7	1,8	48,7	25,4	71,9
Décembre	2,9	1,7	1,4	1,1	54,1	41,5	72,6
Année	4,8	4,4	3,4	3,8	435,8	342,5	546,5

Tableau I.A-t9 : Valeurs climatologiques - Station de Ksar-Ghériiss  
(Latitude 34°39' N)

Mois	Humidité relative %			Température °C			Insol. en heures	Vent en m/s
	max.	min.	moyen.	max.	min.	Moyen.		
Janvier	75	40	60	15,9	5,6	10,3	6,5	3,9
Février	75	34	57	18,4	6,5	12,1	7,1	3,6
Mars	81	35	60	19,3	7,6	13,2	7,1	3,6
Avril	81	32	59	23,0	10,0	16,3	7,7	3,6
Mai	81	27	56	28,0	13,4	20,2	9,8	3,4
Juin	84	30	59	30,9	16,4	23,3	9,5	3,3
Juillet	79	24	53	35,4	19,8	27,4	11,8	3,4
Août	79	25	56	35,1	20,1	27,6	10,4	3,1
Septembre	80	33	61	30,5	18,0	24,1	8,1	2,8
Octobre	80	36	62	26,4	14,9	20,4	7,8	3,0
Novembre	77	37	59	21,1	10,4	15,4	6,8	3,5
Décembre	77	46	64	16,3	6,4	10,8	6,1	4,0
Année	79	33	59	25,0	12,4	18,4	8,2	3,4

Tableau I.A-t9 suite : Valeurs climatologiques - Station de Ksar Ghériss  
(Latitude 34°39' N)

Mois	Evaporation en mm/j				Hauteur de précipitation en mm		
	Piche	Bac A1	Bac A2	Penman	moyen.	min.	max.
Janvier	4,2	3,3	2,4	2,0	18,6	0,0	43,3
Février	4,6	4,2	3,0	2,9	21,4	0,8	73,4
Mars	4,6	5,0	3,9	3,7	11,3	0,0	27,4
Avril	6,0	6,5	5,1	4,6	10,8	0,9	26,5
Mai	7,9	8,4	6,7	6,3	8,1	0,0	18,4
Juin	8,4	9,3	7,6	6,8	3,7	0,0	11,2
Juillet	10,9	11,0	8,9	8,2	0,7	0,0	3,6
Août	8,5	9,7	7,9	7,3	1,9	0,0	8,6
Septembre	6,3	7,3	5,7	5,3	15,6	0,0	50,5
Octobre	5,5	5,1	3,9	3,8	18,6	0,0	38,6
Novembre	5,6	4,0	2,9	2,6	5,6	0,0	15,2
Décembre	4,3	3,1	2,4	1,9	20,3	0,0	64,7
Année	6,4	6,4	5,0	4,6	136,6	108,3	187,8

Tableau I.A-t10 : Valeurs climatologiques - Station de Tozeur  
(Latitude 35°55'N)

Mois	Humidité relative %			Température °C			Insol. en heures	Vent en m/s
	max.	min.	moyen.	max.	min.	Moyen.		
Janvier	83	48	68	15,9	4,6	10,0	7,3	2,4
Février	81	39	61	19,1	6,9	12,9	7,4	2,7
Mars	77	33	56	22,0	9,4	15,6	7,9	3,6
Avril	74	30	52	25,8	12,8	19,3	7,8	4,4
Mai	72	25	47	31,2	17,7	24,3	9,8	4,3
Juin	68	25	47	34,9	21,8	28,5	10,0	4,9
Juillet	65	21	42	39,2	24,4	31,7	11,6	4,2
Août	69	24	47	38,4	24,7	31,3	10,7	4,2
Septembre	71	29	51	32,9	20,8	26,3	8,9	3,5
Octobre	74	32	55	27,7	15,8	21,4	7,9	2,8
Novembre	76	38	59	21,3	10,0	15,2	7,3	2,5
Décembre	83	50	69	15,7	5,1	10,2	6,7	2,5
Année	74	33	54	27,0	14,5	20,5	8,6	3,5

Tableau I.A-t10 suite : Valeurs climatologiques - Station de Tozeur  
(latitude 33°55' N)

Mois	Evaporation en mm/j				Hauteur de précipitation en mm		
	Bac A1 chott	Bac A2 chott	Bac A2 oasis	Penman	moyen.	min.	max.
Janvier	2,4	1,9	1,0	1,5	14,2	0,0	29,6
Février	3,8	3,0	1,9	2,5	7,9	0,0	26,4
Mars	6,0	4,8	3,6	4,3	6,0	0,0	24,1
Avril	8,2	7,0	5,1	5,9	2,3	0,0	9,8
Mai	10,3	9,0	6,8	7,6	15,1	0,0	37,5
Juin	13,1	11,4	8,0	9,3	0,0	0,0	0,0
Juillet	14,1	12,1	8,7	9,9	0,0	0,0	0,0
Août	12,6	11,1	7,5	9,1	0,0	0,0	0,0
Septembre	8,8	7,8	5,2	6,5	22,4	0,0	58,9
Octobre	6,2	5,1	3,1	4,1	4,3	0,0	10,4
Novembre	3,4	3,0	1,7	2,3	7,9	0,0	21,2
Décembre	2,1	1,8	1,0	1,3	10,2	0,0	35,9
Année	7,6	6,5	4,5	5,4	90,3	63,9	142,9

Tableau I.A-t11 : Valeurs climatologiques - Station de Messaoudia  
(Latitude 35°40' N)

Mois	Humidité relative %			Température °C			Insol. en heures	Vent en m/s
	max.	min.	moyen.	max.	min.	moyen.		
Janvier	81	48	66	15,6	5,8	10,7	5,6	2,7
Février	83	48	68	19,0	7,2	13,3	6,2	2,4
Mars	86	49	72	19,9	8,8	14,2	7,6	3,2
Avril	85	43	67	22,3	10,0	16,0	9,1	2,7
Mai	78	34	58	28,3	13,6	20,4	10,4	2,9
Juin	82	36	61	29,2	15,5	22,2	9,9	2,7
Juillet	78	28	53	35,4	18,7	27,2	12,3	2,3
Août	80	31	57	35,1	19,8	27,3	10,7	2,3
Septembre	78	34	59	30,3	17,9	23,8	9,4	2,1
Octobre	78	35	60	26,9	13,8	20,3	9,3	2,2
Novembre	77	41	60	23,5	10,8	17,0	7,3	2,3
Décembre	77	49	65	18,4	8,5	13,4	6,1	2,2
Année	79	40	62	25,3	11,7	18,8	8,7	2,5

Tableau I,A-t11 suite : Valeurs climatologiques - Station de Messaoudia  
(Latitude 35°40' N)

Mois	Evaporation en mm/j			Hauteur de précipitation en mm		
	Piche	Bac A2	Penman	moyenne	min.	max.
Janvier	3,3	1,6	1,5	35,0	24,4	45,5
Février	2,7	2,4	2,4	20,0	0,0	39,9
Mars	3,5	3,4	3,1	37,6	28,0	47,3
Avril	3,9	4,2	4,5	41,9	23,9	60,0
Mai	7,0	6,7	6,1	11,0	0,0	22,0
Juin	6,4	6,5	6,4	28,4	0,0	56,8
Juillet	8,0	8,4	7,8	0,0	0,0	0,0
Août	7,3	8,5	6,9	17,8	0,0	35,5
Septembre	4,5	6,1	5,1	39,3	0,0	78,5
Octobre	4,5	4,7	3,6	6,0	4,0	8,0
Novembre	3,5	2,9	2,2	15,9	0,0	31,8
Décembre	3,6	2,4	1,7	8,3	0,0	16,5
Année	4,8	4,8	4,3	261,2	211,8	310,5

Tableau I.A-t12 : Valeurs climatologiques - Station de Nakta  
(Latitude 34°39' N)

Mois	Humidité relative %			Température °C			Insol. en heures	Vent en m/s
	max.	min.	moyen.	max.	min.	moyen.		
Janvier	80	51	68	16,1	5,6	10,7	6,8	2,3
Février	85	55	73	17,2	7,2	12,5	6,8	2,2
Mars	90	63	79	19,3	10,0	14,7	8,2	2,6
Avril	90	67	81	20,8	12,2	16,7	9,0	2,6
Mai	87	57	75	25,2	14,9	19,8	10,3	2,7
Juin	83	58	74	26,0	17,2	21,8	10,7	2,7
Juillet	94	55	71	30,4	19,8	25,6	12,8	1,9
Août	80	54	69	31,5	21,6	26,9	11,4	2,0
Septembre	76	49	66	29,0	20,3	24,9	9,3	1,8
Octobre	77	50	65	25,8	15,8	21,3	9,3	1,6
Novembre	76	46	64	22,5	12,9	17,3	7,2	2,2
Décembre	79	50	67	17,0	6,3	11,6	6,9	2,3
Année	83	55	71	23,4	13,7	18,7	9,1	2,2

Tableau I.A-t12 suite : Valeurs climatologiques - Station de Nakta  
(Latitude 34°39' N)

Mois	Evaporation en mm/j			Hauteur de précipitation en mm		
	Piche	Bac A2	Penman	moyenne	min.	max.
Janvier	4,0	2,6	1,4	32,5	7,8	57,2
Février	4,4	2,5	2,1	13,1	0,8	25,4
Mars	4,2	3,4	3,3	8,6	8,0	9,2
Avril	4,3	4,4	4,5	17,1	8,8	25,5
Mai	5,0	5,5	5,7	13,6	0,0	27,2
Juin	5,0	6,5	6,4	10,6	0,0	21,1
Juillet	5,4	7,4	7,4	0,0	0,0	0,0
Août	6,5	7,3	6,9	0,0	0,0	0,0
Septembre	5,9	5,3	5,2	22,6	12,3	33,0
Octobre	4,4	4,0	3,5	4,6	0,0	9,3
Novembre	4,7	3,1	2,2	11,3	0,0	22,5
Décembre	4,2	2,4	1,4	13,4	2,0	24,8
Année	4,8	4,5	4,2	147,4	114,5	180,4

Tableau II.A-t20 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
- Station de Cherfech

I. Essai DF<sub>1</sub>

Période	14.5.64	14.10.64	20.4.65	29.9.65	20.4.66	31.8.66	20.4.67	8.9.67	21.3.68
	14.10.64	au 20.4.65	au 29.9.65	au 20.4.66	au 31.8.66	au 20.4.67	au 8.9.67	au 21.3.68	au 21.9.68
Culture	Sorgho fourra-ger	Bersim	Maïs	Ray-grass	Maïs	Ray-grass	Sorgho fourra-ger	Bersim	tomates
Pluie (mm)	112	439	85	364	102	360	33	333	76
Irriga-tion (mm)									
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	768	122	710	315	448	507	753	197	1034
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	820	122	840	395	500	586	929	264	1378
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	876	122	970	476	552	664	1102	330	1721
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	724	122	596	315	448	507	752	197	1042
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	767	122	691	395	500	586	927	264	1387
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	809	122	788	476	552	664	1101	330	1732

II. Essai DF<sub>2</sub>

Période			18.3.65	22.10.65	28.3.66	29.9.66	6.4.67	14.9.67	26.4.68
			au 22.10.65	au 28.3.66	au 29.9.66	au 6.4.67	au 14.9.67	au 26.4.68	au 12.9.68
Culture			Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne Bersim	Tomates	Fèves	Sorgho fourra-ger
Pluie (mm)			140	324	161	285	88	316	62
Irriga-tion (mm)									
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>			1445		988	254	760	219	765
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>			1780		1304	308	966	292	1016
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>			2102		1629	363	1176	364	1268
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>			1442		807	254	760	219	763
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>			1780		1086	308	963	292	1011
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>			2105		1373	363	1176	364	1263

Tableau II.Ant21 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
 - Station de Cherfech  
 Essai "Qualité d'eau" QDE

Période	6.4.65 au 11.10.65	11.10.65 au 4.3.66	4.3.66 au 29.9.66	29.9.66 au 30.3.67	30.3.67 au 1.9.67	1.9.67 au 25.4.68	25.4.68 au 11.9.68	Sole I
Culture	Tourne- sol Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne Trèfle de Perse	Maïs	Fèves	Piments	
Pluie (mm)	96	296	222	279	61	348	62	
Irriga- tion(mm)	990	53	1060	198	518	188	653	
Période	6.4.65 au 1.10.65	1.10.65 au 27.4.66	27.4.66 au 30.8.66	30.8.66 au 31.3.67	31.3.67 au 12.9.67	12.9.67 au 1.7.68	1.7.68 au 10.9.68	Sole II
Culture	Maïs	Ray- grass	Maïs	Ray- grass	Pastè- ques	Bettera- ve à sucre		
Pluie (mm)	95	397	69	333	93	377	0	
Irriga- tion(mm)	767	275	540	493	638	448		
Période			27.4.66 au 21.9.66	21.9.66 au 29.3.67	29.3.67 au 13.9.67	13.9.67 au 19.3.68	19.3.68 au 9.9.68	Sole III
Culture			Sorgho fourra- ger	Bersim	Sorgho fourra- ger	Bersim	Tomates	
Pluie (mm)			93	309	93	301	76	
Irriga- tion(mm)			803	255	763	65	827	
Période			30.5.66 au 15.7.66	15.7.66 au 27.3.67	27.3.67 au 13.9.67	13.9.67 au 21.3.68	21.3.68 au 9.9.68	Sole IV
Culture			Arti- chauts	Arti- chauts	Tomates	Ray- grass	Coton	
Pluie (mm)			5	325	101	301	76	
Irriga- tion(mm)			0	803	675	65	776	

Tableau II.A-t22 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
- Station de Cherfech

I. Essai "dose I"

II. Essai "dose II"

Période	10.3.67 au 16.9.67	16.9.67 au 25.3.68	25.3.68 au 2.9.68	2.9.68 au 16.4.69
Culture	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Jachère
Pluie (mm)	108	301	76	282
Irriga- tion(mm)				
D0	617	166	612	0
D1	925	248	918	0
D2	1231	331	1224	0
D3	1539	414	1530	0

Période	17.4.68 au 31.7.68	31.7.68 au 14.4.69
Culture	Maïs	Jachère
Pluie (mm)	62	282
Irriga- tion(mm)		
D1	396	0
D2	476	0
D3	476	0
D4	476	0

III. Essai "Bilan hydrique et Bilan des sels"

Période	1.5.64 au 1.9.64	1.9.64 au 5.5.65	5.5.65 au 1.9.65	1.9.65 au 26.4.66	26.4.66 au 5.8.66	5.8.66 au 29.5.67	29.5.67 au 6.9.67	6.9.67 au 15.3.68
Culture	Maïs	Vesce- orge	Maïs	Ray- grass	Maïs	Ray- grass	Sorgho	Bersim
Pluie (mm)	112	441	23	456	69	390	4	325
Irriga- tion(mm)	452	110	645	100	530	467	860	182

Tableau II.A-t23 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
- Station de Cherfech

essai "Lessivage d'hiver"

Premier essai hiver 66/67

Deuxième essai hiver 67/68

Période	25.10.66 au 25.11.66	25.11.66 au 15.12.66	15.12.66 au 13.4.67
Culture	Ray-grass	Ray-grass	Ray-grass
Pluie (mm)	65	28	170
Irrigation (mm)			
PD <sub>1</sub>	165	95	198
CD <sub>1</sub>	165	95	198
PD <sub>2</sub>	231	133	276
CD <sub>2</sub>	231	133	276

Période	5.11.67 au 25.12.67	25.12.67 au 7.2.68	7.2.68 au 2.5.68
Culture	Ray-grass	Ray-grass	Ray-grass
Pluie (mm)	107	110	79
Irrigation (mm)			
D <sub>1</sub>	113	0	0
D <sub>2</sub>	210	0	0
D <sub>3</sub>	210	0	323
D <sub>4</sub>	280	0	452

Troisième essai hiver 68/69

Période	1.10.68 au 21.2.69	21.2.69 au 14.4.69
Culture	Fétuque	Fétuque
Pluie (mm)	183	99
Irrigation (mm)		
D <sub>1</sub>	127	0
D <sub>2</sub>	191	0
D <sub>3</sub>	191	172
D <sub>4</sub>	358	240

Tableau II.A-t24 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
- Station de Messaoudia

Essai DF<sub>1</sub>

Période	18.4.67 au 30.8.67	30.8.67 au 28.4.68	28.4.68 au 20.6.68	20.6.68 au 13.4.68	13.11.68 au 19.3.69
Culture	Maïs	Fèves	Sorgho fourrager	Sorgho fourrager	Jachère
Pluie (mm)	36	275	79	4	51
Irriga- tion(mm)					
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	352	229	0	675	0
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	470	308	0	898	0
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	587	384	0	1117	0
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	352	229	0	675	0
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	471	308	0	898	0
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	589	384	0	1117	0

Essai DF<sub>2</sub>

Période	18.4.67 au 7.10.67	7.10.67 au 27.3.68	27.3.68 au 20.6.68	20.6.68 au 18.10.68	18.10.68 au 15.3.69
Culture	Sorgho fourrager	Orge Bersim	Coton	Coton	Jachère
Pluie (mm)	114	173	103	0	55
Irriga- tion(mm)					
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	637	221	163	528	0
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	842	308	216	700	0
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	1048	396	270	875	0
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	639	221	163	528	0
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	842	308	216	700	0
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	1048	396	270	875	0

Tableau II.A-t25 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
- Station de Nakta

Essai DF <sub>1</sub>					Essai DF <sub>3</sub>		
Période	5.4.67 au 28.8.67	28.8.67 au 10.5.68	10.5.68 au 15.8.68	15.8.68 au 5.11.68	5.4.67 au 29.8.67	29.8.67 au 10.5.68	10.5.68 au 6.11.68
Culture	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Fétuque	Fétuque	Fétuque
Pluie (mm)	27	183	21	12	27	183	33
Irrigation (mm)							
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	226	550	445	280	153	518	119
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	301	752	593	374	202	689	159
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	375	948	742	466	253	863	198
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	408	369	359	366	137	554	0
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	547	494	479	488	182	712	0
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	681	616	600	609	228	891	0

Essai "Lessivage d'hiver"

DF<sub>2</sub>

Période	3.10.68 au 23.10.68	23.10.68 au 19.11.68	19.11.68 au 1.1.69	1.1.69 au 21.1.69	21.1.69 au 16.2.69	16.2.69 au 9.3.69	9.3.69 au 2.4.69
Culture	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves
Pluie (mm)	0	0	25	8	0	9	1
Irrigation (mm)							
L <sub>1</sub>	75	102	74	61	61	60	60
L <sub>2</sub>	100	136	102	82	82	80	80
L <sub>3</sub>	125	170	124	102	102	100	100

Essai DL

Période	25.9.68 au 23.10.68	23.10.68 au 19.11.68	19.11.68 au 1.1.69	1.1.69 au 21.1.69	21.1.69 au 16.2.69	16.2.69 au 9.3.69	9.3.69 au 2.4.69
Culture	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves	Fèves
Pluie (mm)	12	0	25	8	0	9	1
Irrigation (mm)							
L <sub>1</sub>	75	126	73	61	60	60	61
L <sub>2</sub>	100	177	85	82	80	80	82
L <sub>3</sub>	125	226	97	102	100	100	102

Tableau II.A-t26 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
- Station de Ksar Ghériss

I. Essai dfc

Période	10.6.65 au 4.10.65	4.10.65 au 8.5.66	8.5.66 au 24.8.66	24.8.66 au 24.3.67	24.3.67 au 5.9.67	5.9.67 au 10.1.68	10.1.68 au 6.3.68	6.3.68 au 27.7.68	27.7.68 au 16.9.68	16.9.68 au 28.2.69
Culture	Sorgho fourra- ger	Ray- grass	Sorgho fourra- ger	Orge Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Pluie (mm)	35	65	18	108	12	106	43	37	0	36
Irriga- tion(mm)										
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	720	683	542	342	975	574	0	688	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	867	824	637	409	1218	722	0	868	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	918	833	638	411	1218	722	0	870	0	0
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	720	688	543	342	732	456	0	463	688	0
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	867	818	636	409	915	568	0	583	868	0
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	918	826	636	411	915	568	0	583	868	0

II. Essai dfb

Période	26.5.65 au 22.9.65	22.9.65 au 7.5.66	7.5.66 au 6.9.66	6.9.66 au 22.3.67	22.3.67 au 10.1.68	10.1.68 au 28.7.68	28.7.68 au 26.9.68	26.9.68 au 28.2.69
Culture	Maïs	Ray- grass	Maïs	Orge Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Pluie (mm)	20	85	18	108	118	80	0	36
Irriga- tion(mm)								
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	724	740	620	455	1560	745	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	856	880	734	568	1954	940	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	857	880	737	569	1954	940	0	0
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	724	695	621	445	1137	520	225	0
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	856	823	731	568	1423	655	285	0
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	857	824	747	569	1425	655	285	0

Tableau II.A-t27 : Cultures et apports d'eau (pluie et irrigation)  
- Station de Ksar Ghériss

I. Essai DFC

Période	8.6.65 au 5.10.65	5.10.65 au 22.5.66	22.5.66 au 25.8.66	25.8.66 au 22.3.67	22.3.67 au 11.1.68	11.1.68 au 28.7.68	28.7.68 au 26.9.68	26.9.68 au 1.3.69
Culture	Sorgho fourra- ger	Ray- grass	Sorgho fourra- ger	Orge Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Pluie (mm)	35	78	5	108	118	80	0	36
Irriga- tion(mm)								
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	855	1150	690	474	2092	1027	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	987	1413	821	557	2611	1285	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	1035	1410	820	564	2608	1285	0	0
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	855	878	691	474	1646	697	330	0
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	987	1053	822	557	2051	871	409	0
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	1035	1051	821	564	2050	873	412	0

II. Essai DFB

Période	27.5.65 au 23.9.65	23.9.65 au 4.5.66	4.5.66 au 7.9.66	7.9.66 au 22.5.67	22.5.67 au 13.1.68	13.1.68 au 28.7.68	28.7.68 au 17.9.68	17.9.68 au 4.3.69
Culture	Maïs	Ray- grass	Maïs	Orge Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne	Luzerne
Pluie (mm)	20	85	18	117	110	80	0	49
Irriga- tion(mm)								
T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	712	1675	917	1382	1284	958	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	867	2039	1085	1621	1603	1200	0	0
T <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	868	2033	1081	1507	1648	1198	0	0
T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	712	996	916	1157	966	638	320	0
T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	867	1191	1089	1339	1209	800	400	0
T <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	868	1186	1088	1272	1205	799	399	0

Tableau II,B-t16 : Luzerne

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipitation en mm	Apport total						Production de M.V.					
			en mm			en mm/j			en T/ha <sup>3</sup> en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
<b>Luzerne 1e an.</b>														
Cherfech DF2 1965	150	80	1523	1860	2102				25,4	26,9	25,9			
			10,1	12,3	14,6				1,7	1,5	1,2			
Ksar Ghériss dfc 1967	280	113	1662	2053	2053	1301	1596	1596	15,8	19,8	17,4	10,5	13,0	10,3
			5,9	7,3	7,3	4,6	5,7	5,7	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,6
DFC 1967	280	113	2205	2724	2725	1759	2164	2163	15,9	18,6	17,3	11,3	11,5	12,0
			7,9	9,7	9,7	6,3	7,8	7,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
<b>Luzerne 2e an.</b>														
Cherfech DF2 1966	290	349	1337	1643	1978	1156	1435	1723	69,2	75,2	70,6	58,5	58,0	62,4
			4,6	5,6	6,8	4,0	4,9	5,9	5,2	4,6	3,6	5,1	4,1	3,6
D1 1967	290	136	919	1309	1698	2089			62,6	67,4	72,9	69,8		
			3,2	4,5	5,9	7,2			6,8	5,2	4,3	3,3		
Q.F. 1966	240	328	1388						67,1					
			5,8						4,9					
Ksar Ghériss dfc 1968	250 - 280 <sup>x</sup>	94	779	959	957	775 <sup>x</sup>	955 <sup>x</sup>	955 <sup>x</sup>	57,1	66,3	62,6	50,1	60,5	56,1
			3,1	3,8	3,8	2,8	3,4	3,4	7,3	6,7	6,5	6,4	6,3	5,8
DFC 1968	250 - 280 <sup>x</sup>	92	1124	1382	1382	1124 <sup>x</sup>	1377 <sup>x</sup>	1382 <sup>x</sup>	64,3	72,4	71,3	65,9	71,9	71,8
			4,4	5,5	5,5	4,0	4,9	4,9	5,7	5,2	5,1	5,8	5,1	5,3
Nakta DF1 1967	365	200	976	1253	1523	977	1241	1497	69,6	79,0	83,4	66,8	84,6	93,4
			2,7	3,4	4,2	2,7	3,4	4,2	7,1	6,3	5,5	6,8	6,6	6,2

Tableau II.B-t16 (Suite) : Luzerne

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total						Production de M.V.					
			en mm en mm/j						en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
Luzerne 3e an. Cherfech D1 1968	320	347	959 3,0	1265 4,0	1571 5,0	1877 6,0	68,6 7,2	77,5 6,2	83,3 5,3	85,0 4,5				
Nakta DF1 1968	295	100	976 3,3	1306 4,4	1627 5,5	848 3,0	1132 3,8	1414 4,7	48,2 4,9	60,2 4,6	64,7 4,0	39,9 4,7	50,4 4,5	62,9 4,4
Luzerne-Trèfle de Perse Cherfech QE 1967	170	281	478 2,8						21,9 4,6					
Luzerne-Bersim Cherfech DF2 1967	165	263	517 3,1	571 3,4	626 3,7	517 3,1	571 3,4	626 3,7	38,7 7,5	41,5 7,3	42,7 6,8	38,2 7,5	43,2 7,6	39,6 6,3

Tableau II.B-t17 : Sorgho fourrager

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total						Production de M.V.							
			en mm			en mm/j			en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau							
Cherfech DF1 1967	108	36	789	965	1138				36,1	33,4	34,4					
			7,3	8,9	10,6				4,6	3,5	3,2					
DF2 1968	160	60	825	1076	1328	823	1071	1323	88,1	98,1	94,3	77,3	84,8	89,5		
			5,2	6,7	8,3	5,2	6,7	8,3	10,7	9,1	7,1	9,4	7,9	6,8		
QE 1965	130	88	1115						A-77,6	B-72,9	C-77,0	D-70,8				
			8,6						6,9	6,5	6,9	6,4				
QE 1966	120	55	857						100,7	86,3	80,3	66,6				
			7,2						11,8	10,1	9,4	7,8				
QE 1967	120	36	798						81,3	65,4	53,0	42,0				
			6,7						10,2	8,2	6,6	5,3				
Bilan 1967	110	36	896						30,0							
			8,1						3,3							
Lessivage 1967	100	36	1014						25,3							
			10,0						2,5							
" 1968	130	70	590						43,4							
			4,5						7,5							
Messaoudia DF2 1967	140	110	747	952	1158	749	952	1158	35,4	39,8	41,8	34,5	39,4	42,9		
			5,3	6,7	8,2	5,3	6,7	8,2	4,7	4,2	3,5	4,6	4,2	3,7		
DF1 1968	150	79	754	977	1196	754	977	1196	53,6	60,2	59,6	47,3	49,0	57,0		
			5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	7,1	6,1	5,0	6,3	5,0	4,7		
Nakta DF2 1968	165	33	786	1037	1288	787	1039	1290	58,8	64,5	62,2	56,0	64,6	68,5		
			4,8	6,3	7,7	4,8	6,3	7,7	7,4	6,2	4,8	7,1	6,2	5,3		

Tableau II.B-t17 (Suite) : Sorgho fourrager

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipitation en mm	Apport total						Production de M.V. en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
						en mm en mm/j					en T/ha <sub>3</sub>		en kg/m <sup>3</sup> d'eau	
Ksar Ghériss dfo 1965	85	0	582	687	648				20,3	21,9	19,9			
			6,8	8,1	7,6				3,5	3,2	3,1			
DFC 1965	104	0	855	987	1035				16,2	17,7	19,0			
			8,2	9,5	10,0				1,9	1,8	1,8			
dfo 1966	106	5	547	642	643	548	641	641	10,8	11,5	11,3	11,0	11,7	11,8
			5,2	6,0	6,0	5,2	6,0	6,0	2,0	1,8	1,8	2,0	1,8	1,8
DFC 1966	106	5	695	826	825	696	827	826	5,2	6,5	6,5	6,0	6,2	6,0
			6,6	7,9	7,9	6,6	7,9	7,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Fum.Org. 1966	108	5	475						21,3					
			4,4						4,5					
Fum.Org. 1967	94	46	462						<sup>x</sup> F-17,5	P- 5,0	G-13,3	T- 9,5		
			4,9						3,8	1,1	2,9	2,0		
Fum.Org. 1968	120	11	760						39,9	15,7	27,9	18,6		
			6,3						5,3	2,1	3,7	2,5		
Fum.Phosph. 1967	85	46	413						9,3					
			4,9						2,2					
" " 1968	120	11	549						17,4					
			4,6						3,2					
Façons Cult. 1968	115	21	621						15,4					
			5,4						2,5					
Billons-Calants 1967	95	46	Bill.-595	Cal.-693					11,7	15,0				
			6,2	7,3					2,0	2,2				

x : F : fumier, P : paille, G : grignon, T : témoin

Tableau II.B-t17 (Suite) : Sorgho fourrager

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipitation en mm	Apport total		Production de M.V. en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
			en mm	en mm/j	xx 1	2	3	4	5	6
Asp.foliaire 1968	132	11	662		19,6	15,6	26,6	29,1	23,9	21,4
			5,0		3,0	2,4	4,0	4,4	3,6	3,2
Asp.-Ruissell. 1968	123	11	Asp.-661	Ruiss.-799	22,6	22,2				
			5,5	6,6	3,4	2,8				

xx : 1 : témoin, 2 : asp. Fe à 10 jours, 3 : asp. Fe à 10 et 20 jours, 4 : asp. Fe à 10, 20 et 10 jours, 5 : asp. Fe et P à 10 et 20 jours, 6 : asp. Fe et P à 10, 20 et 10 jours.

Tableau II.B-t18 : Maïs

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm		Apport total en mm					Production d'épis en qx/ha					
				en mm/j					en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
Cherfech DF1 1965	94 <sup>x</sup> - 84	19	729 <sup>x</sup> 7,8	859 <sup>x</sup> 9,1	989 <sup>x</sup> 10,5	615 7,3	710 8,5	807 9,6	99,5 1,4	106,0 1,2	108,0 1,1	84,5 1,4	92,0 1,3	91,0 1,1
DF1 1966	89	51	499 5,6	551 6,2	603 6,8	499 5,6	551 6,2	603 6,8	97,9 2,0	100,3 1,8	104,5 1,7	97,4 2,0	96,9 1,8	92,9 1,5
Bilan 1965	92	19	664 7,2						94,5 1,4					
Bilan 1966	78	53	583 7,5						96,0 1,6					
Q.E. 1965	92	19	786 8,5						A-95,9 1,2	B-92,3 1,2	C-90,7 1,2	D-80,6 1,0		
Q.E. 1966	74	31	571 7,7						128,0 2,2	120,0 2,1	107,0 1,9	75,0 1,3		
Q.E. 1967	90	21,5	517,5 5,7						129,0 2,4	106,0 2,0	84,0 1,6	63,8 1,2		
D2 1968	91	61	457 5,0	537 5,9	537 5,9	537 5,9			98,4 2,2	103,3 1,9	111,1 2,1	113,0 2,1		
Messaoudia DF1 1967	91	41,5	394 4,3	512 5,6	629 6,9	394 4,3	513 5,6	631 6,9	32,1 0,8	55,5 1,1	70,1 1,1	26,1 0,7	37,5 0,7	56,3 0,9
DL 1968	95	79	474 5,0	735 7,7					62,0 1,3	83,0 1,1				
Nakta DF2 1967	95	27	379 4,0	493 5,2	609 6,5	378 4,0	495 5,2	611 6,5	72,8 1,9	78,4 1,6	80,2 1,2	75,3 2,0	62,4 1,2	75,9 1,2
DL 1968	91	21	435 4,8	712 7,8					35,1 0,8	66,6 0,9				

Tableau II.B-t18 (Suite) : Maïs

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total						Production d'épis					
			en mm			en mm/j			en qx/ha			en kg/m <sup>3</sup> d'eau		
Ksar Ghériss dfb 1965	96	15	739	871	872				69,4	71,4	73,1			
			7,7	9,1	9,1				0,9	0,8	0,8			
DFB 1965	96	15	727	882	883				46,8	48,0	47,7			
			7,6	9,2	9,2				0,6	0,5	0,5			
dfb 1966	92	7	627	741	744	628	738	754	54,9	58,1	64,4	56,4	56,8	61,8
			6,8	8,1	8,1	6,8	8,1	8,2	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
DFB 1966	94	7	924	1092	1088	923	1096	1095	35,7	32,6	36,6	32,9	30,3	33,0
			9,8	11,6	11,6	9,8	11,6	11,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Billons-Calants 1966	82	7	Bill.-486	Cal.-610					38,3	44,0				
			5,9	7,4					0,8	0,7				

Tableau II.B-t19 : Tomates

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total						Production de tomates en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
			en mm		en mm/j		en mm		en mm/j		en mm		en mm/j	
Cherfech DF2 1967	127	54	814	1020	1230	814	1017	1230	41,5	44,0	43,3	39,7	45,8	41,6
			6,4	8,0	9,7	6,4	8,0	9,7	5,5	4,4	3,5	4,9	4,5	3,3
DF1 1968 partiel	130	62	787	1030	1270	742	967	1193	38,8	42,1	39,4	35,2	32,2	36,1
			6,0	7,9	9,8	5,7	7,4	9,2	4,9	4,1	3,1	4,7	3,3	3,0
DF1 1968 total	196	67	1101	1445	1788	1109	1454	1799	66,0	70,6	66,9	63,2	60,0	63,5
			5,6	7,4	9,1	5,6	7,4	9,1	6,0	4,9	3,7	5,7	4,1	3,5
Bilan 1968 partiel	170	62	1012						34,2					
			6,0						3,4					
Bilan 1968 total	195	67	1439						53,0					
			7,4						3,7					
Q.E. 1967	151	65	740						A-44,4	B-43,2	C-26,8	D-13,1		
			4,9						6,0	6,0	3,6	1,8		
Q.E. 1968 partiel	135	62	839						36,3	40,4	24,3	17,8		
			6,2						4,3	4,8	2,9	2,1		
Q.E. 1968 total	180	62	1132						68,0	66,1	40,8	34,5		
			6,3						6,0	5,8	3,6	3,0		

Tableau II.B-t20 : Ray-grass

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total						Production de M.V.					
			en mm			en mm/j			en T/ha <sup>3</sup> en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
Cherfech DF1 1965-66	186	364	679	759	840	679	759	840	40,8	36,8	39,0	41,0	41,4	38,5
			3,7	4,1	4,5	3,7	4,1	4,5	6,0	4,8	4,6	6,0	5,4	4,6
DF1 1966-67	198	306	813	892	970	813	892	970	39,3	38,6	37,5	39,2	59,0	37,4
			4,1	4,5	4,8	4,1	4,5	4,8	4,8	4,4	3,9	4,8	4,4	3,9
Bilan 1965-66	137	219	319						22,0					
			2,3						6,8					
Bilan 1966-67	204	306	773						39,1					
			3,8						5,0					
Q.E. 1965-66	186	364	639						A-54,6	B-57,5	C-55,5	D-48,1		
			3,7						8,5	9,0	8,7	7,5		
Q.E. 1966-67	172	271	764						47,5	46,4	43,0		52,4	
			4,4						6,2	6,1	5,6		6,9	
Q.E. 1967-68	139	286	393						59,7	61,4	58,3		52,8	
			2,8						15,2	15,6	14,8		13,4	
Less. 1966-67	190	298	756	938					34,8	33,5				
			4,0	4,9					4,6	3,6				
Less. 1967-68	176	297	409	507	830	1138			55,0	58,3	62,7	63,5		
			2,3	2,9	4,7	6,5			13,5	11,5	7,6	5,6		
Ksar Ghériss dfc 1965-66	191	46	729	870	879	734	864	872	7,4	6,3	7,3	4,4	5,4	4,0
			3,8	4,6	4,6	3,8	4,6	4,6	1,0	0,7	0,8	0,6	0,6	0,5
dfb 1965-66	191	46	786	926	926	741	869	870	7,7	8,6	8,3	7,3	6,8	7,5
			4,1	4,9	4,9	3,9	4,5	4,5	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9
DFC 1965-66	207	46	1196	1459	1456	924	1099	1097	8,2	10,1	13,2	7,2	7,0	7,4
			6,0	7,3	7,3	4,6	5,5	5,5	0,7	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7

Tableau II.B-t20 (Suite) : Ray-grass

Essai	Durée de végétation en j.	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total en mm en mm/j		Production de M.V. en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau						
Fum.Org. 1966-67	240	101	1063 4,4		8,5 0,8						
Billons-Calants 1965-66	215	46	Bill.-1263 5,7	Cal.-1100 5,1	1,7 0,14	1,7 0,15					
Billons-Calants 1966-67	230	99	1929 8,1	1379 6,0	6,5 0,3	9,6 0,7					
Défoncement 1967-68	115	102	690 4,1		x 1 22,5 3,3	2 47,4 6,9	3 37,7 5,5	4 50,4 7,3	5 46,3 6,3	6 56,3 8,1	

x : 1 : témoin, 2 : défoncé, 3 : fumier 0-25 cm, 4 : défoncé et fumier 0-25 cm,  
5 : défoncé et fumier 25-50 cm, 6 : défoncé et fumier 50-75 cm.

Tableau II.B-t21 : Bersim

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total			Production de M.V. en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau					
			en mm en mm/j								
Cherfech DF1 1967-68	134	286	483	550	616	34,0	34,0	36,7	38,0	37,3	37,8
			3,6	4,1	4,6	7,0	6,2	6,0	7,8	6,8	6,1
Bilan 1967-68	213 - 133	310 - 286	835	468		61,8	19,9				
			3,9	3,5		7,5	4,3				
Bilan 1968-69	280	300	895			68,1					
			3,2			7,6					
Q.E. 1965-66	182	364	744			A-62,5	B-62,1	C-63,6	D-64,0		
			4,1			8,4	8,4	8,6	8,6		
Q.E. 1966-67	165	266	521			70,7	72,6	68,3	55,4		
			3,2			13,6	13,9	13,1	10,6		
Q.E. 1967-68	111	284	434			38,0	33,2	33,2	27,3		
			3,9			8,8	7,7	7,7	6,3		

Tableau II.B-t22 : Orge en vert

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total			Production de M.V.			
			en mm en mm/j			en T/ha <sup>3</sup> en kg/m <sup>3</sup> d'eau			
Ksar Ghériss dfc 1966-67	152	89	431	498	500	16,5	15,1	16,0	
			2,8	3,3	3,3	3,8	3,0	3,2	
dfb 1966-67	147	89	544	657	658	21,2	20,8	19,4	
			3,7	4,5	4,5	3,9	3,2	2,9	
DFC 1966-67	150	89	563	646	652	10,4	9,7	11,6	
			3,8	4,3	4,3	2,3	1,5	1,8	
DFB 1966-67	150	89	802	872	801	13,1	11,3	11,8	
			5,3	5,8	5,3	1,6	1,3	1,5	
Fum.Org. 1967-68	163	101	594			41,1			
			3,6			6,9			
Fum.Org. 1968-69	150	39	469			F-38,2	P-44,8	G-41,7	T-39,9
			3,1			8,1	9,5	8,9	8,5
Fum.Phosph. 1967-68	140	87	379			27,0			
			2,7			7,1			
Fum.Phosph. 1968-69	130	39	386			26,6			
			3,0			6,9			
Façons Cult. 1967-68	134	87	497			26,0			
			3,7			5,2			
Façons Cult. 1968-69	119	39	393			21,9			
			3,3			5,6			

Tableau II.B-t22 (Suite) : Orge en vert

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total en mm en mm/j			Production de M.V. en T/ha <sub>3</sub> en kg/m <sup>3</sup> d'eau		
Asp.foliaire 1967-68	135	87	412 3,1			27,5 6,7		
Asp.foliaire 1968-69	148	39	477 3,2			31,8 6,7		
df3 1968-69	148	39	477 3,2			29,7 6,2		
Messaondia DF2 1967-68 (orge-bersim)	134	165	386 2,9	473 3,5	561 4,2	20,8 5,3	22,4 4,7	21,6 3,9
DL 1967-68	87	146	329 3,9	389 4,5	449 5,2	29,4 8,9	30,0 7,7	29,8 6,6
DF3 1968-68	160	127	339 2,1	408 2,6	479 3,0	34,5 10,0	33,9 8,0	30,5 7,0
Nakta DL 1967-68	100	89	269 2,7	329 3,3	389 3,9	28,5 10,6	27,9 8,5	30,3 7,8

Tableau II.B-t23 : Fève

Essai	Durée de végétation en j	Hauteur de précipita- tion en mm	Apport total			Production de gousses vertes				en T/ha <sup>3</sup> en kg/m <sup>3</sup> d'eau
				en mm en mm/j						
Cherfech DF2 1967-68	168	295	514 3,1	587 3,5	659 3,9	23,3 4,5	25,3 4,3	26,9 4,1		
Q.E. 1967-68	176	308	496 2,8			A-15,1 3,0	B-12,9 2,6	C-10,6 2,1	D-10,1 2,0	
Messaoudia DF1 1967-68	169	188	417 2,5	496 2,9	572 3,4	9,8 2,3	9,7 1,9	9,9 1,7		
Nakta DF4 1968-69	176	43	598 3,4	789 4,5	960 5,5	11,1 1,9	11,4 1,5	14,9 1,6		
DL 1968-69	163	43	561 3,4	732 4,5	899 5,5	3,5 0,6	3,5 0,5	3,5 0,4		

Tableau II.B-t24 : Station de Nakta  
Luzerne

<u>Hiver - Début du Printemps</u>	23.12.67 - 9.5.68 (P = 114 mm)					
	T1			T2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	363	449	530	234	274	317
Apport en mm/j	2,6	3,3	3,8	1,7	2,0	2,3
Production de matière verte en T/ha	23,0	27,4	26,6	18,6	24,6	26,5
Production en Kg/m <sup>3</sup> d'eau	6,3	6,1	5,0	7,9	9,0	8,4

<u>Printemps</u>	9.5.68 - 17.7.68 (P = 21 mm)					
	T1			T2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	301	394	489	203	264	325
Apport en mm/j	4,4	5,7	7,1	2,9	3,8	4,7
Production de matière verte en T/ha	17,1	21,5	25,0	10,7	14,7	19,0
Production en Kg/m <sup>3</sup> d'eau	5,7	5,5	5,1	5,3	5,6	5,8

<u>Eté - Automne</u>	17.7.68 - 25.11.68 (P = 12 mm)					
	T1			T2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	457	606	752	555	736	917
Apport en mm/j	3,5	4,6	5,7	4,2	5,6	6,9
Production de matière verte en T/ha	8,2	11,6	13,2	12,1	16,7	20,7
Production en Kg/m <sup>3</sup> d'eau	1,8	1,9	1,8	2,2	2,3	2,3

Tableau II.B-25 : Station de Cherfech

Luzerne

<u>Hiver - Début du Printemps</u>	1.10.66 - 17.4.67 (P = 284 mm)				1.10.67 - 5.4.68 (P = 304 mm)			
	D0	D1	D2	D3	D0	D1	D2	D3
Apport total en mm	378	425	472	519	351	374	398	421
Apport en mm/j	1,9	2,1	2,4	2,6	1,9	2,0	2,1	2,3
Production de matière verte en T/ha	20,1	21,0	21,7	21,4	16,7	18,0	18,1	18,9
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	5,3	5,0	4,6	4,0	4,8	4,8	4,5	4,5

<u>Printemps</u>	17.4.67 - 9.6.67 (P = 52 mm)				5.4.68 - 13.6.68 (P = 72 mm)			
	D0	D1	D2	D3	D0	D1	D2	D3
Apport total en mm	186	253	318	385	329	458	505	714
Apport en mm/j	3,5	4,8	6,0	7,3	4,8	6,6	8,5	10,4
Production de matière verte en T/ha	19,3	20,2	22,3	21,6	32,5	36,8	41,2	43,0
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	10,4	8,0	7,0	5,6	10,0	8,0	7,0	6,1

<u>Eté</u>	9.6.67 - 8.8.67 (P = 3 mm)				13.6.67 - 10.8.67 (P = 3 mm)			
	D0	D1	D2	D3	D0	D1	D2	D3
Apport total en mm	227	339	450	562	249	371	495	618
Apport en mm/j	3,7	5,6	7,5	9,3	4,3	6,4	8,5	10,7
Production de matière verte en T/ha	16,3	17,5	18,9	16,9	15,3	17,7	17,6	16,4
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	7,2	5,2	4,2	3,0	6,1	4,8	3,5	2,7

Tableau II.B-t25 (suite) : Station de Cherfech

<u>Fin Eté</u>	8.8.67 - 4.9.67 (P = 4 mm)				10.8.68 - 23.9.68 (P = 0 mm)			
	D0	D1	D2	D3	D0	D1	D2	D3
Apport total en mm	113	167	221	275	109	164	218	273
Apport en mm/j	4,2	6,2	8,2	10,2	2,5	3,7	5,0	6,2
Production de matière verte en T/ha	5,4	6,7	7,7	6,9	4,5	5,4	5,9	5,7
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	4,8	4,0	3,5	2,5	4,1	5,3	2,7	2,1

<u>Automne</u>	4.9.67 - 14.11.67 (P = 52 mm)			
	D0	D1	D2	D3
Apport total en mm	227	314	402	490
Apport en mm/j	3,2	4,4	5,7	6,9
Production de matière verte en T/ha	4,3	5,0	5,5	5,6
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	1,9	1,6	1,4	1,1

Tableau II.B-t26 : Station de Nakta

Sorgho fourrager

<u>1ère Coupe</u>	13.5.68 - 5.7.68			13.5.68 - 1.7.68		
	T1 (P = 21 mm)			T2 (P = 21 mm)		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	232	303	373	191	248	305
Apport en mm/j	4,4	5,7	7	3,9	5,1	6,2
Production de matière verte en T/ha	19,1	18,1	19,6	14,9	16,7	18,6
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	8,2	6,0	5,3	7,8	6,7	6,1

<u>2ème Coupe</u>	5.7.68 - 7.8.68			1.7.68 - 8.8.68		
	T1 (P = 0 mm)			T2 (P = 0 mm)		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	173	230	288	193	257	321
Apport en mm/j	5,2	7,0	8,7	5,1	6,7	8,4
Production de matière verte en T/ha	18,8	24,2	21,9	18,9	25,0	24,4
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	10,9	10,5	7,6	9,8	9,7	7,6

<u>3ème Coupe</u>	7.8.68 - 7.9.68			8.8.68 - 11.9.68		
	T1 (P = 0 mm)			T2 (P = 12 mm)		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	176	234	294	210	276	342
Apport en mm/j	5,7	7,5	9,5	6,2	8,1	10,1
Production de matière verte en T/ha	13,3	13,8	12,0	14,9	15,4	18,4
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	7,6	5,9	4,1	7,0	5,6	5,4

<u>4ème Coupe</u>	7.9.68 - 28.10.68			11.9.68 - 28.10.68		
	T1 (P = 12 mm)			T2 (P = 0 mm)		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	205	271	331	193	258	322
Apport en mm/j	4	5,3	6,5	4,1	5,5	6,9
Production de matière verte en T/ha	7,6	8,4	8,7	7,3	7,5	7,1
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	3,7	3,1	2,6	3,8	2,9	2,2

Tableau II.B-t27 : Station de Cherfech

Sorgho fourrager

<u>1ère Coupe</u>	18.5.68 - 6.7.68 (P = 60 mm)					
	T1			T2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	295	371	448	253	316	300
Apport en mm/j	6	7,6	9,1	5,2	6,4	7,8
Production de matière verte en T/ha	20,8	25,0	24,7	27,8	22,0	22,8
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	7,0	7,0	5,5	11,0	7,0	6,0

<u>2ème Coupe</u>	6.7.68 - 7.8.68 (P = 0 mm)					
	T1			T2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	168	224	279	163	216	270
Apport en mm/j	5,3	7,0	8,8	5,1	6,8	8,4
Production de matière verte en T/ha	29,0	30,2	30,0	25,0	25,3	27,8
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	17,1	15,5	10,7	15,6	11,7	10,3

<u>3ème Coupe</u>	7.8.68 - 16.9.68 (P = 0 mm)					
	T1			T2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	222	296	371	267	354	443
Apport en mm/j	5,5	7,4	9,3	6,6	8,8	11,0
Production de matière verte en T/ha	23,9	26,7	24,4	20,9	22,7	24,5
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	10,8	9,0	6,6	7,7	6,4	5,5

<u>4ème Coupe</u>	16.9.68 - 25.10.68 (P = 0 mm)					
	T1			T2		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Apport total en mm	141	186	231	141	106	231
Apport en mm/j	3,6	4,8	5,9	3,6	4,8	5,9
Production de matière verte en T/ha	14,3	17,2	15,2	13,6	14,8	14,4
Production en kg/m <sup>3</sup> d'eau	10,0	9,2	6,6	9,7	8,0	6,3

Tableau II.B-t28 : Station de Cherfech  
Bersim

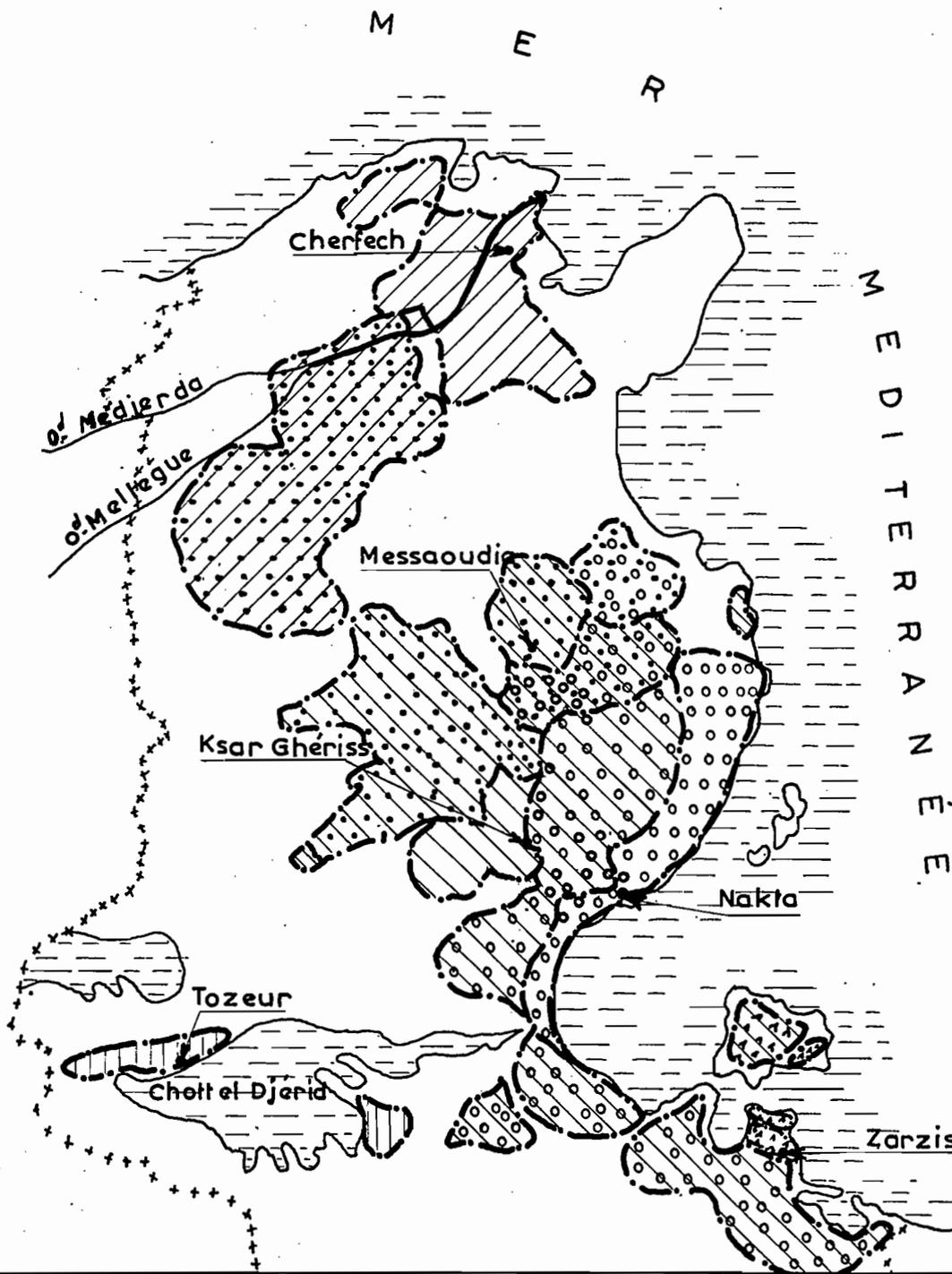
	Apport total		Production de M.V.	
	en mm	en mm/j	en T/ha	en kg/m <sup>2</sup> d'eau
<u>"Bilan" 1967-68</u>				
1e période - 30.10-21. 4 : 154 j	476	3,1	29,1	6,1
2e période - 2. 4- 2. 5 : 30 j	248	8,3	19,9	8,0
3e période - 2. 5-22. 5 : 20 j	110	5,5	13,8	12,5
<u>"Bilan" 1968-69</u>				
1.10-23.11 : 53 j	164	3,1	4,5	2,7
23.11-21. 1 : 59 j	153	2,6	10	6,5
21. 1-18. 3 : <u>56 j</u>	<u>130</u>	<u>2,3</u>	<u>12,6</u>	<u>9,7</u>
1e période - 1.10-18. 3 : 168 j	447	2,7	27,1	6,1
2e période - 18. 3-17. 4 : 30 j	100	3,3	12,4	12,4
3e période - 17. 4-12. 5 : 25 j	130	5,2	15,3	11,7
4e période - 12. 5- 4. 6 : 23 j	114	5,0	8,1	7,1
5e période - 4. 6- 3. 7 : 29 j	100	3,4	3	3,0
<u>"Qualité eau" 1965</u>				
12.10-24. 1 : 104 j	390	3,8	23,8	6,1
24. 1-26. 2 : <u>33 j</u>	<u>102</u>	<u>3,1</u>	<u>18,7</u>	<u>18,3</u>
1e période - 12.10-26. 2 : 137 j	492	3,6	40,6	8,4
2e période - 26. 2-18. 4 : 51 j	253	5,0	21,2	8,3
<u>"Qualité eau" 1966</u>				
13.10- 4. 1 : 83 j	267	3,2	16,5	6,2
4. 1-21. 2 : <u>48 j</u>	<u>104</u>	<u>2,2</u>	<u>23,7</u>	<u>22,7</u>
1e période - 13.10-21. 2 : 131 j	371	2,8	40,2	10,8
2e période - 21. 2-27. 3 : 34 j	142	4,2	28,1	19,7
<u>"Qualité eau" 1967</u>				
30.10- 1. 2 : 93 j	371	4,0	10,1	2,7
1. 2-11. 3 : <u>38 j</u>	<u>60</u>	<u>1,6</u>	<u>23,1</u>	<u>38,5</u>
1e période - 30.10-11. 3 : 131 j	431	3,3	33,1	7,6

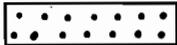
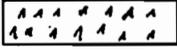






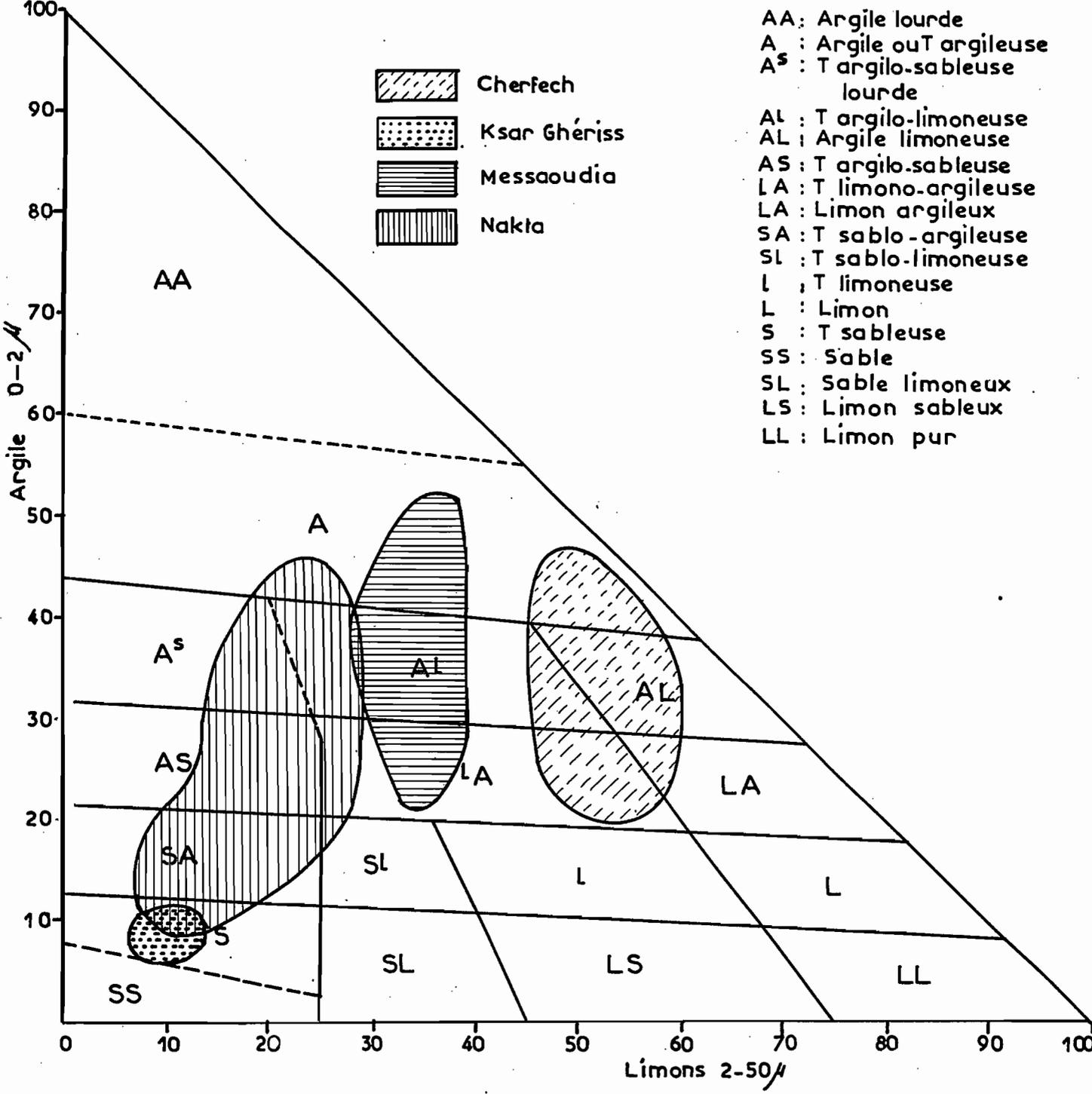
Fig I A-f1



- |   |   |
|---|---|
|  | Zones intéressées, soit par identité, soit par équivalence par les résultats de: Cherfech |
|  | Messaoudia  |
|  | Nakla   |
|  | Ksar Ghériss  |
|  | Zarzis  |
|  | Tozeur  |

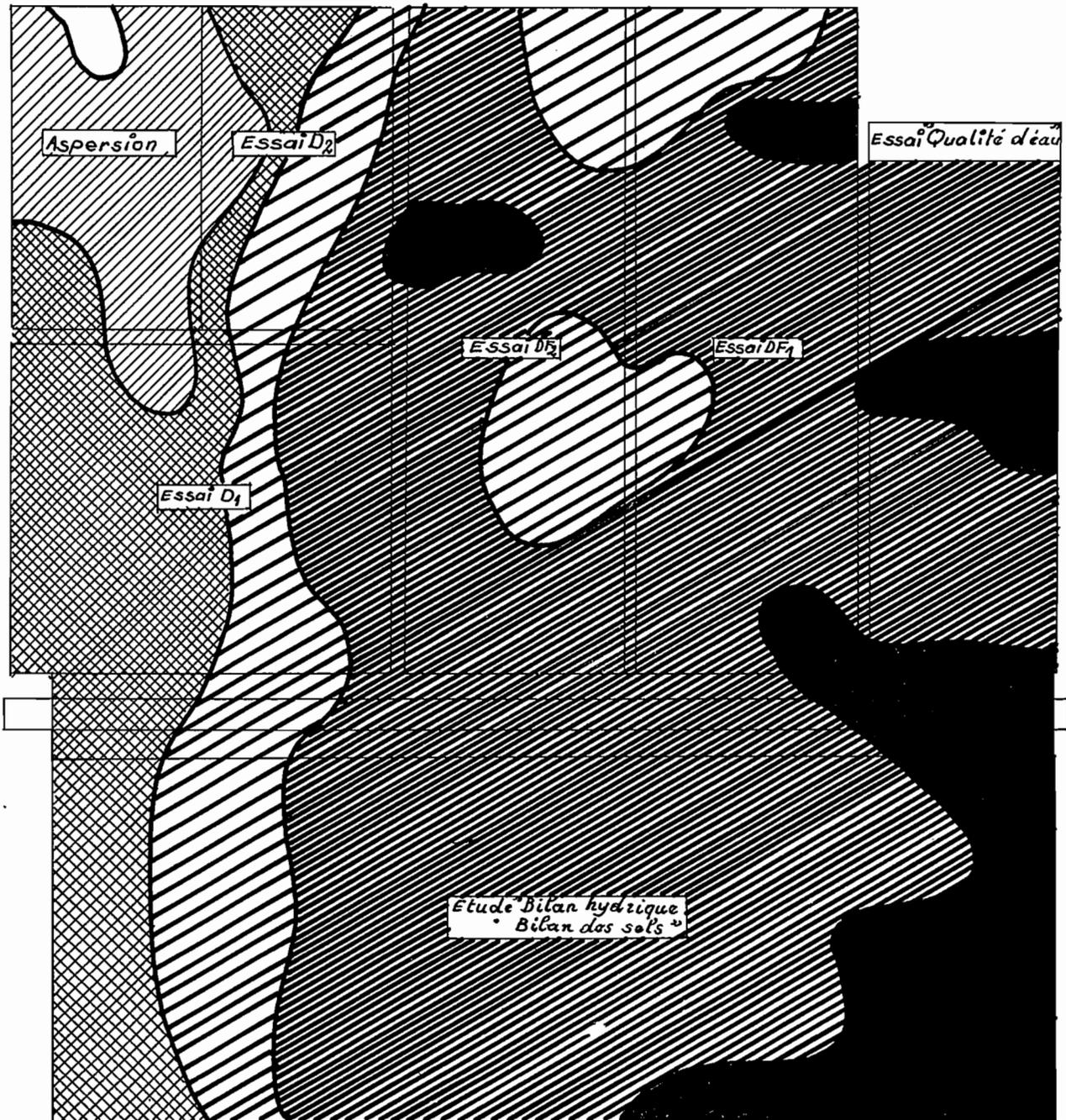
### TRIANGLE DES TEXTURES (I.N.R.A.)

Comparaison des textures des sols des stations de Cherfech, Ksar Ghériss, Nakta et Messaoudia. (60 à 80 cm supérieurs)





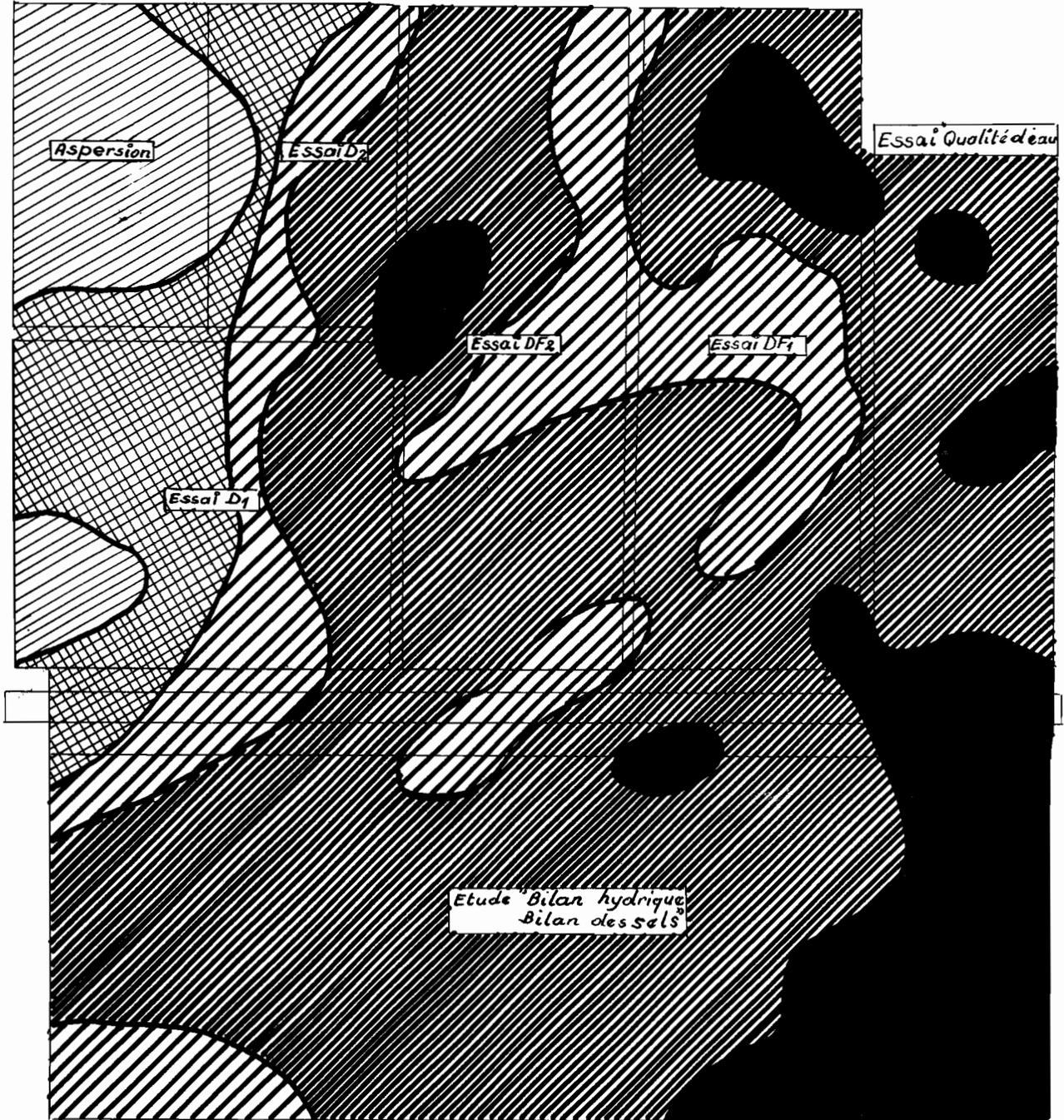
STATION EXPERIMENTALE DE CHERFECH  
Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ), Couche 0-20cm



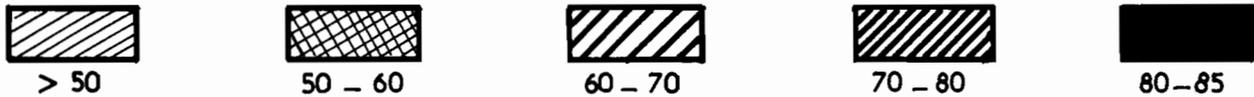
Echelle:1:2000

# STATION EXPERIMENTALE DE CHERFECH

Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ) .Couche 20-40cm

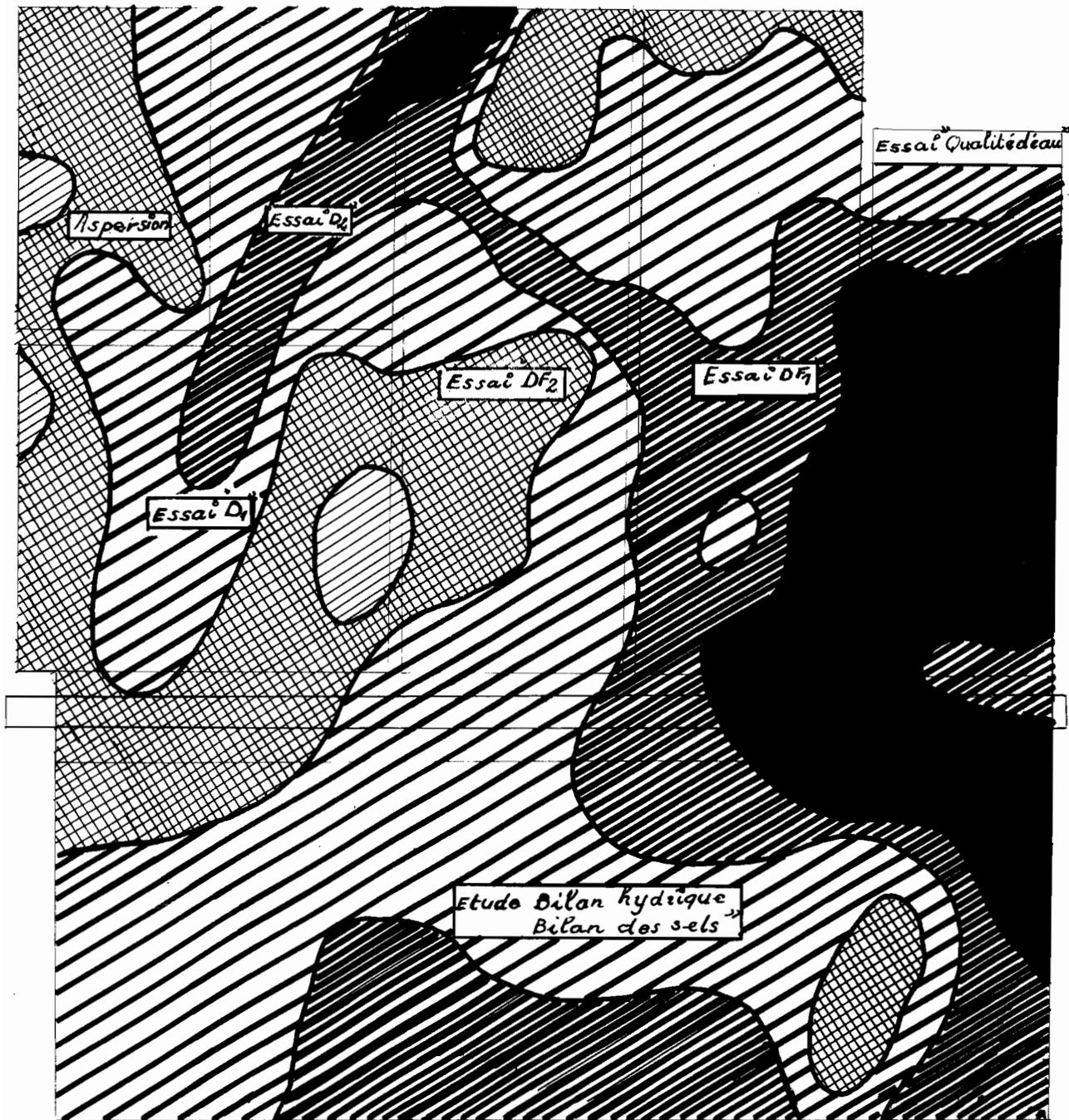


Route PROTVILLE - SIDI THABET



Echelle: 1:2000

STATION EXPERIMENTALE DE CHERFECH  
Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ). Couche 40-80cm



> 50



50-60



60-70



70-80



80-85

Echelle: 1:2000

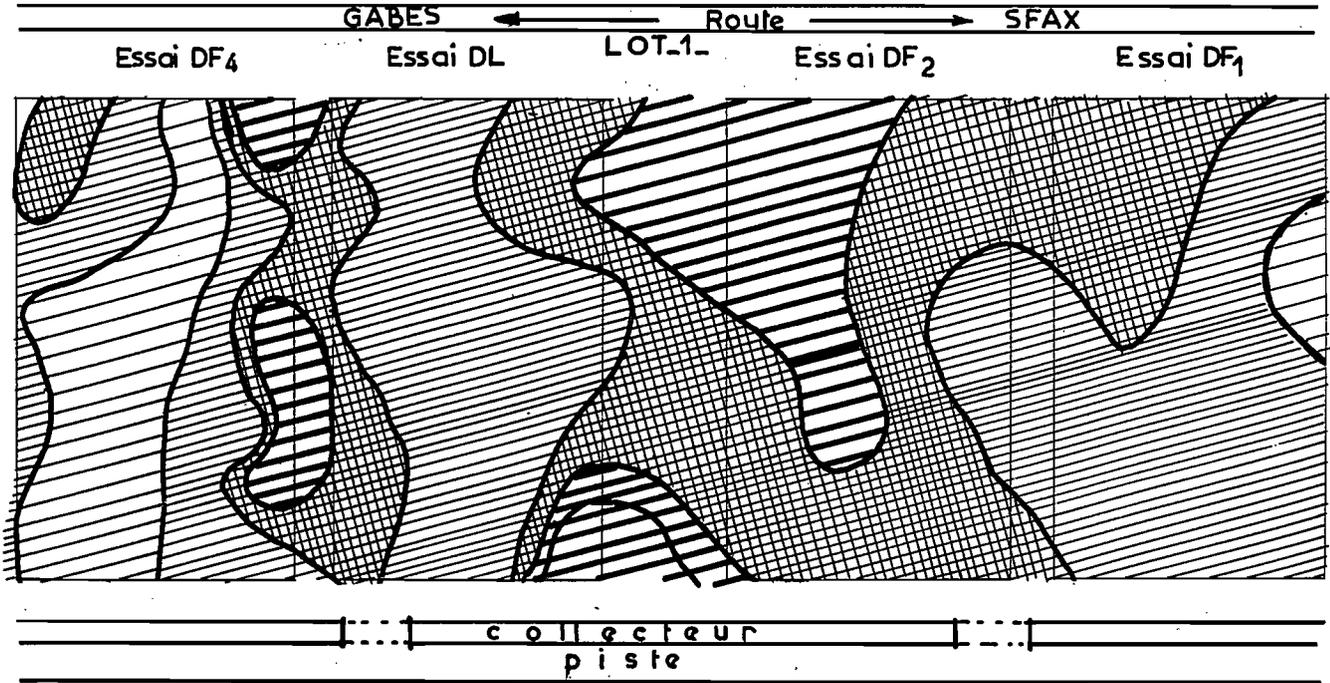
STATION EXPERIMENTALE DE CHERFECH  
Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ). Couche 80-120cm



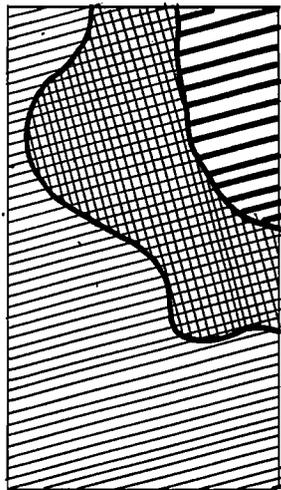
Echelle: 1: 2000

# STATION EXPERIMENTALE DE NAKTA

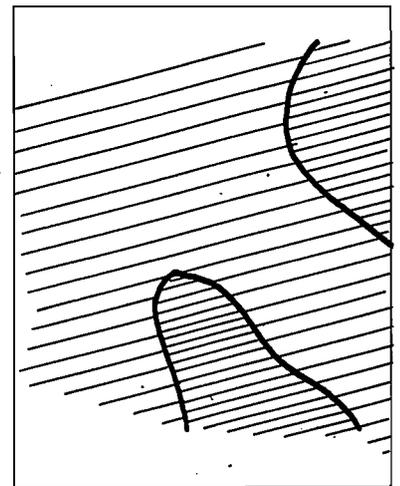
Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ). Couche 0-20 cm



LOT.3.  
Essai DF<sub>3</sub>



LOT.1.  
Essai D<sub>1</sub>

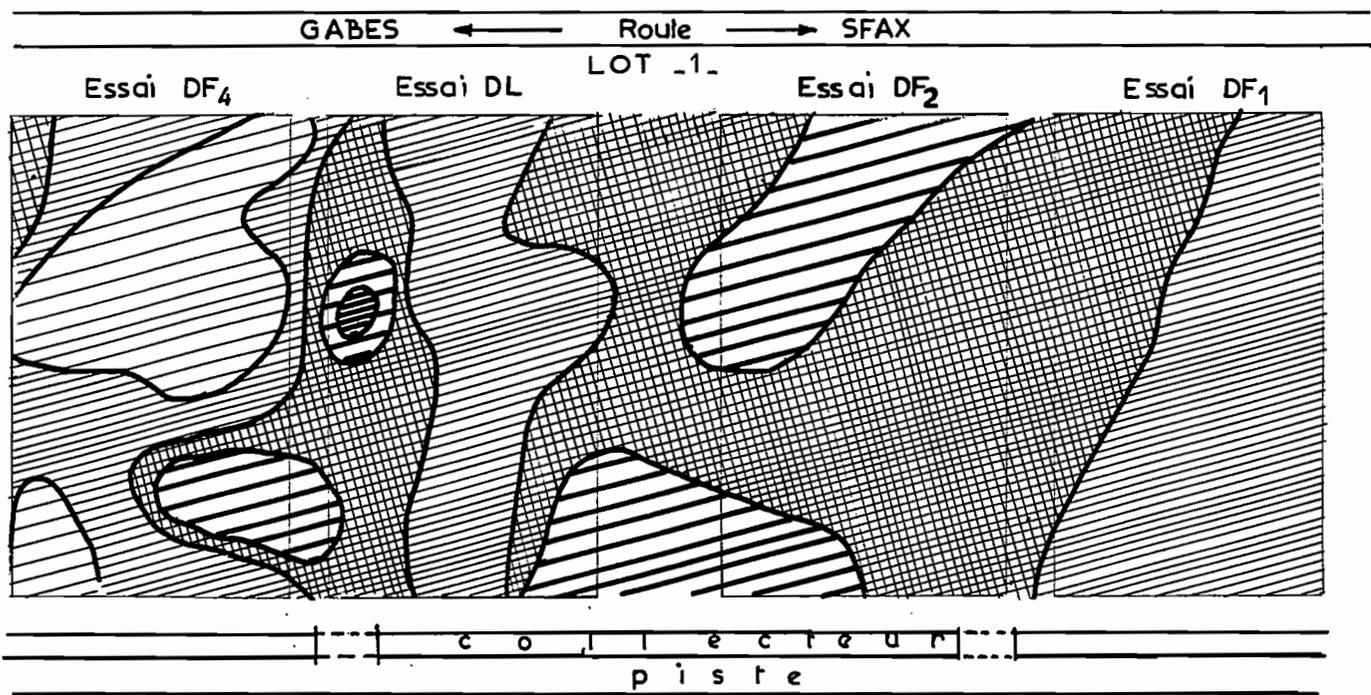


Echelle.1: 2000

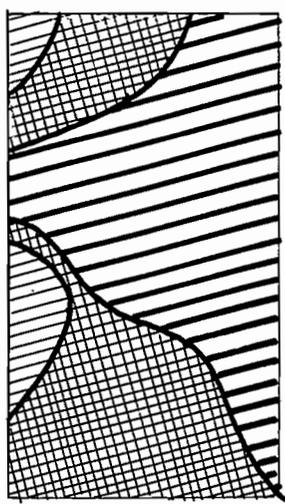
# STATION EXPERIMENTALE DE NAKTA

Fig IA-f9

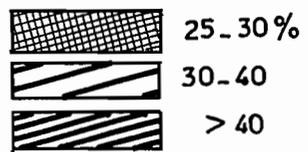
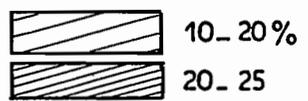
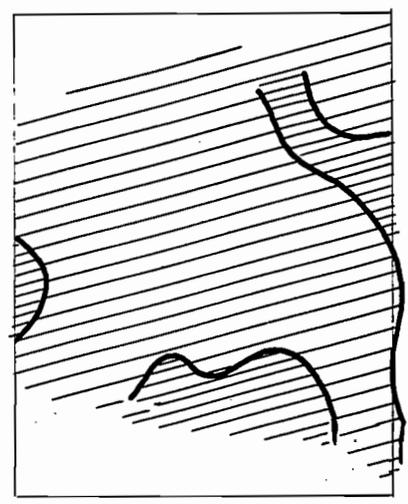
Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ). Couche 20-40 cm



LOT.3.  
Essai DF<sub>3</sub>

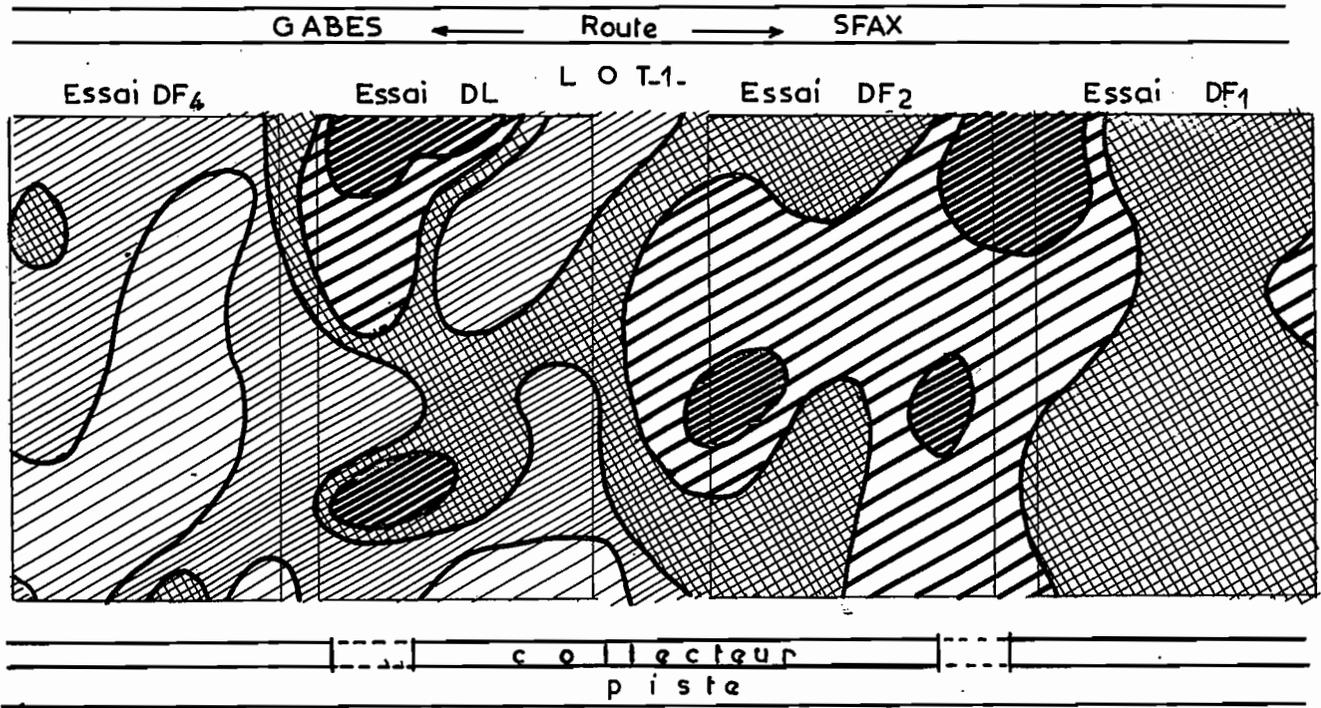


LOT.1.  
Essai D<sub>1</sub>

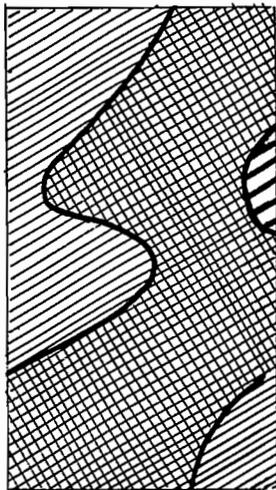


# STATION EXPERIMENTALE DE NAKTA

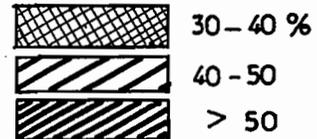
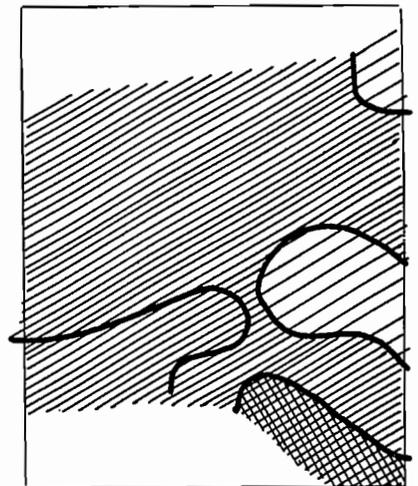
Teneur en argile et limon fin (0-20µ). Couche 40 - 80cm



LOT3  
Essai DF3



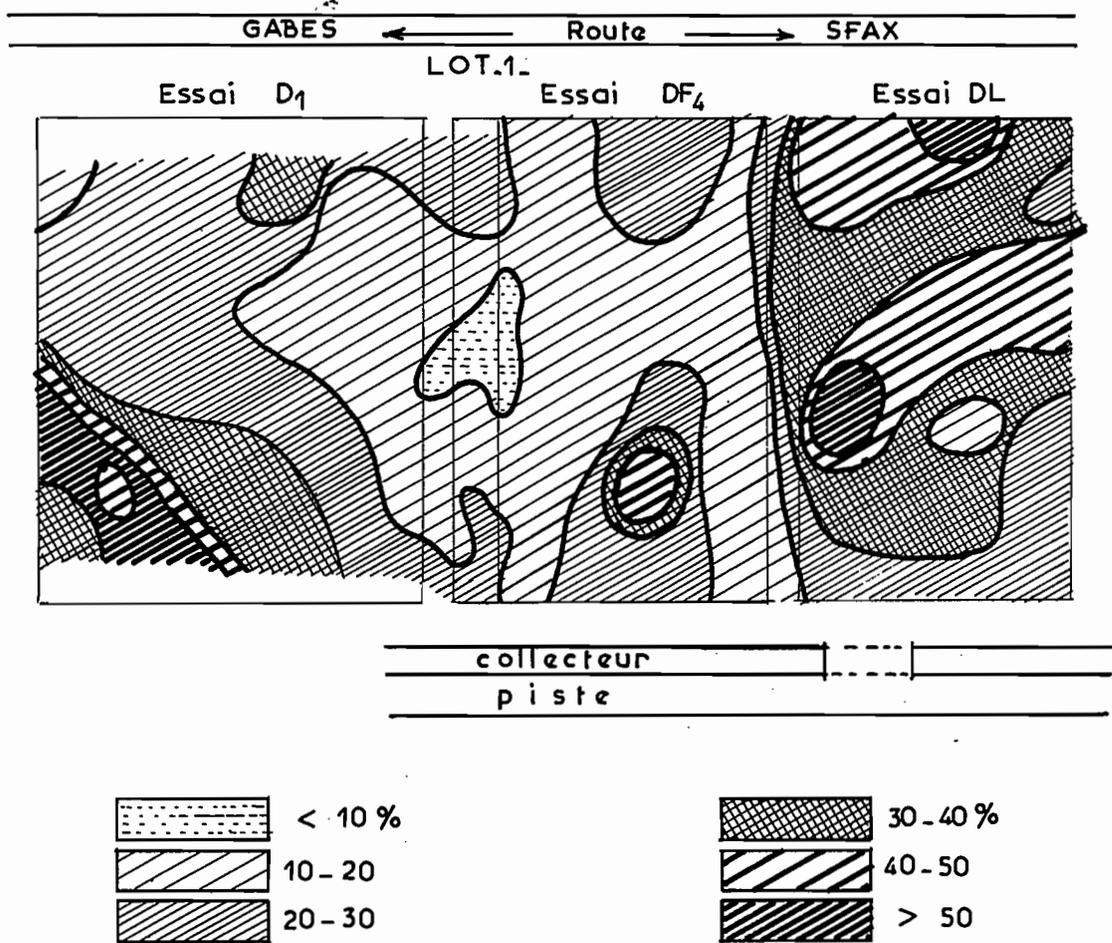
LOT1.  
Essai D1



Echelle: 1: 2000

Fig IA-f 11

STATION EXPERIMENTALE DE NAKTA  
Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ). Couche 80-120cm



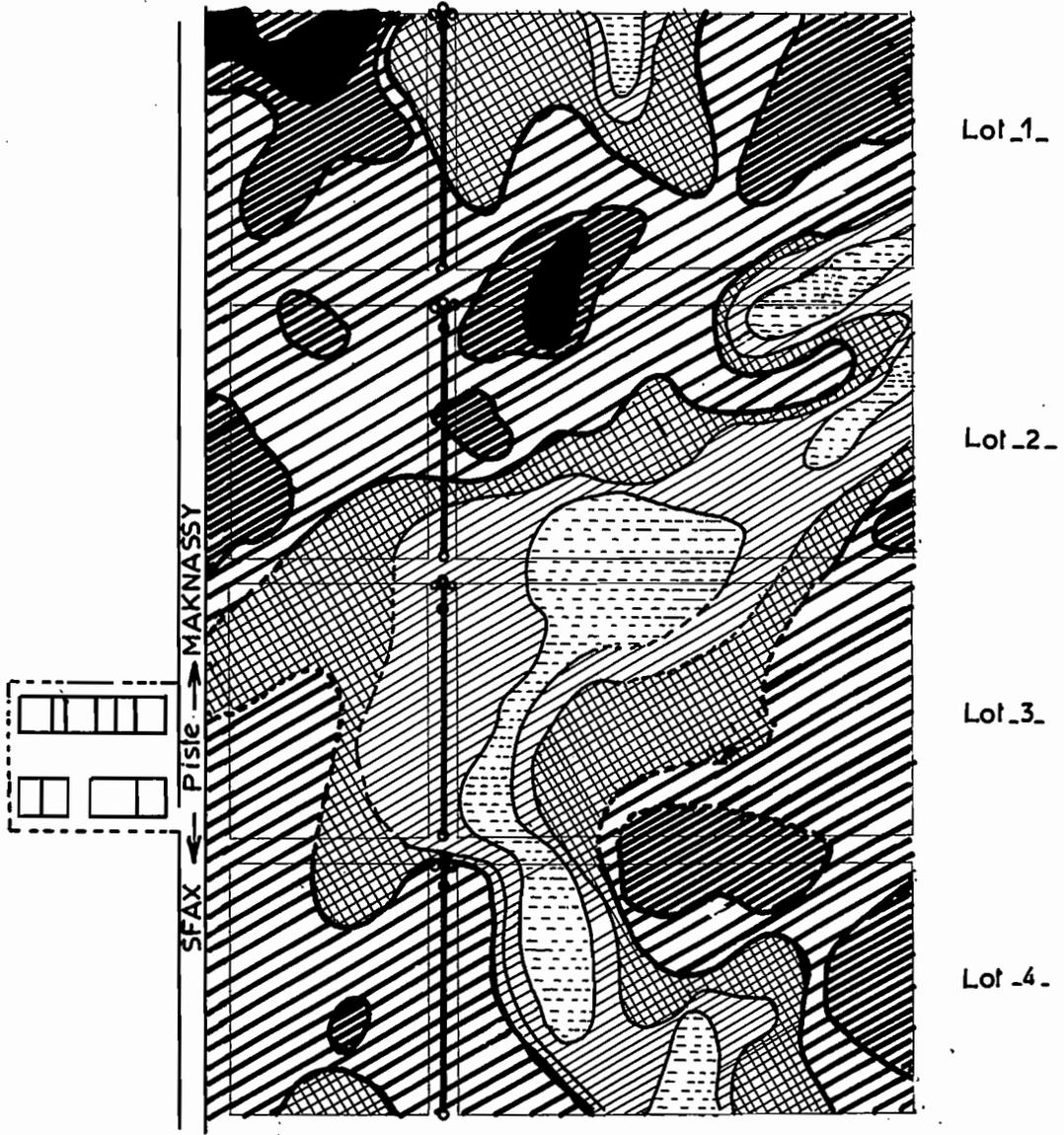
Echelle: 1:2000

STATION EXPERIMENTALE DE KSAR GHERISS  
Teneur en argile et limon fin (0-20 $\mu$ ) Couche 0-10cm



Echelle:1:4000

STATION EXPERIMENTALE DE KSAR GHERISS  
Teneur en argile et limon fin(0-20 $\mu$ ). Profondeur 50cm

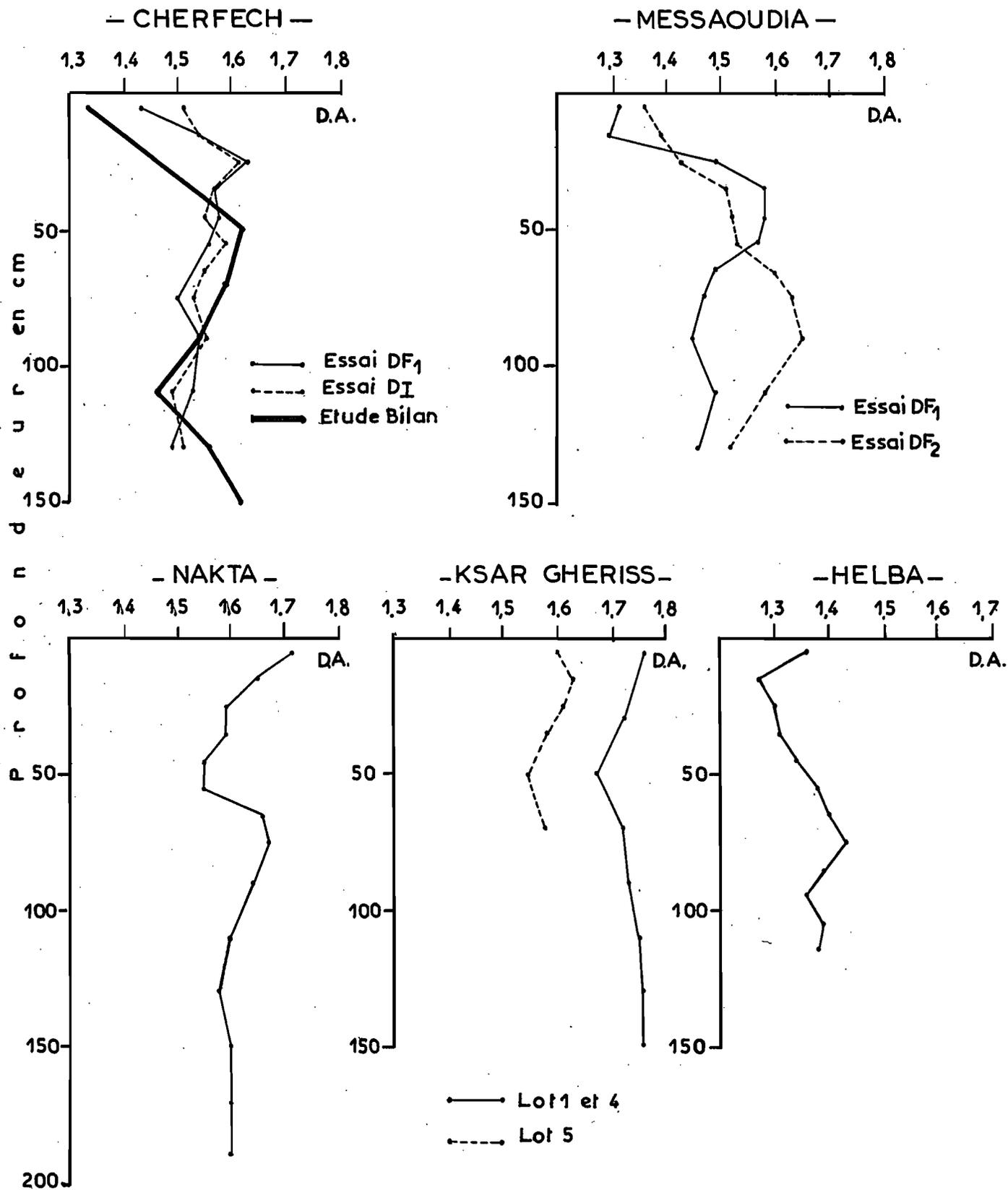


	> 10 %		15-20 %
	10.12		20-25
	12.15		25-30

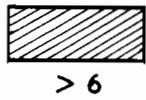
Echelle: 1:4000

- Densité apparente -

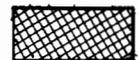
FigIA-f14



STATION EXPERIMENTALE DE CHERFECH  
Indices d'instabilité structurale (0-10cm)



> 6



6-8



8-10



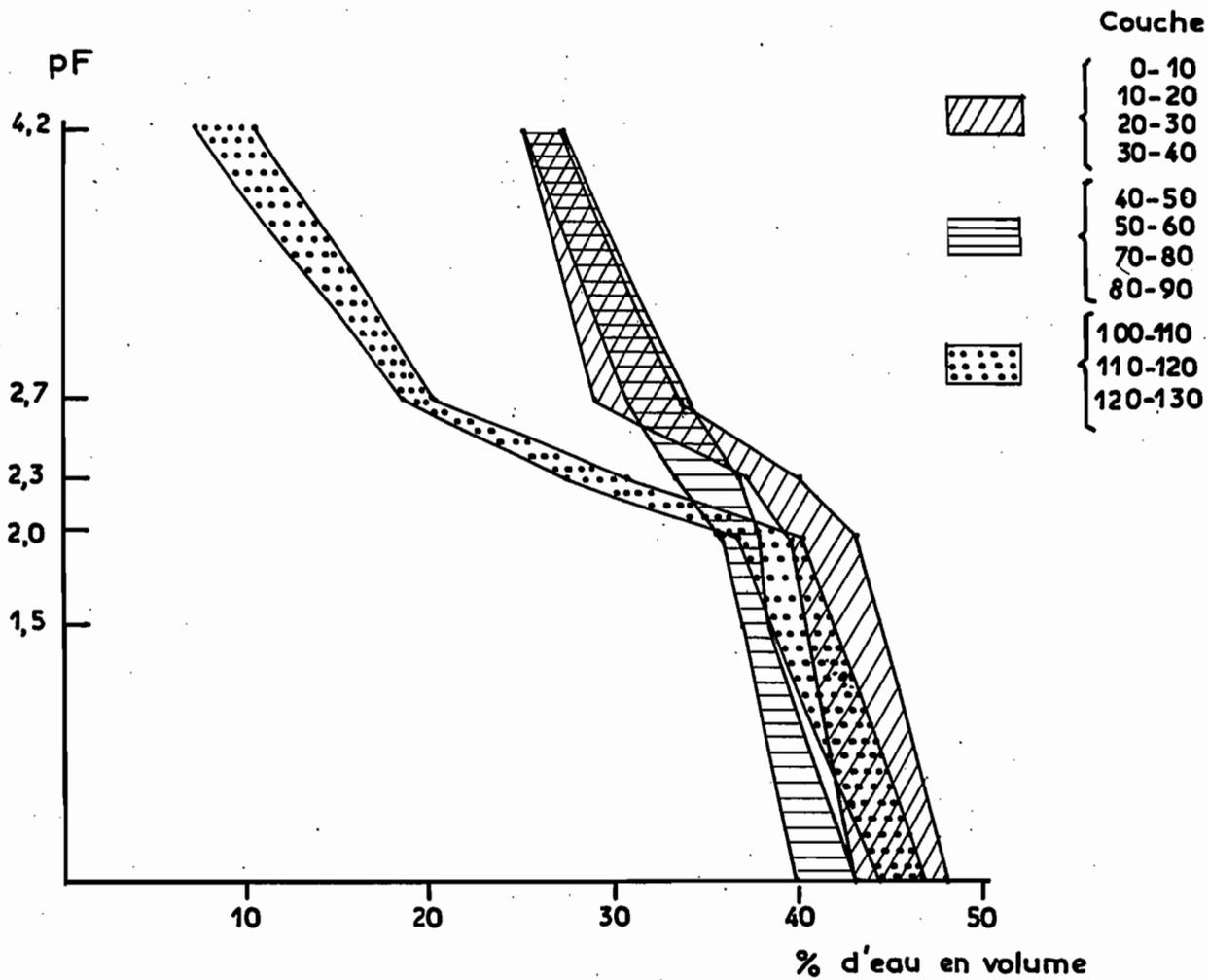
10-12



> 12

Fig I A-f16

— Courbes de pF — Station de Cherfech — Drain 7 —



— Courbes de pF — Station de Cherfech-Drain 13 —

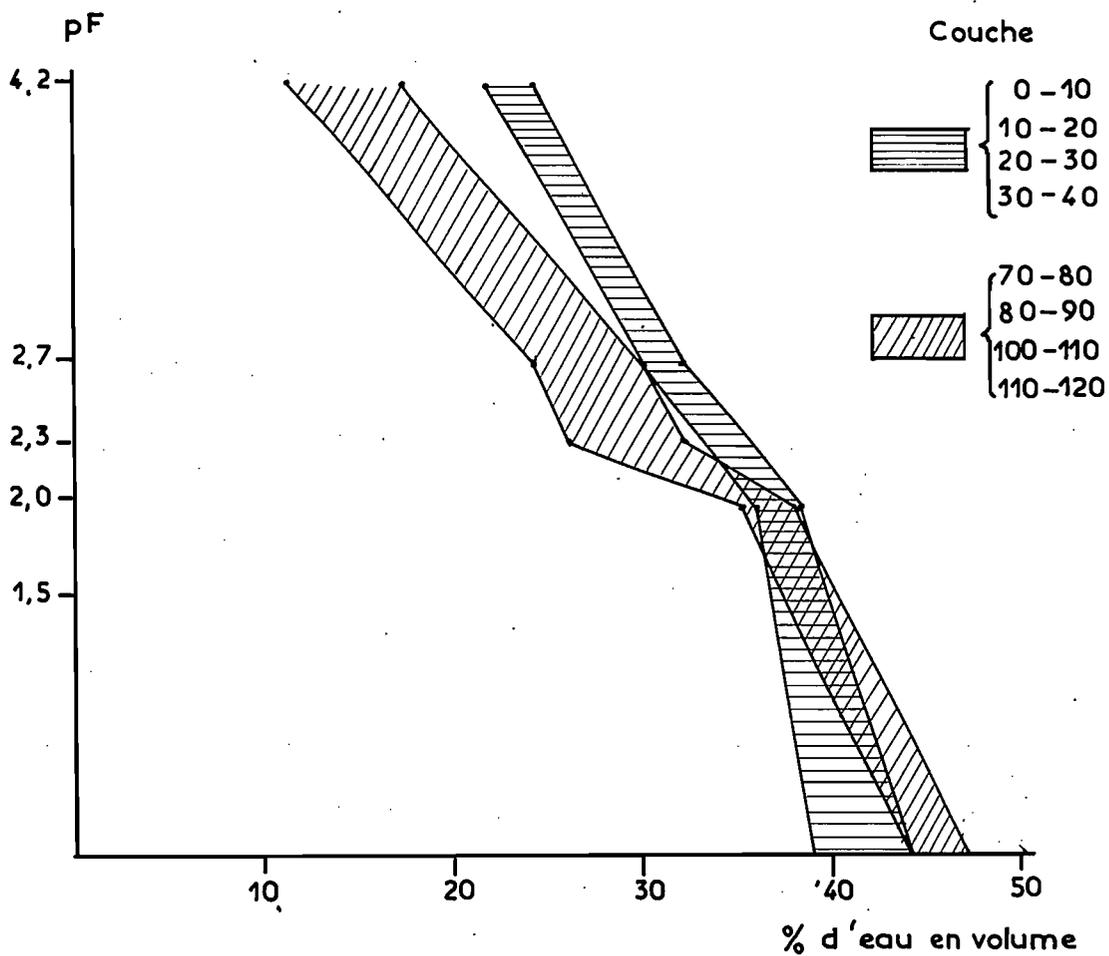
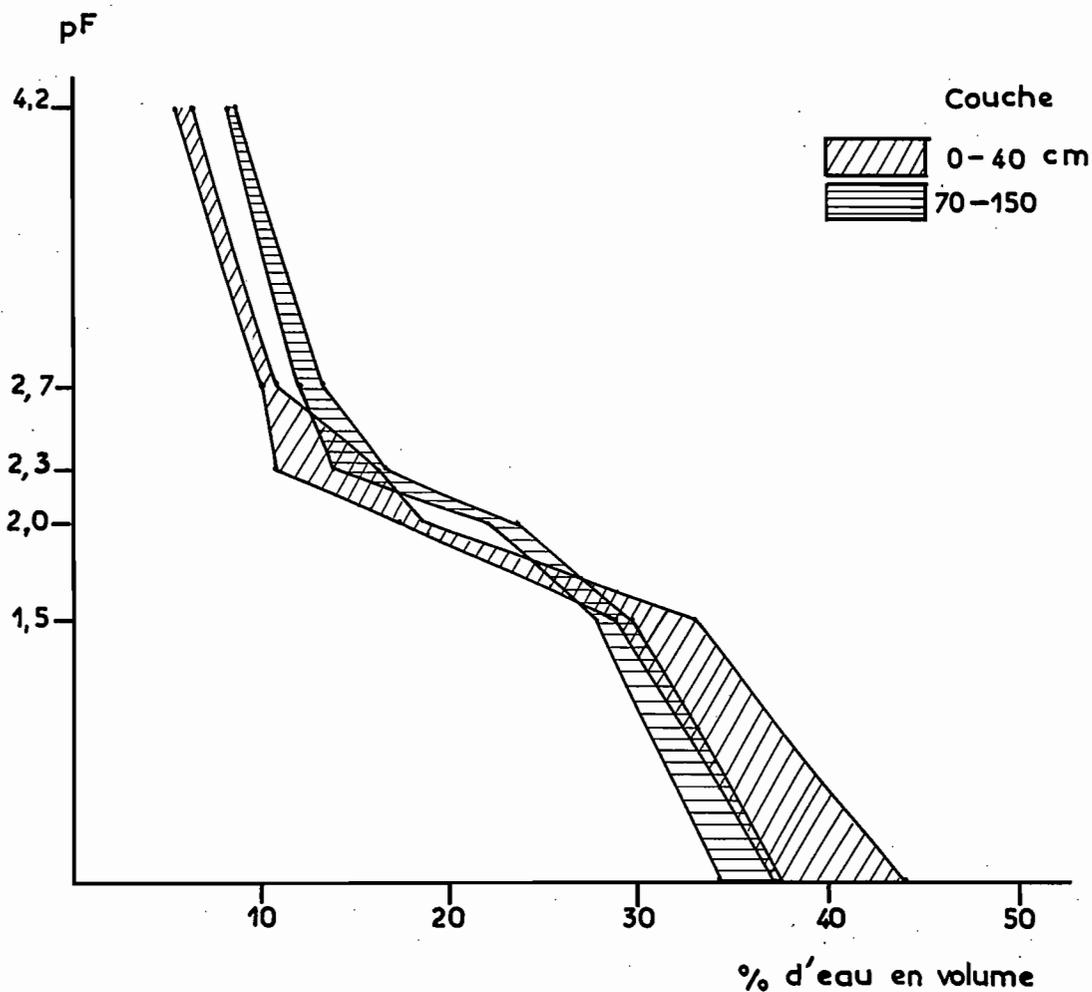
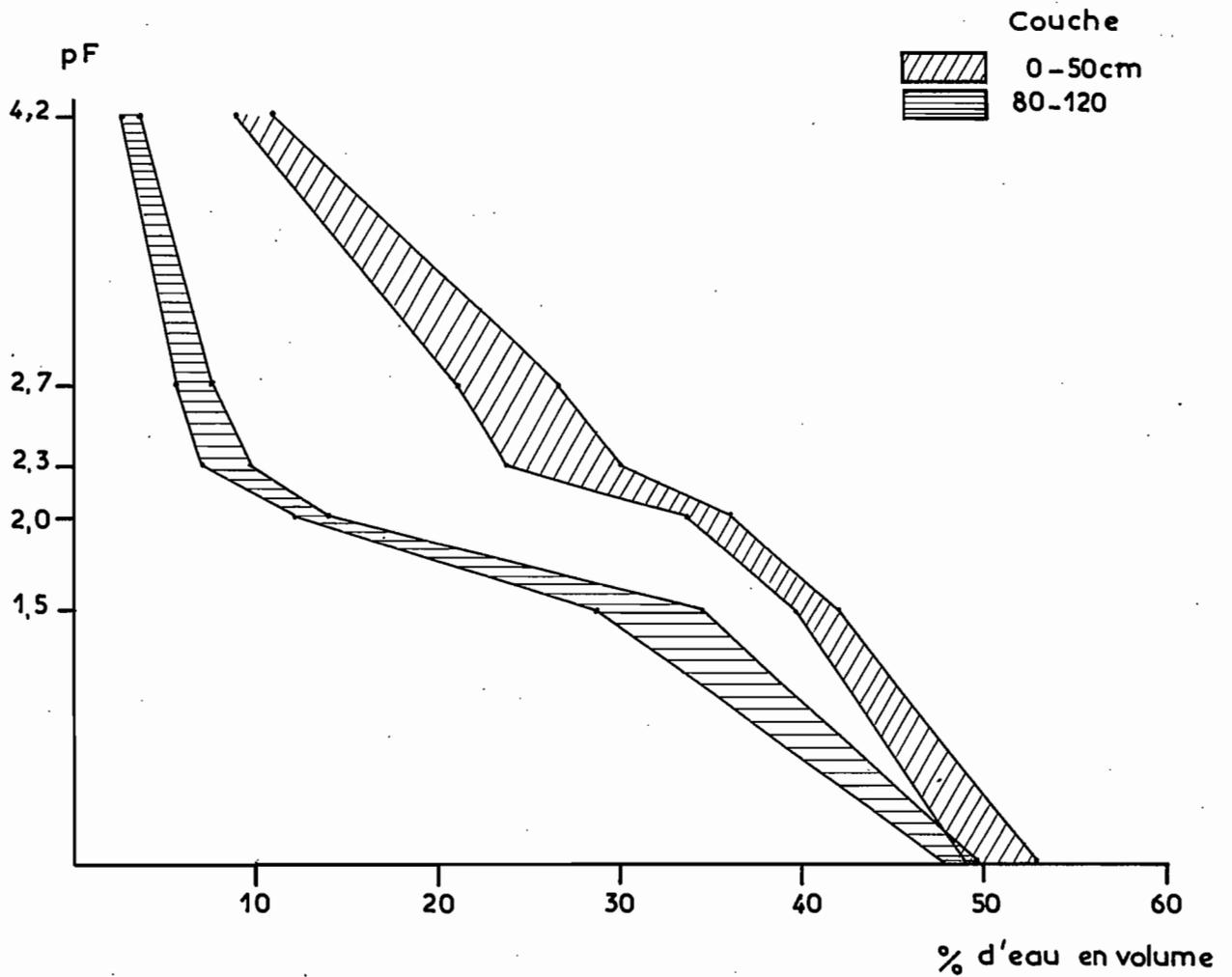


Fig IA-f18

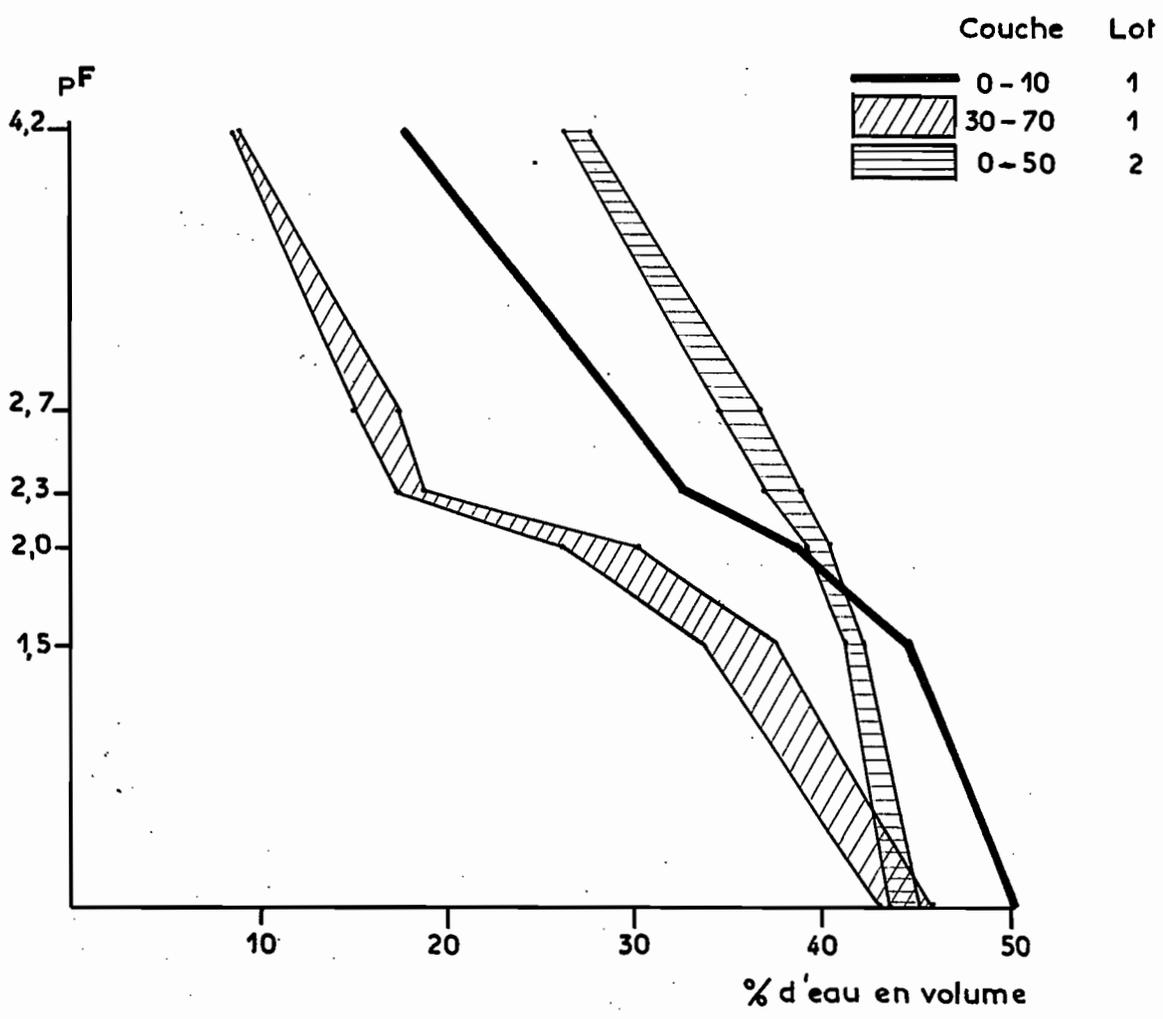
— Courbes de pF — Station de Ksar Ghériss —



— Courbes de pF — Station de Helba —

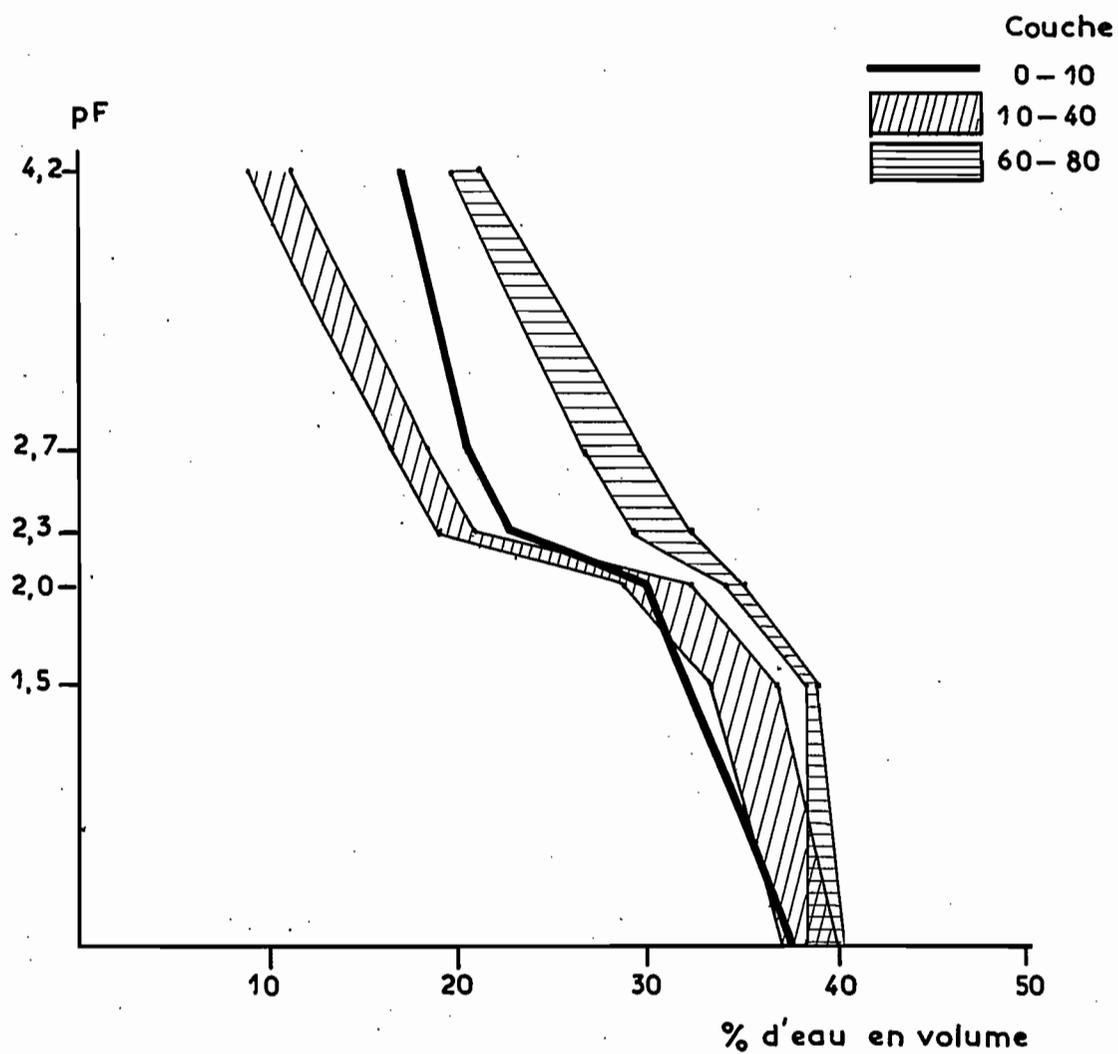


— Courbes de pF — Station de Messaoudia —

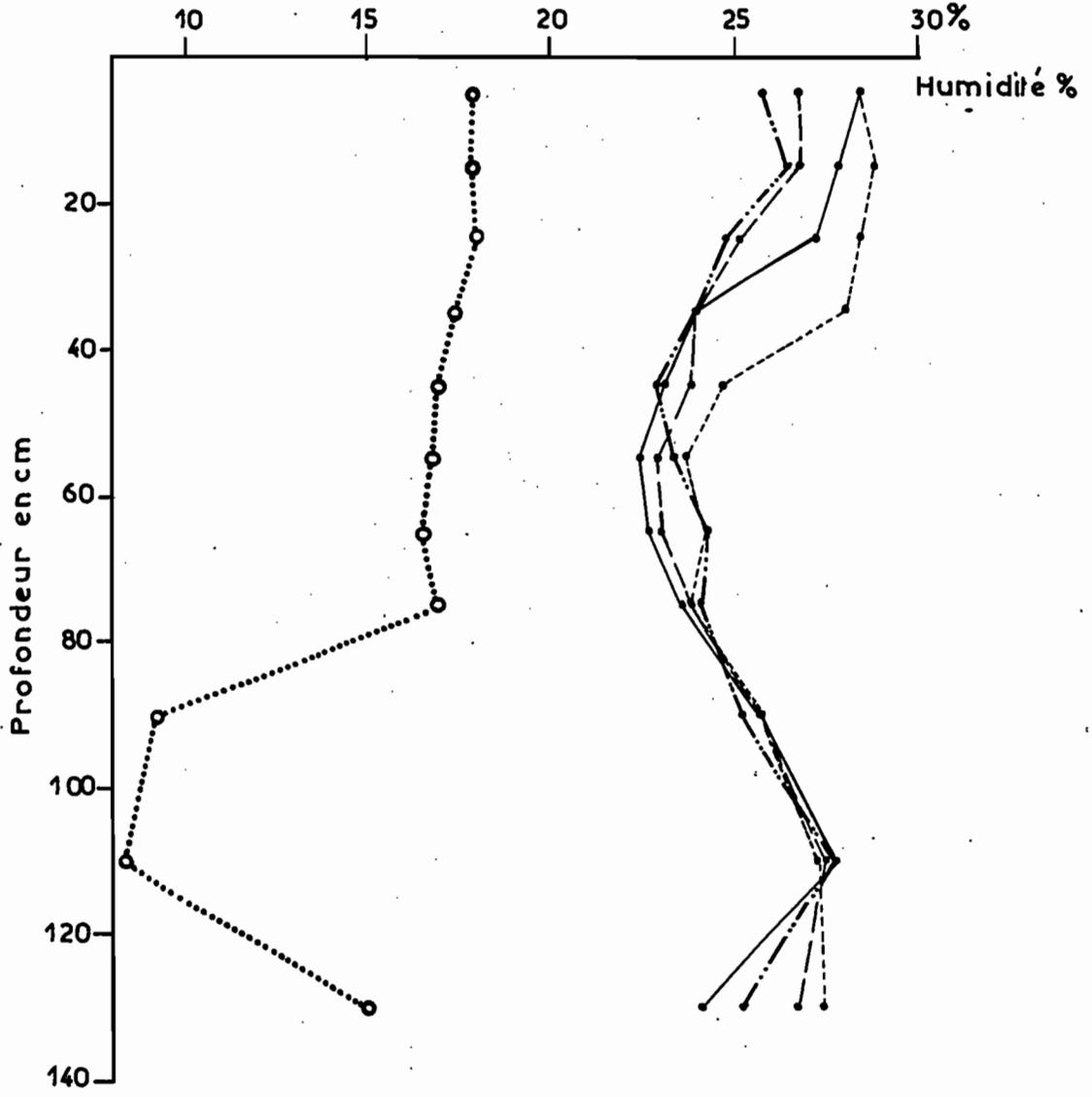


FigIA-f 21

— Courbes de pF — Station de Nakta —

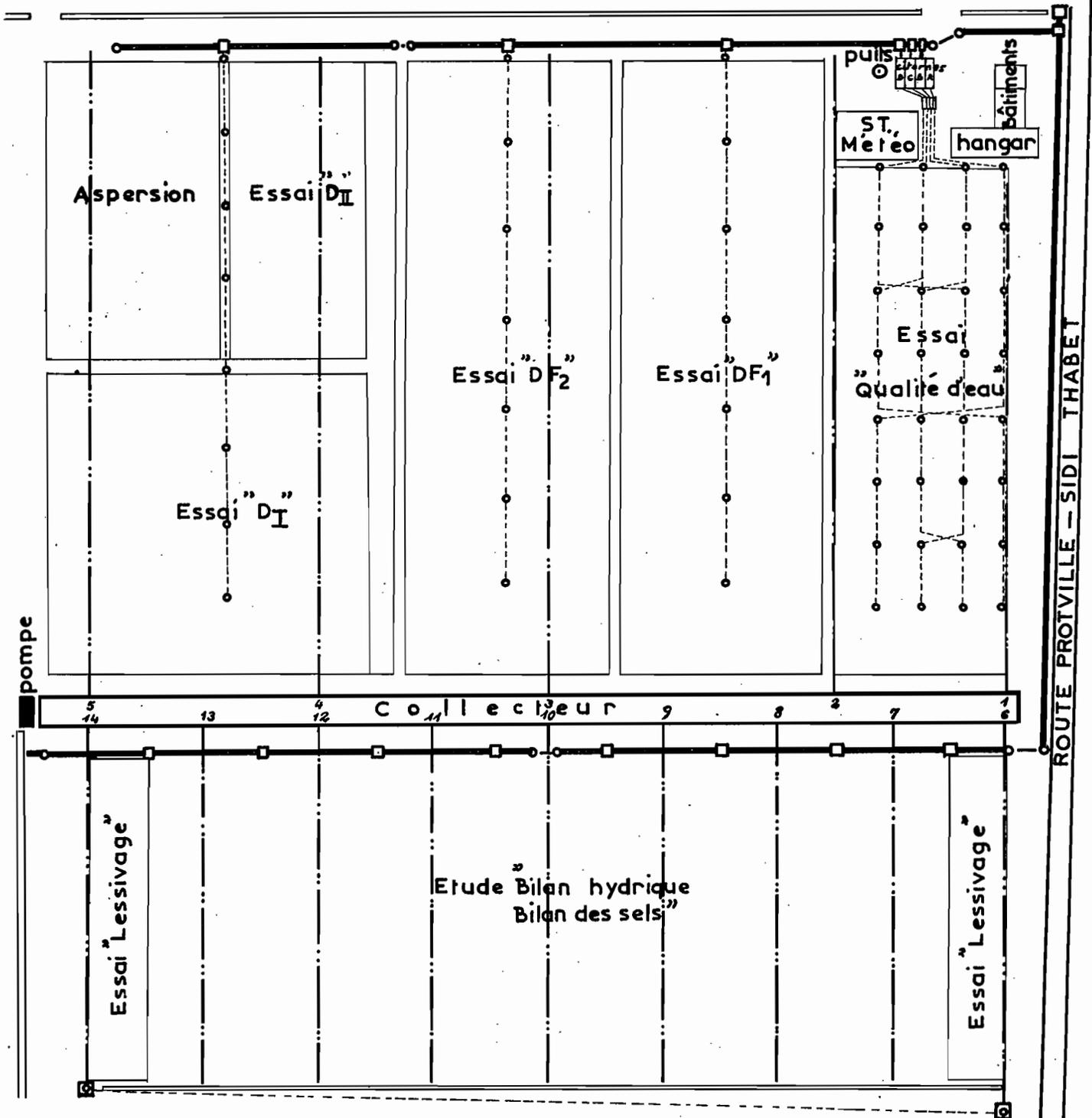


— CHERFECH— Profils hydriques au ressuyage après des pluies en hiver



- Drain 8 — 3.1.1967
- · - · - Drain 12 — 3.1.1967
- - - - Drain 7 — 30.1.1968
- - - - Drain 13 — 30.1.1968
- · · · · · ○ Point de flétrissement (pF=4.2)

— STATION EXPERIMENTALE DE CHERFECH —

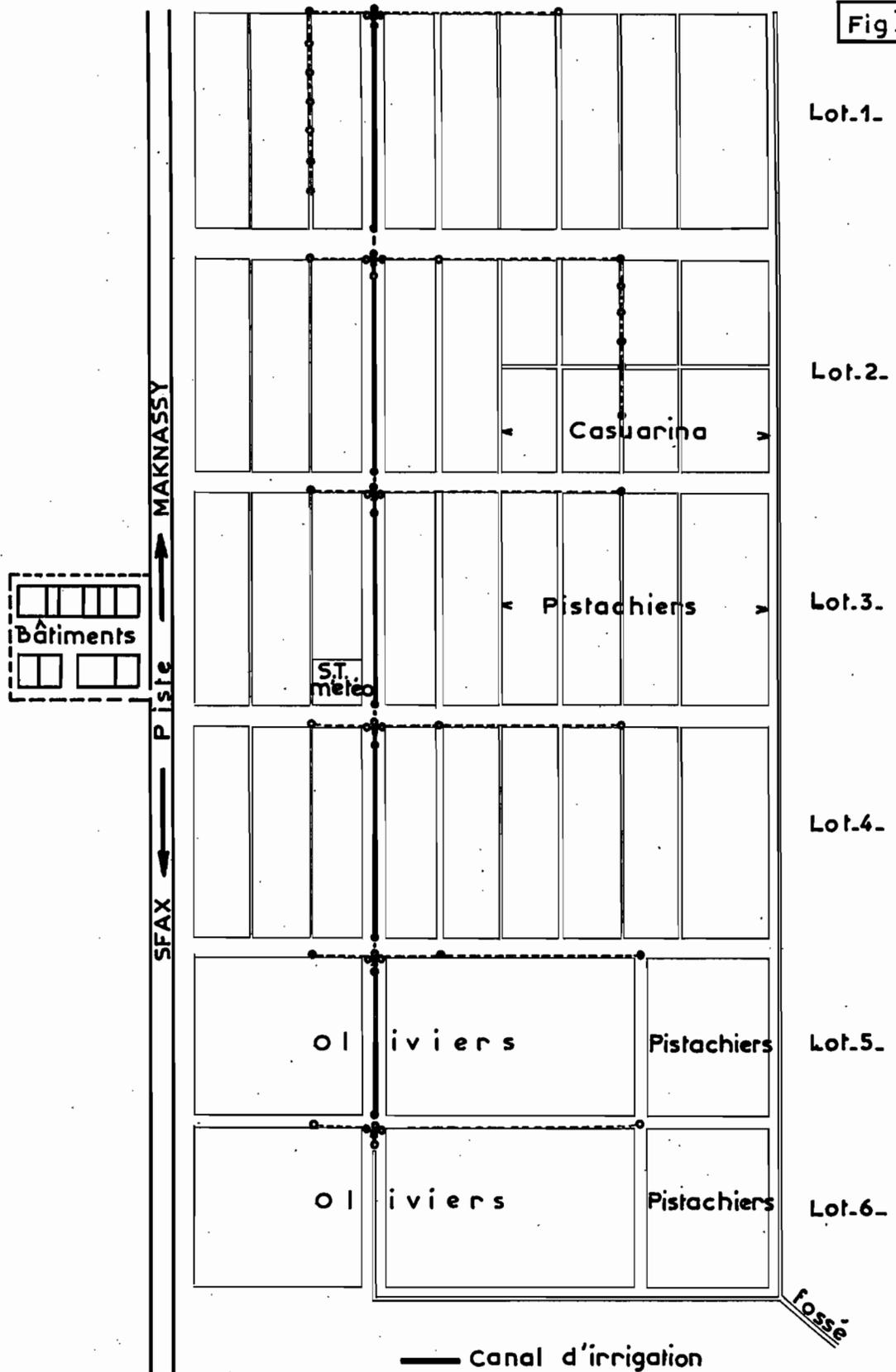


- Canal d'irrigation
- - - Conduite souterraine
- · · Drain
- Prise dans canal d'irrigation
- Hydrant sur conduite souterraine
- ==== Fossé collecteur

— ECHELLE = 1:2000 —

— STATION EXPERIMENTALE DE KSAR GHERISS —

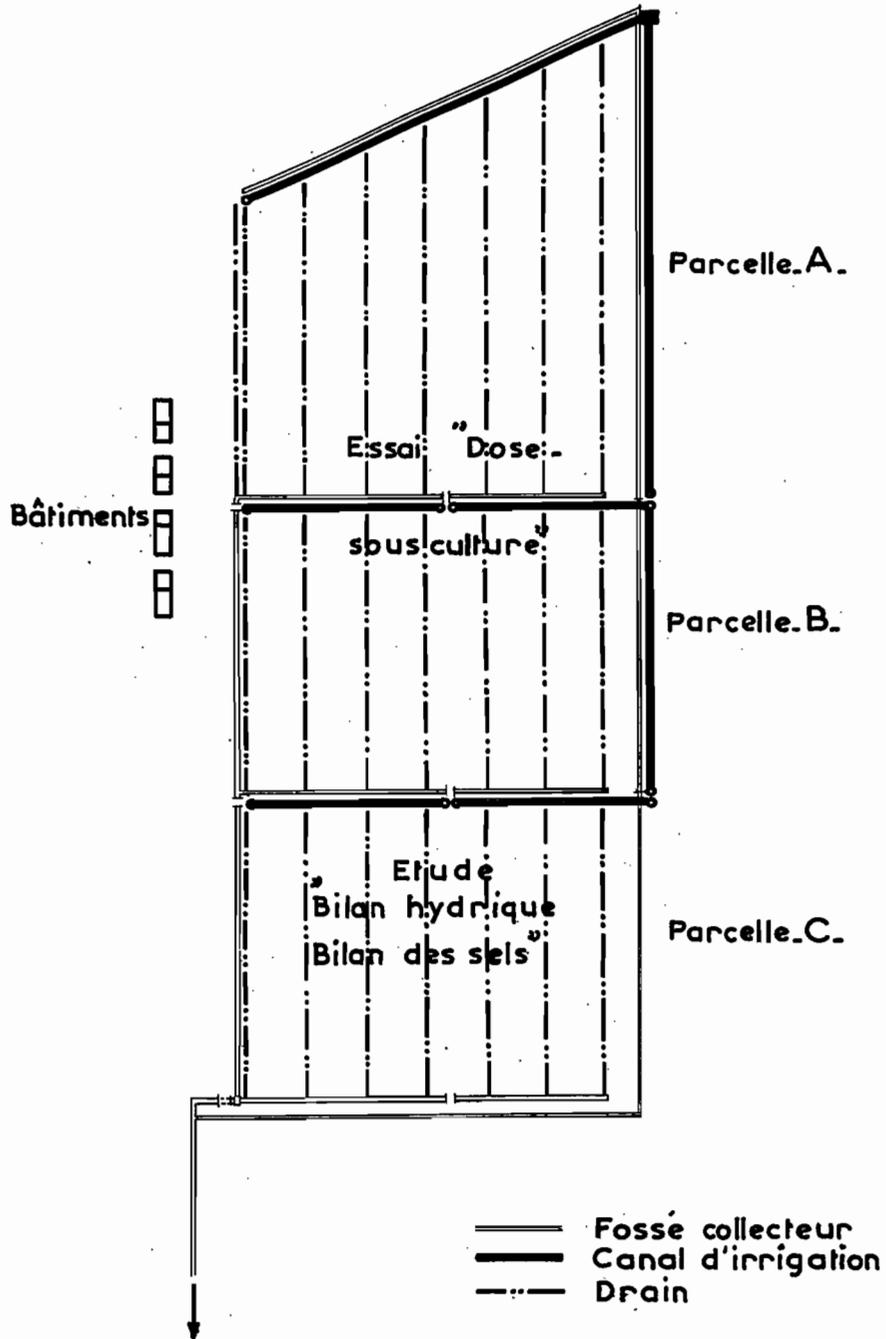
Fig IA-f24



- Canal d'irrigation
- - - - Conduite souterraine
- o Hydrant sur conduite souterraine

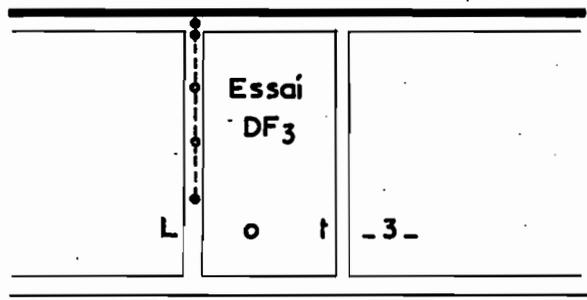
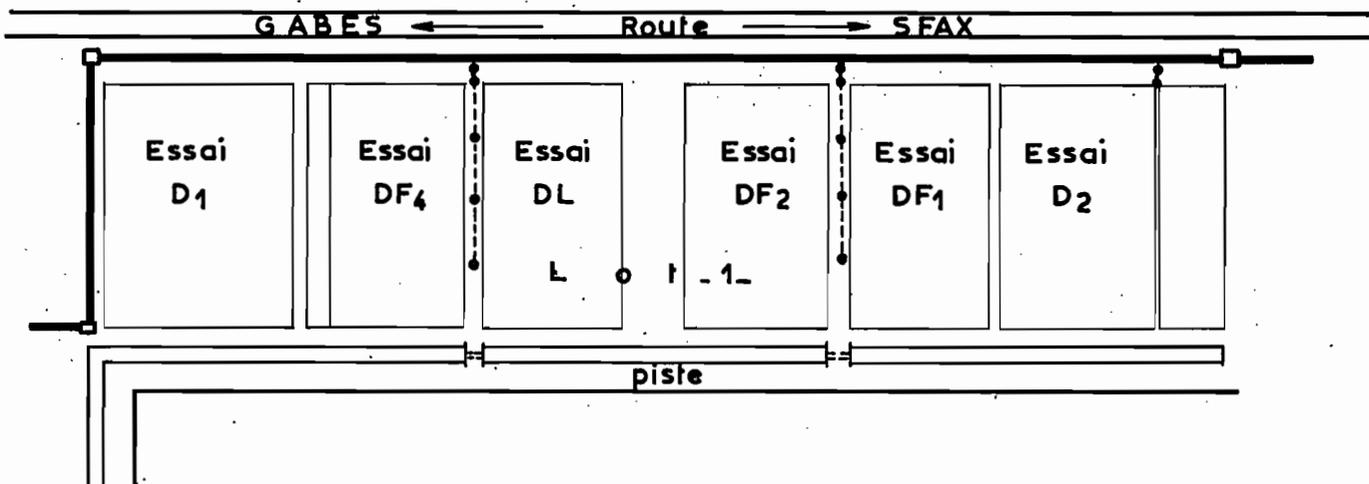
— ECHELLE 1:4000 —

— STATION EXPERIMENTALE DE HELBA (Tozeur) —



— STATION EXPERIMENTALE DE NAKTA —

C.R.D.A — SFAX

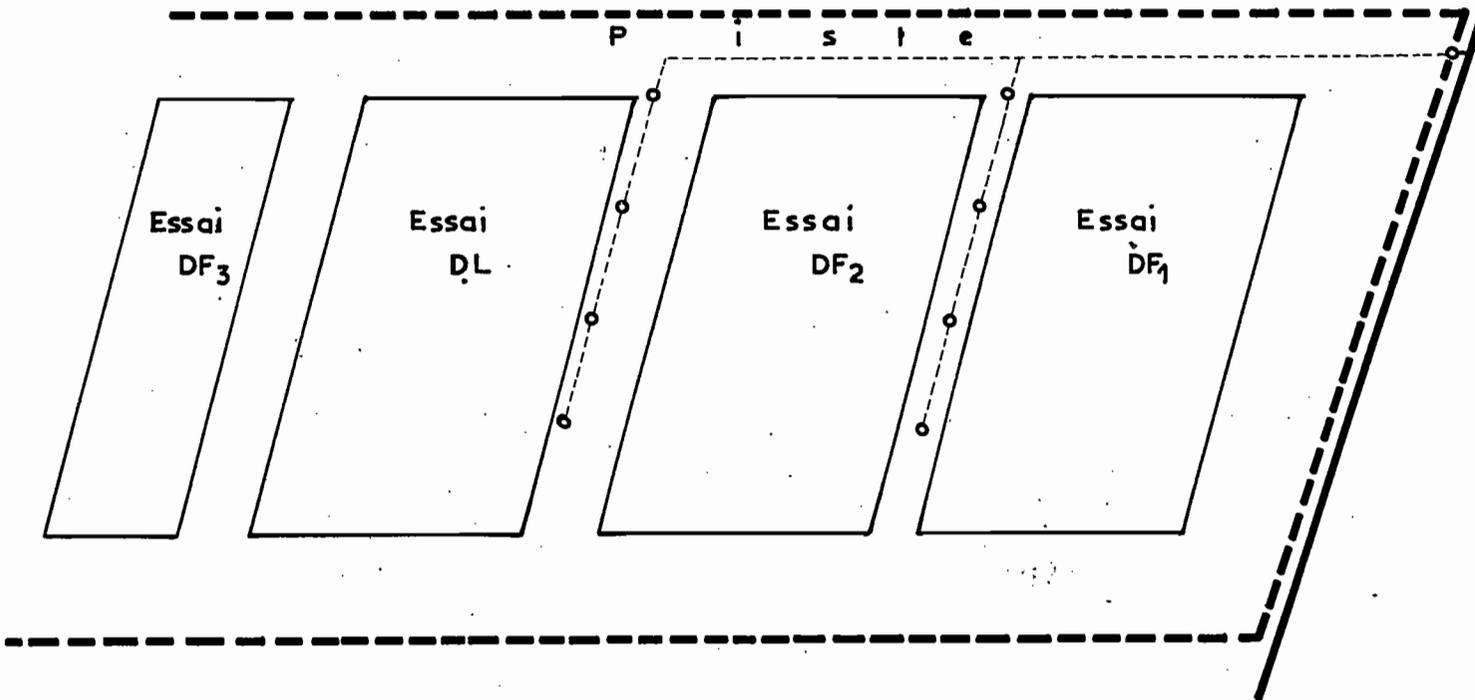


- Canal d'irrigation
- - - - - Conduite souterraine
- o Hydrant sur conduite souterraine
- ==== Fossé collecteur

— ECHELLE: 1:4000 —

Fig IA-f 27

— STATION EXPERIMENTALE DE MESSAOUDIA —



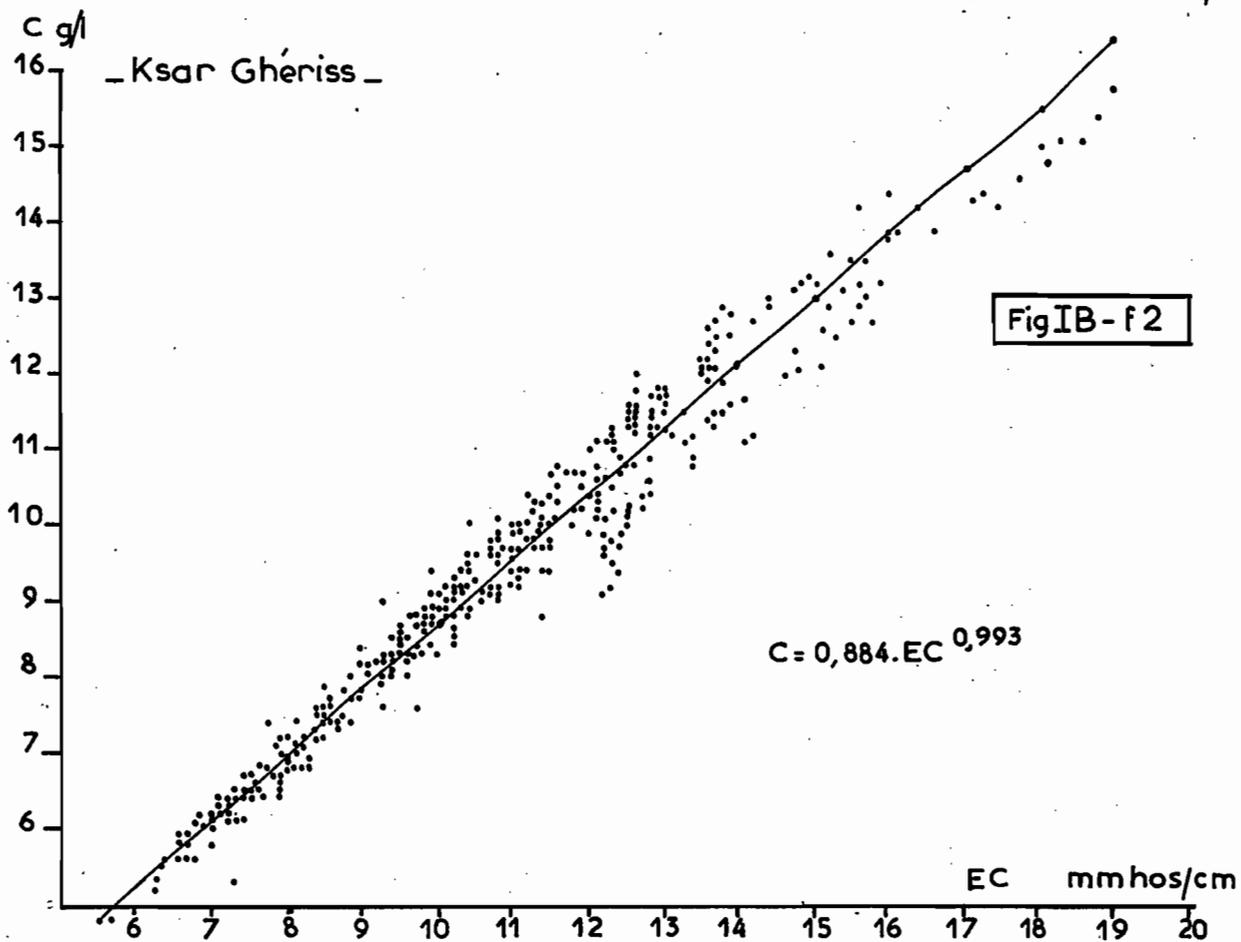
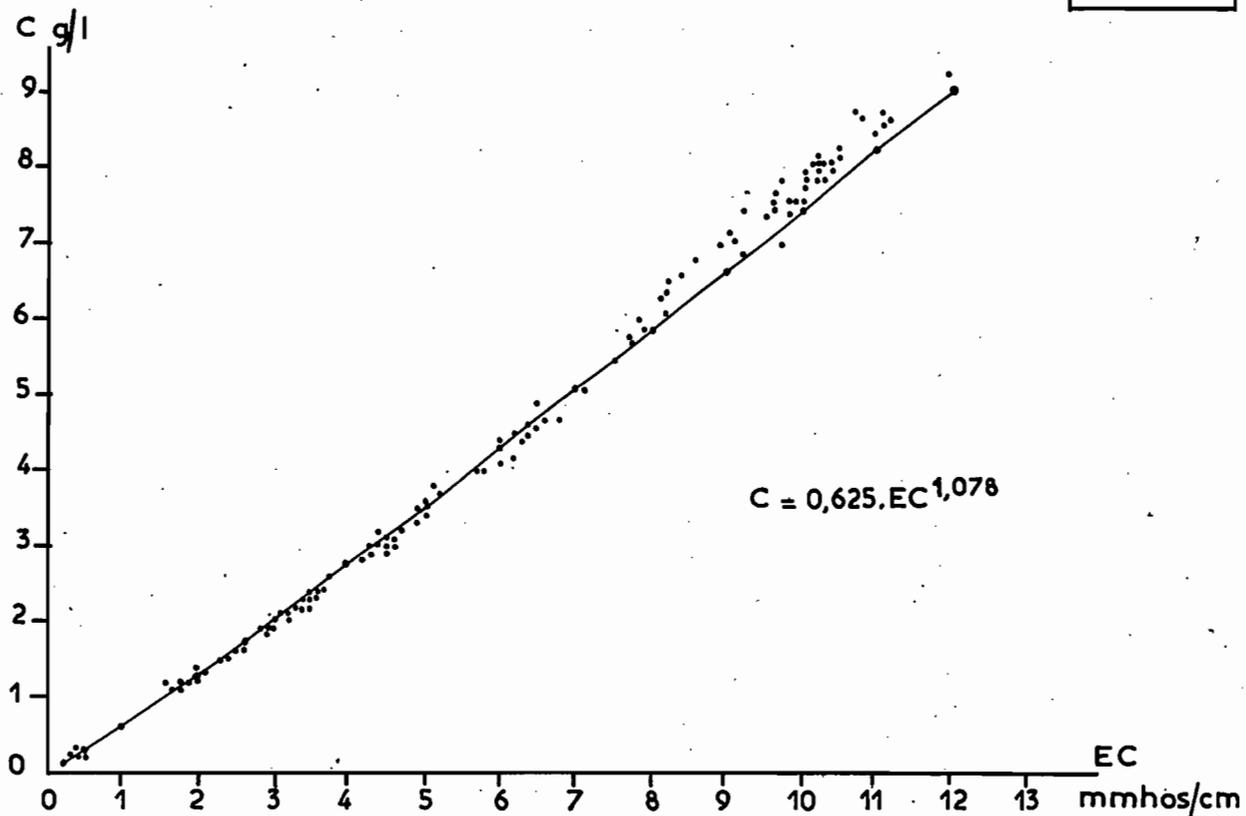
- Canal d'irrigation
- Limite de la parcelle
- Conduite souterraine
- o Hydrant sur conduite souterraine

— ECHELLE = 1:2000 —



Cherfech - Corrélation entre la conductivité électrique (EC) en mmhos/cm et la concentration (C) en g/l.

FigIB-f1



FigIB-f2

Tozeur - Corrélation entre la conductivité électrique (EC) en mmhos/cm et la concentration (C) en g/l

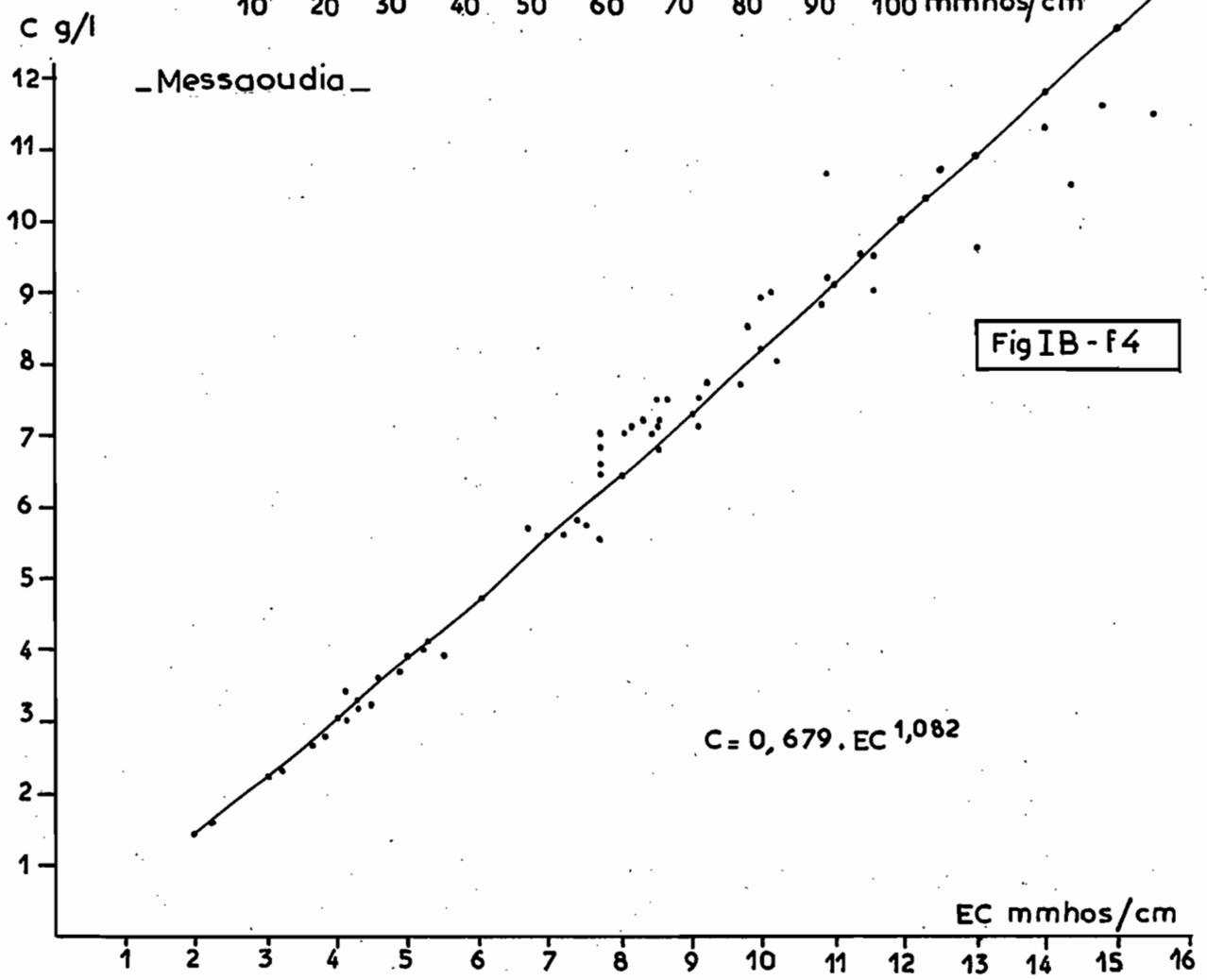
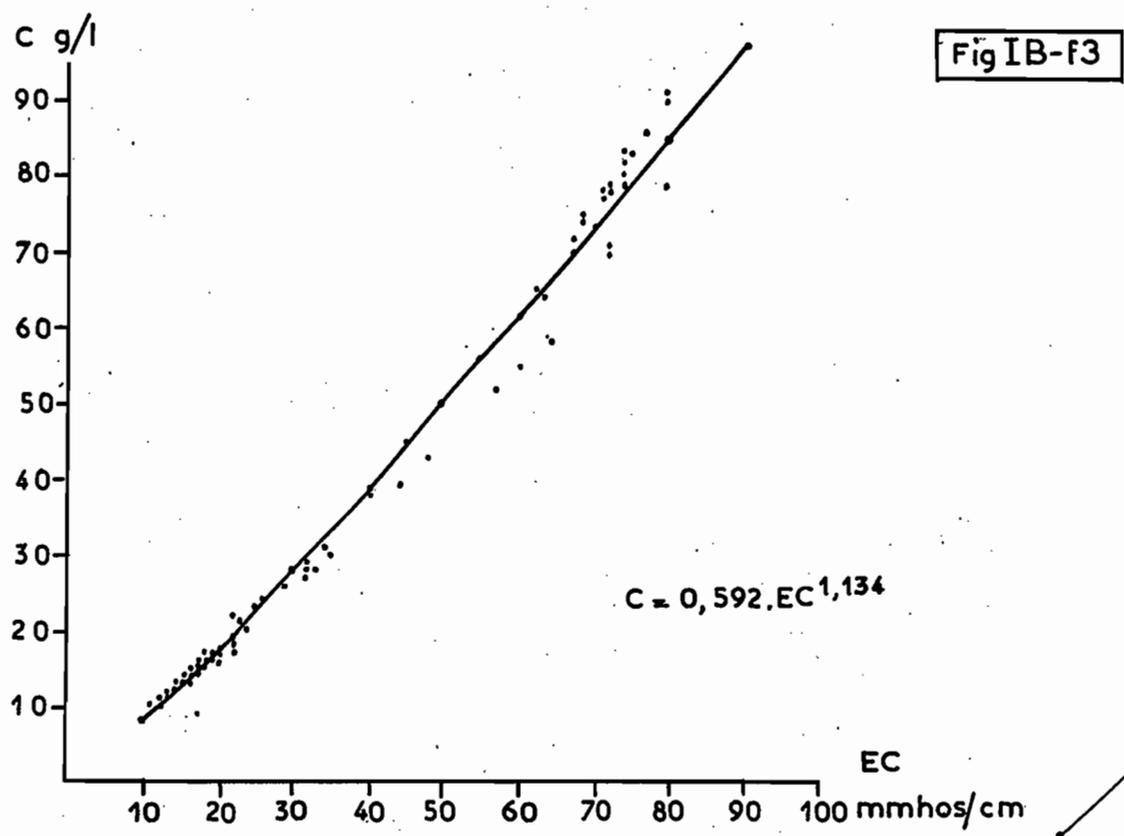
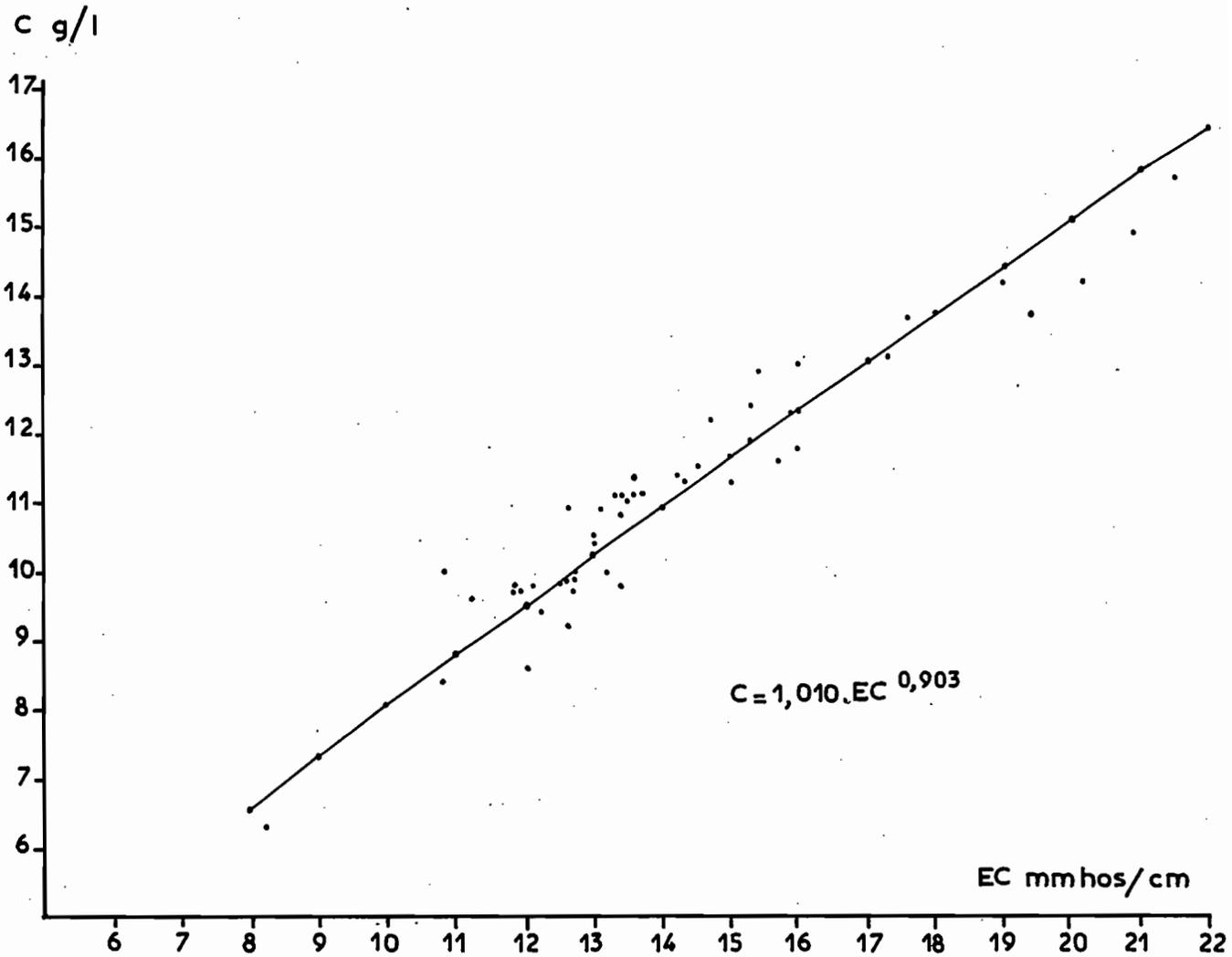
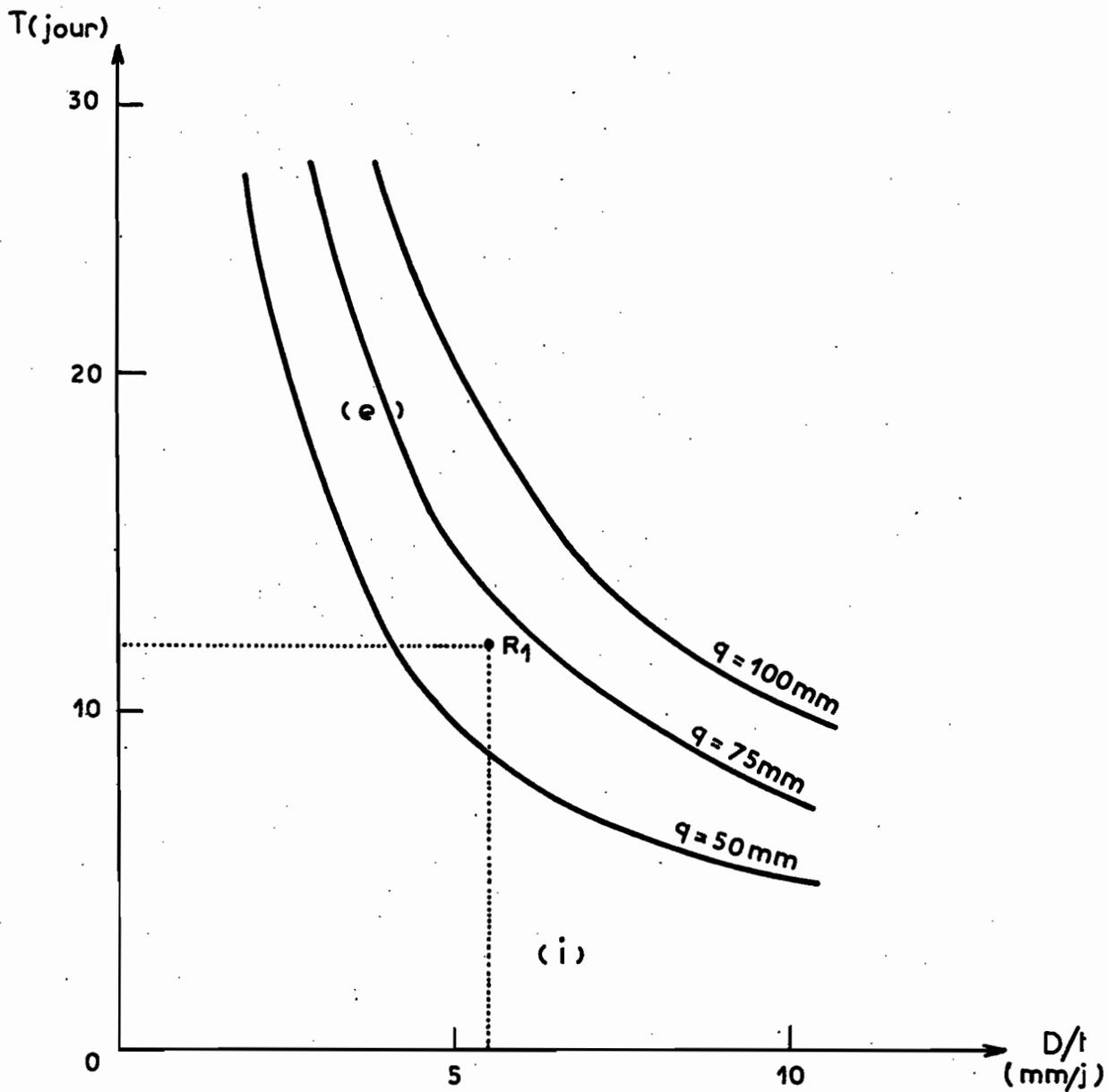


Fig IB - f 5

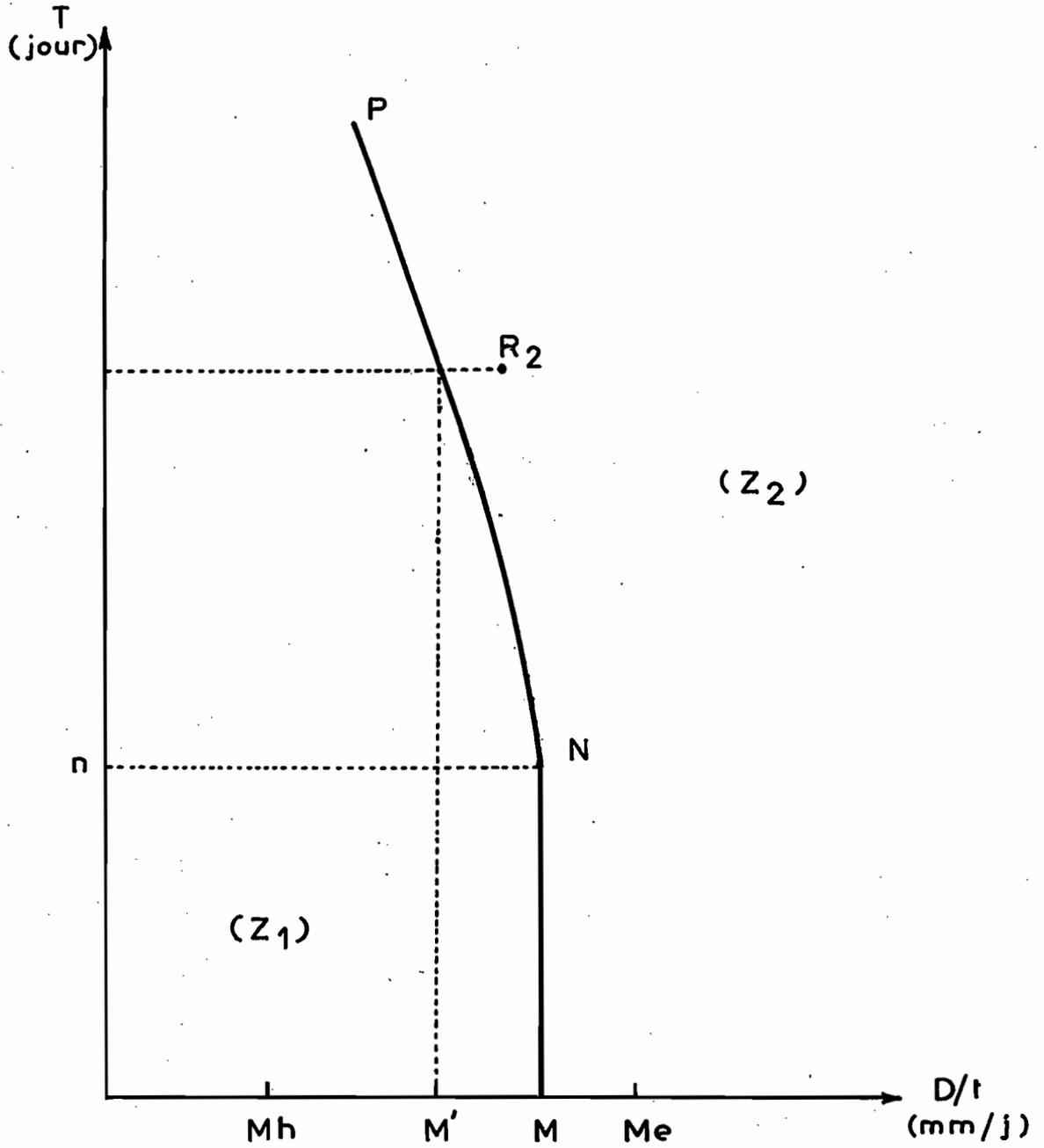
-Nakta- Corrélation entre la conductivité électrique (EC) en mmhos/cm et la concentration (C) en g/l



Relation entre apport moyen ( $D/t$ ), période ( $T$ ) et volume par intervention ( $q$ )



Relation entre apport moyen ( $D/t$ ), période ( $T$ ) et consommation



FigIB-f 8

Schéma représentatif des régimes adoptés

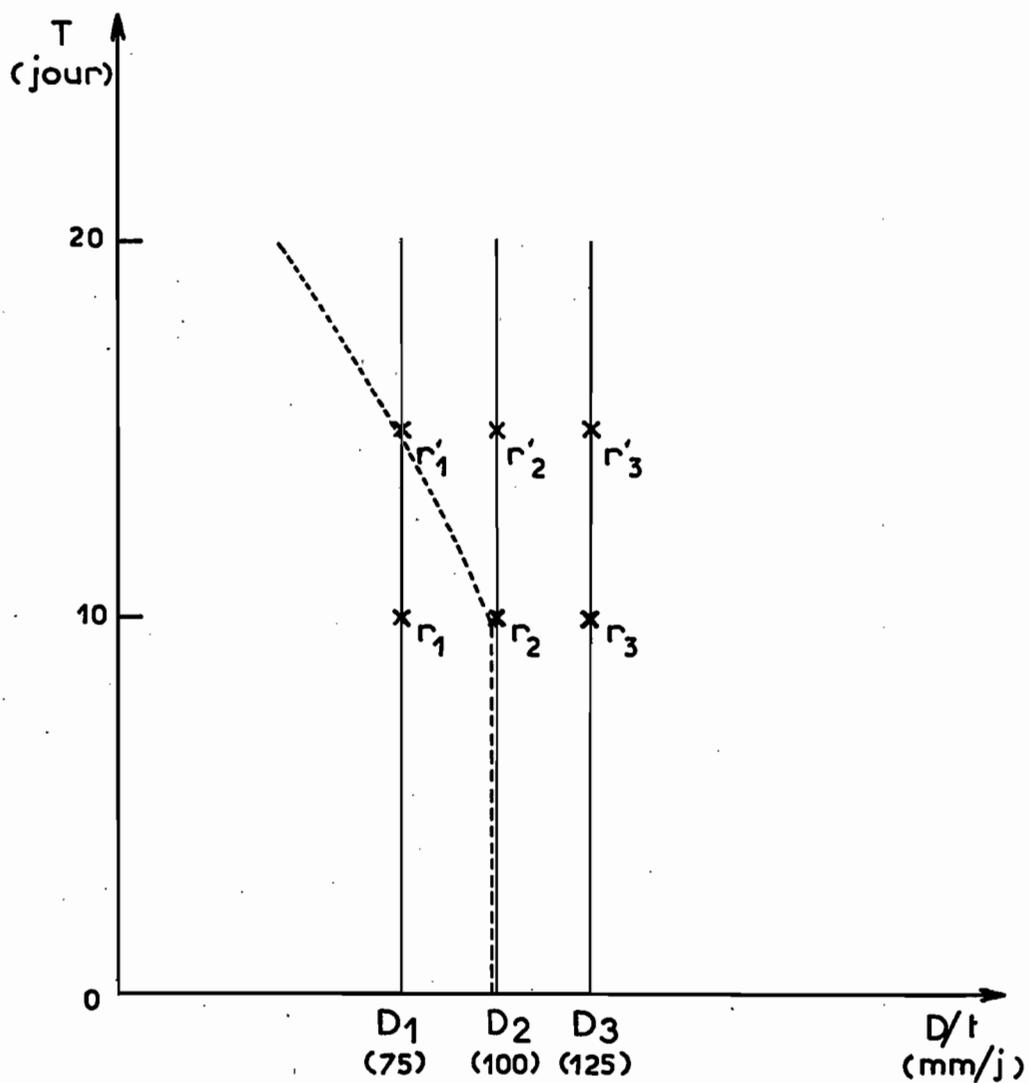


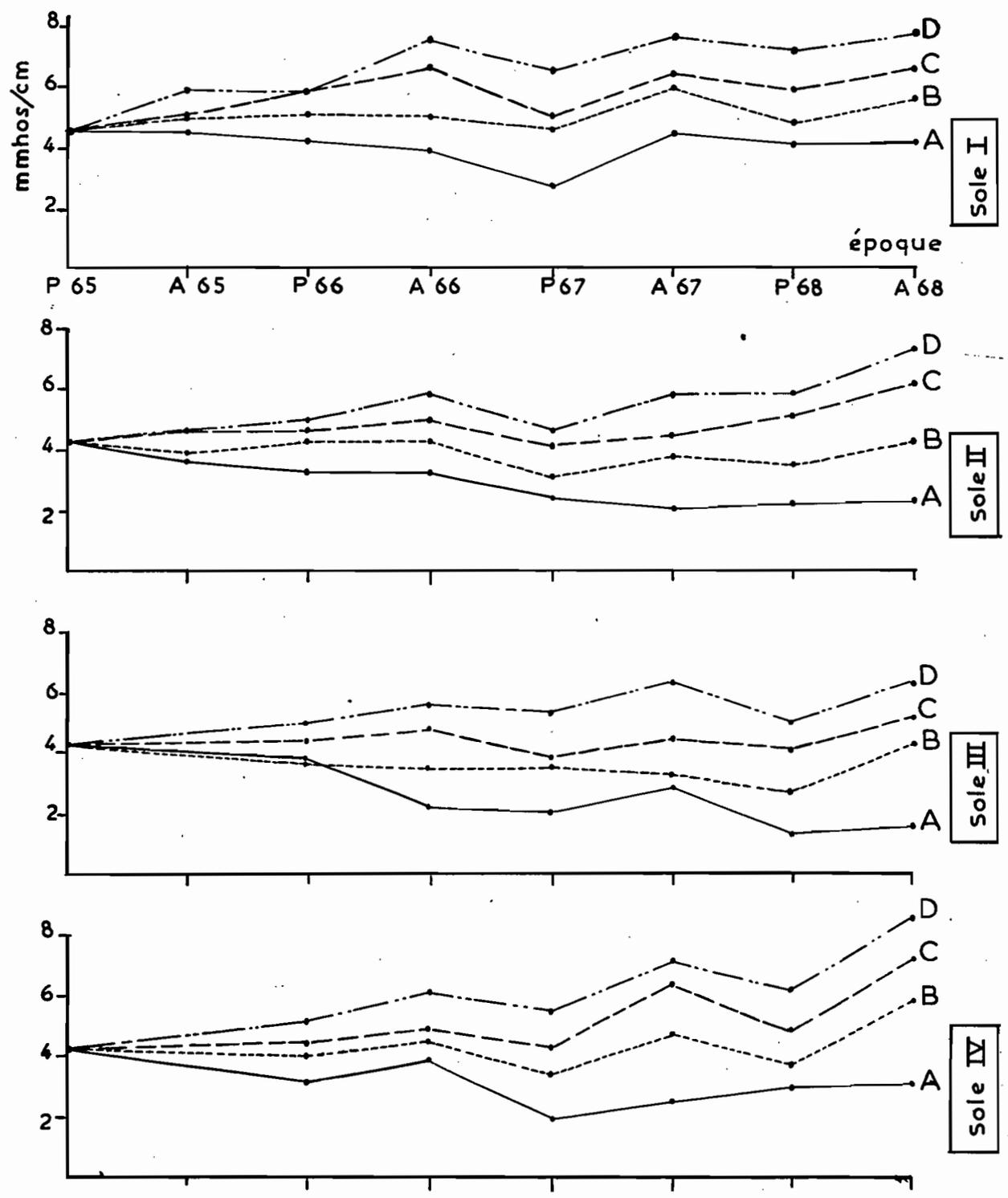
Fig II A-f1

- Cherfech - Essai Q.D.E. - Soles I, II, III, IV

Evolution de l'ECe dans la couche 0-150cm (traitements A, B, C, D)

P = printemps  
A = automne

Qualité A  
B  
C  
D



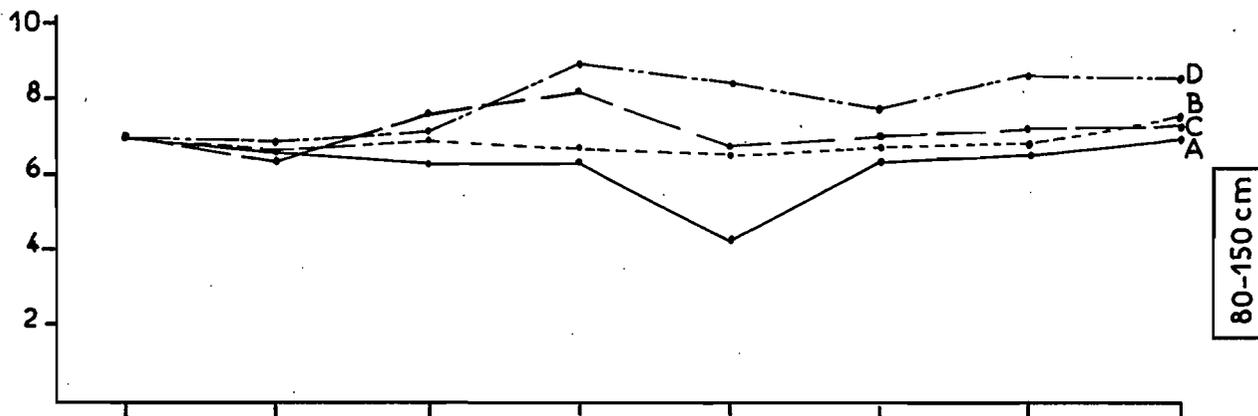
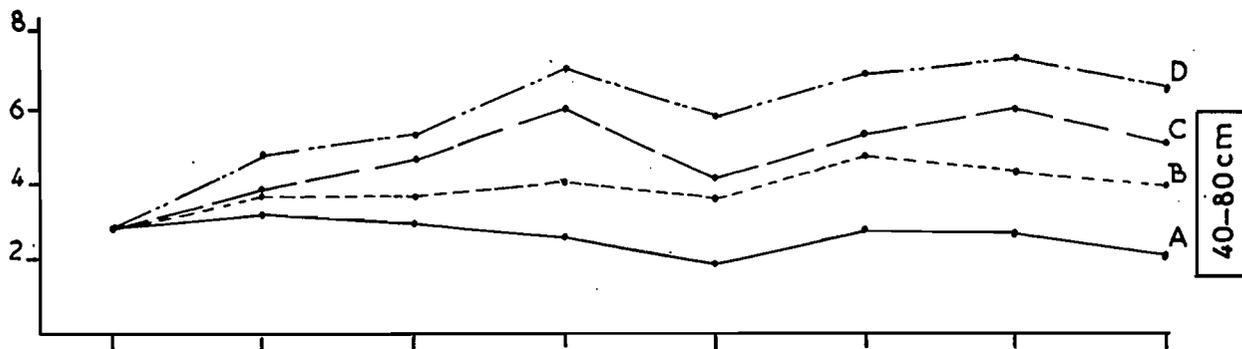
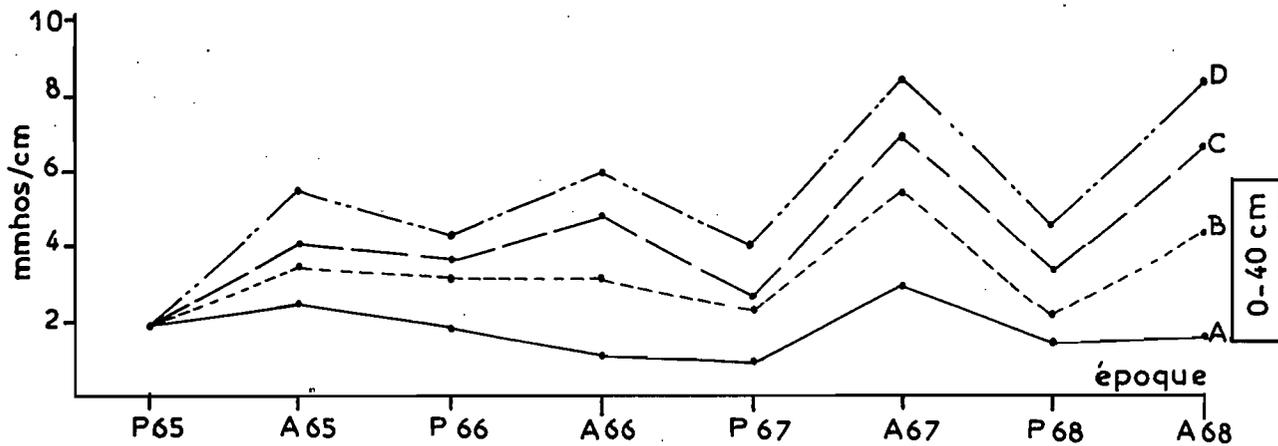
FigIIA-f 2

-Cherfech- Essai QDE. Sole I

Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche (traitements A.B.C.D.)

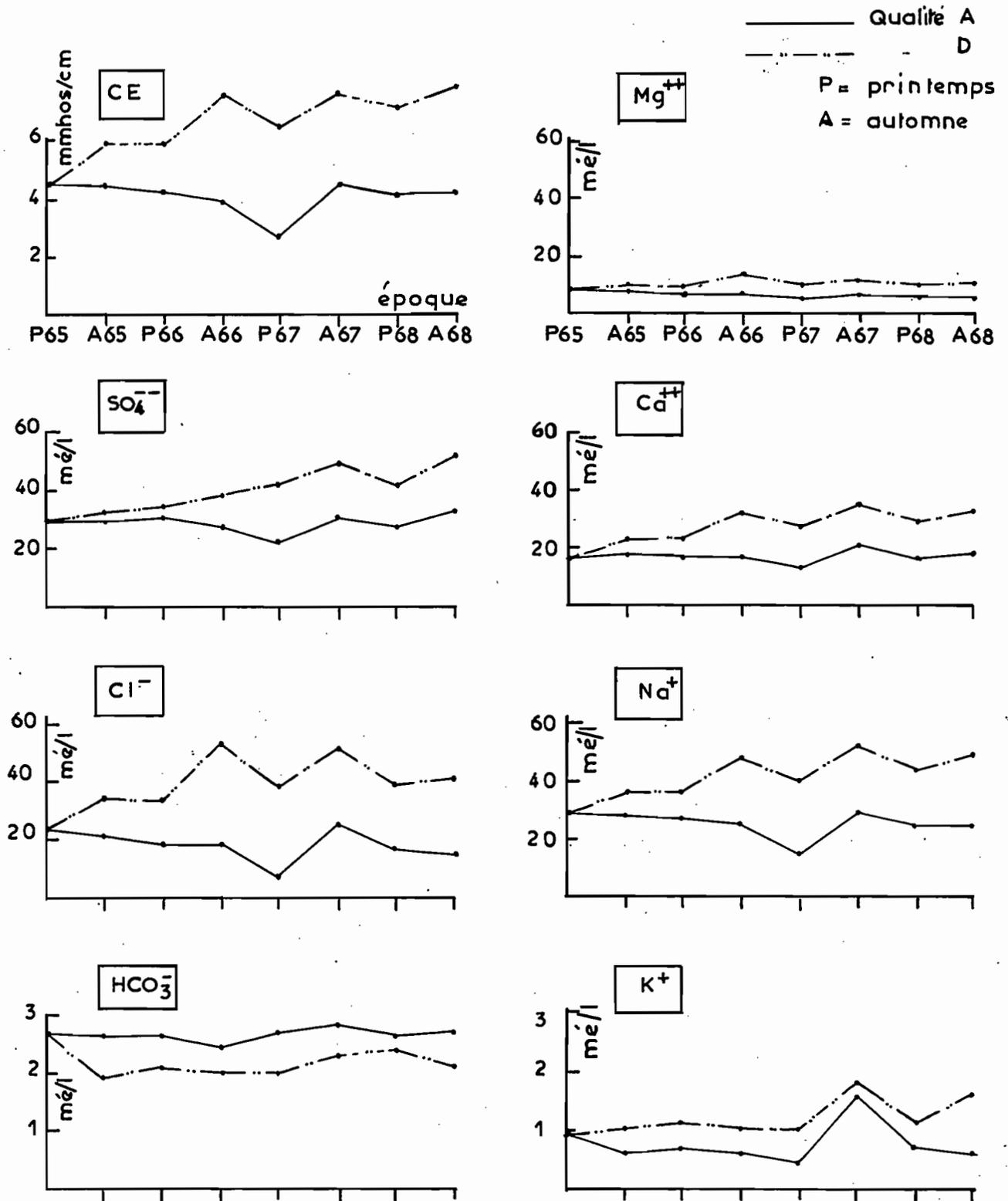
P = printemps  
A = automne

Qualité A ———  
B - - - - -  
C - - - - -  
D - - - - -



- Cherfech - Essai Q.D.E. Sole I

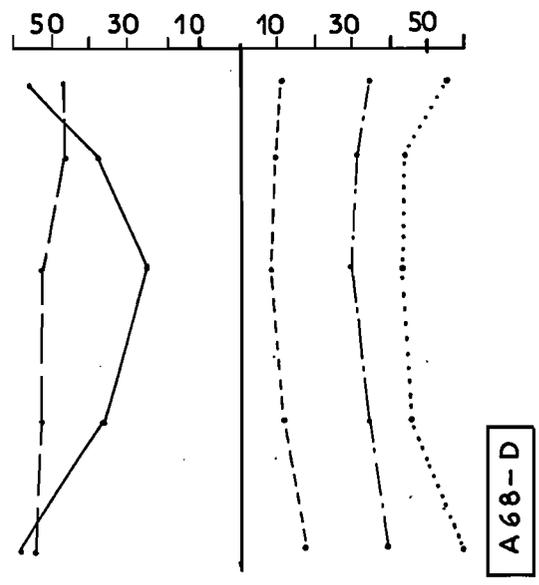
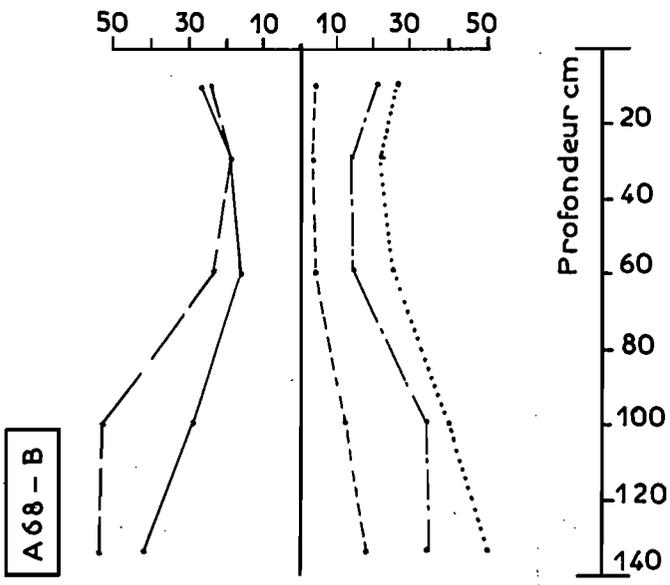
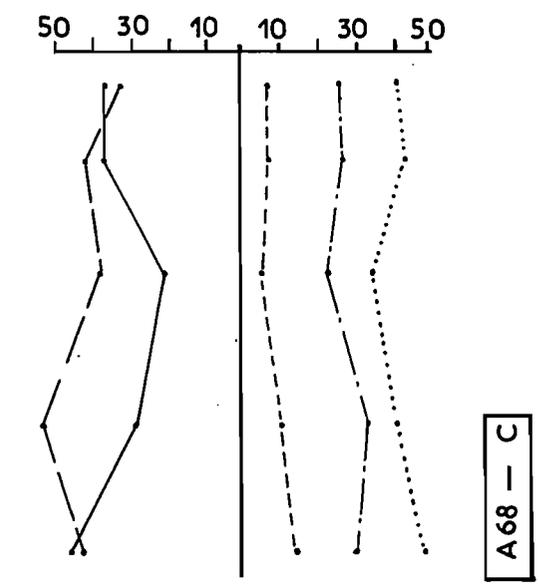
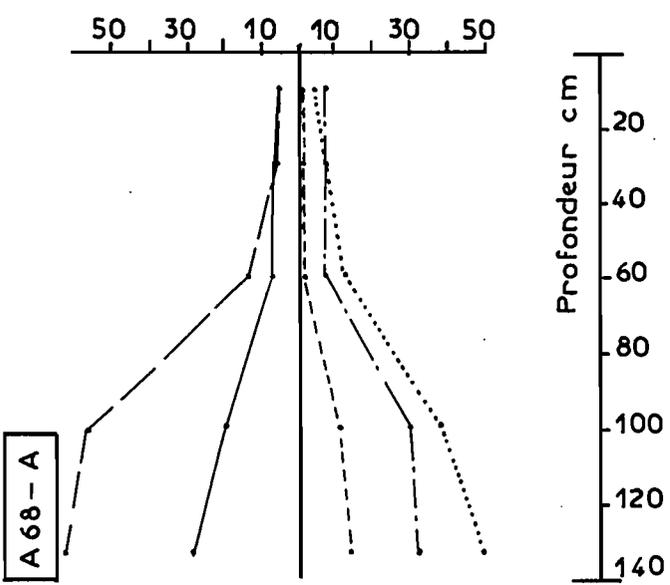
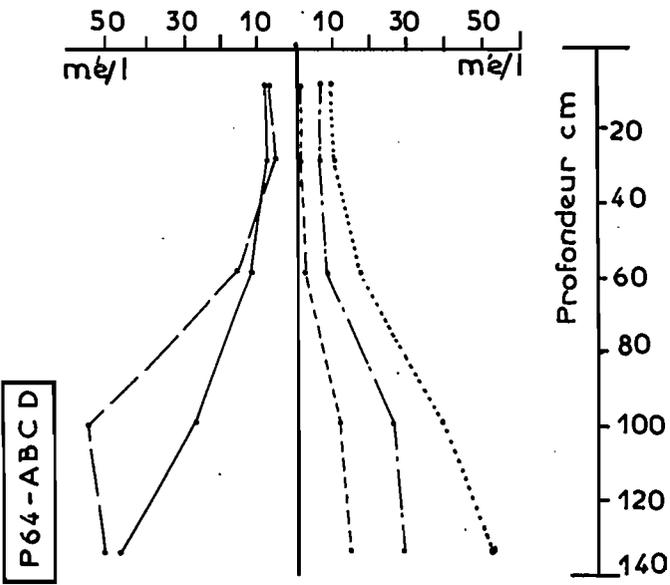
Evolution de l'EC<sub>φ</sub> et des ions dans l'extrait de saturation de la couche 0-150 cm (traitement A,B,C,D.)



- Cherfech - Essai QDE Sole I

Composition chimique de l'extrait de saturation au printemps 1964 et à l'automne 1968

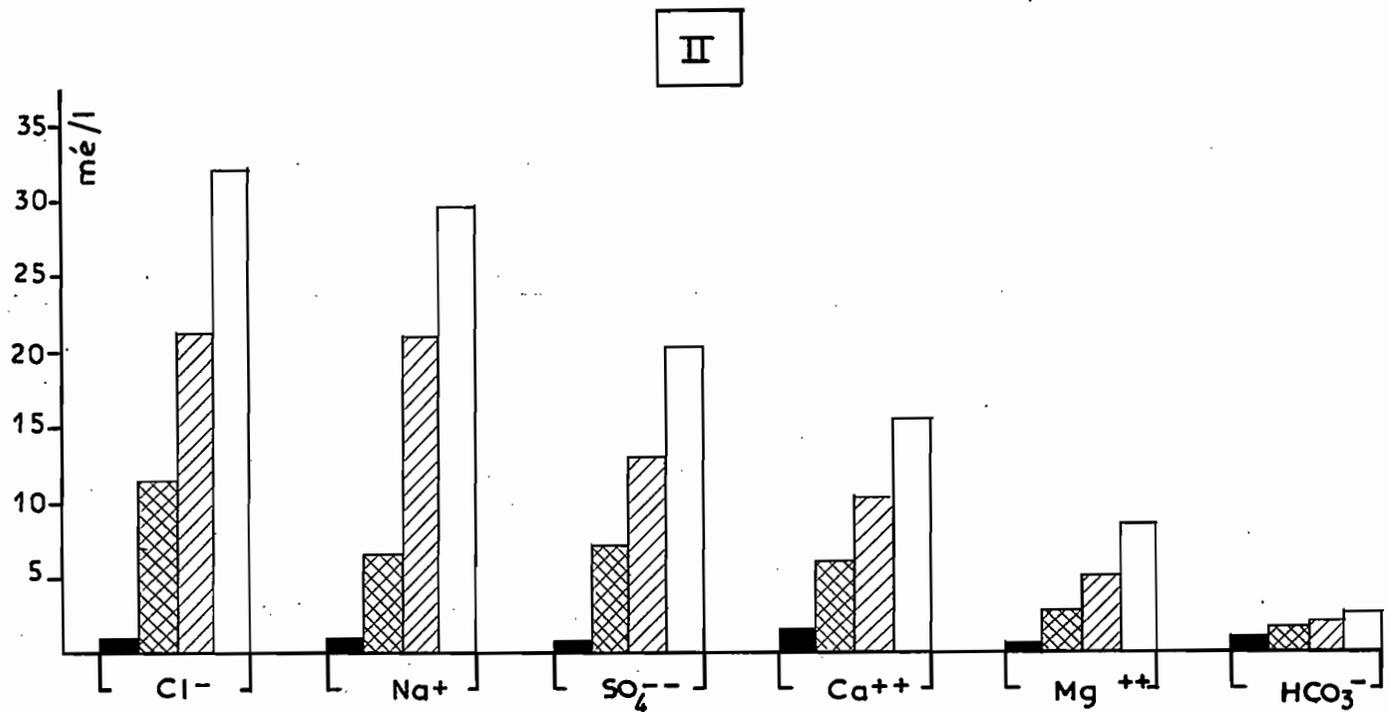
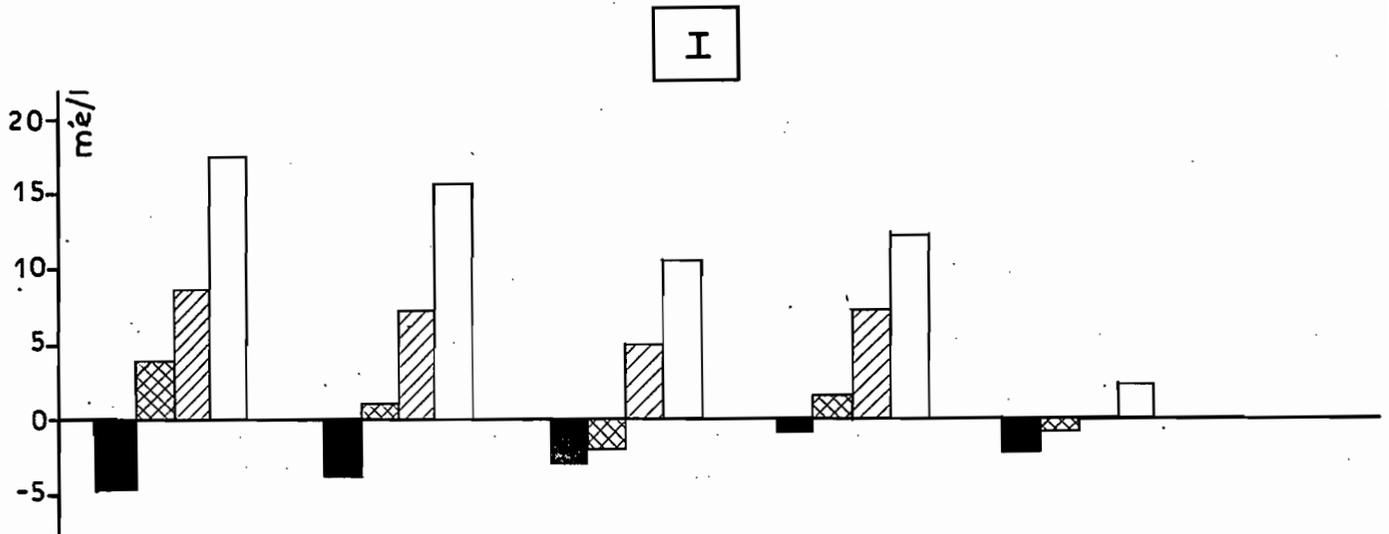
- Cl<sup>-</sup>
  - - - SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>
  - · - · Ca<sup>++</sup>
  - - - Mg<sup>++</sup>
  - · · · · Na<sup>+</sup>
- P = printemps  
A = automne



- Cherfech - Essai Q D E Sole I

I.: Augmentation ou diminution des principaux ions dans l'extrait de saturation entre le printemps 65 et le printemps 68 (traitement A.B.C.D.)

II.: Composition des eaux d'irrigation (moyenne été+hiver)

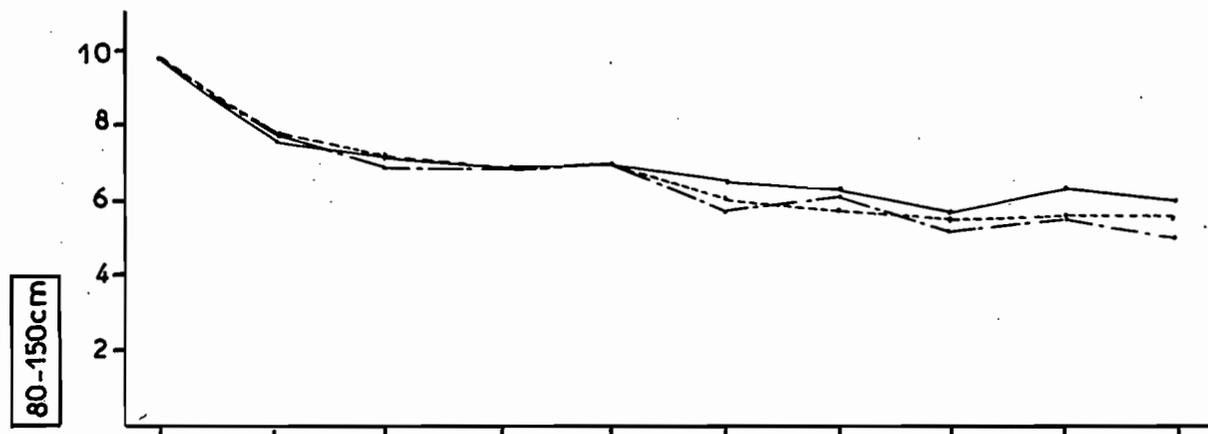
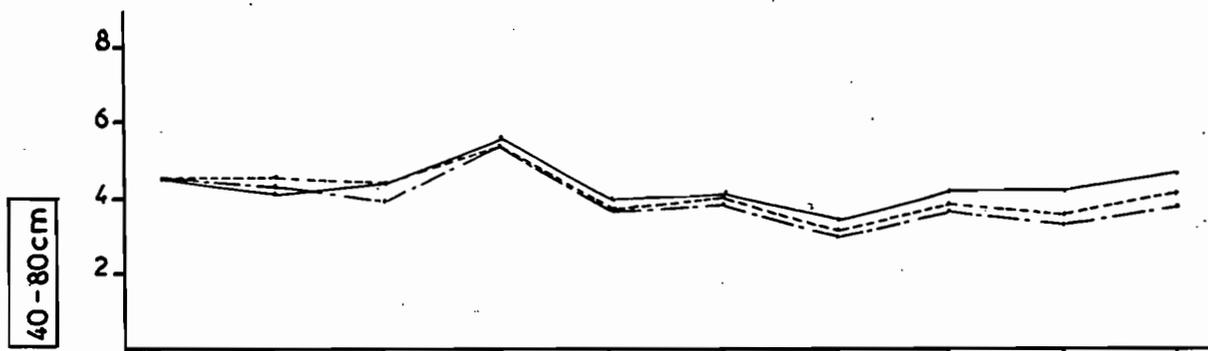
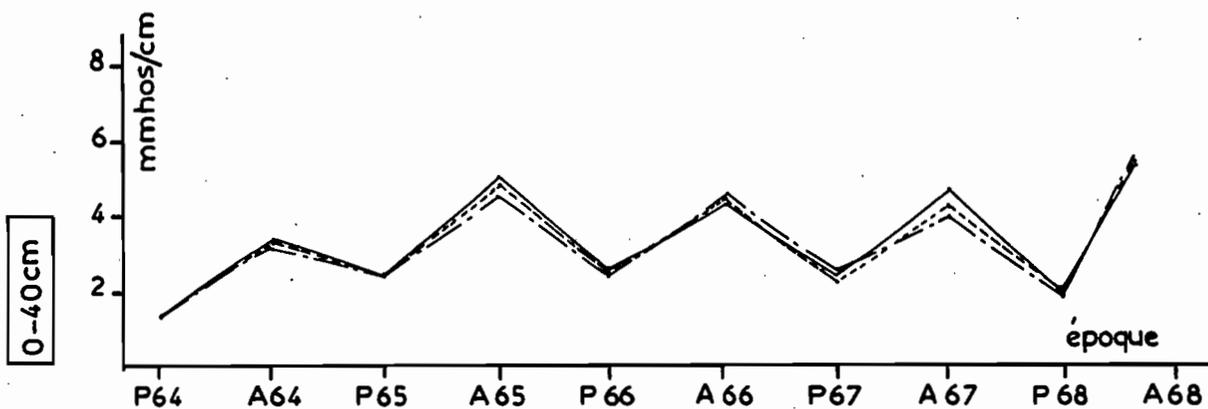


Qualité d'eau:  A     B     C     D

- Cherfech - Essai "Dose-Fréquence" DF1

EFFET "DOSE". Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par traitement

— traitement D<sub>1</sub>      P = printemps  
- - - - - D<sub>2</sub>      A = automne  
- · - · - D<sub>3</sub>



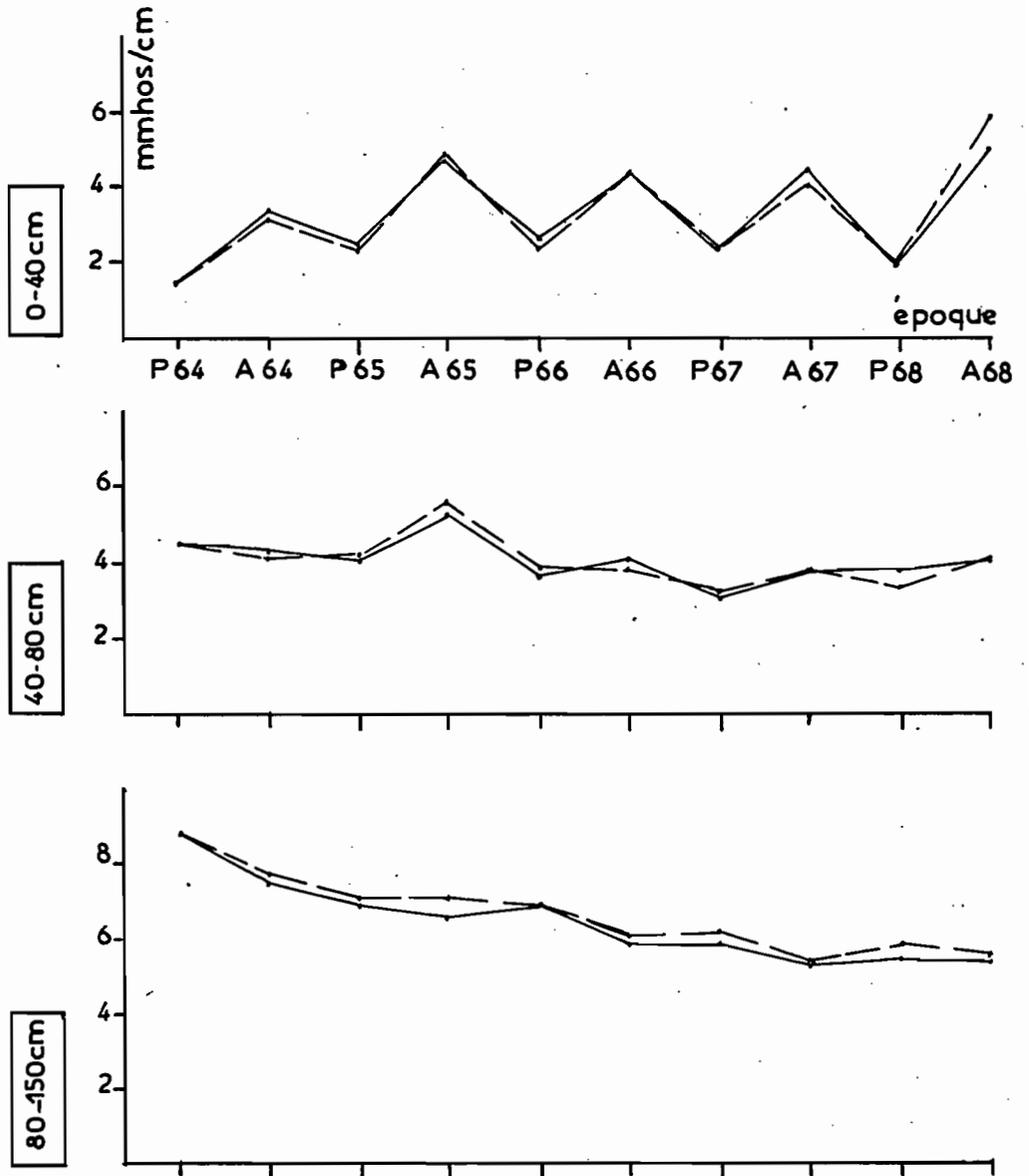
- Cherfech - Essai "Dose-Fréquence" DF1  
Evolution de l'ECe

Fig II A-f6'

I: EFFET "FREQUENCE"

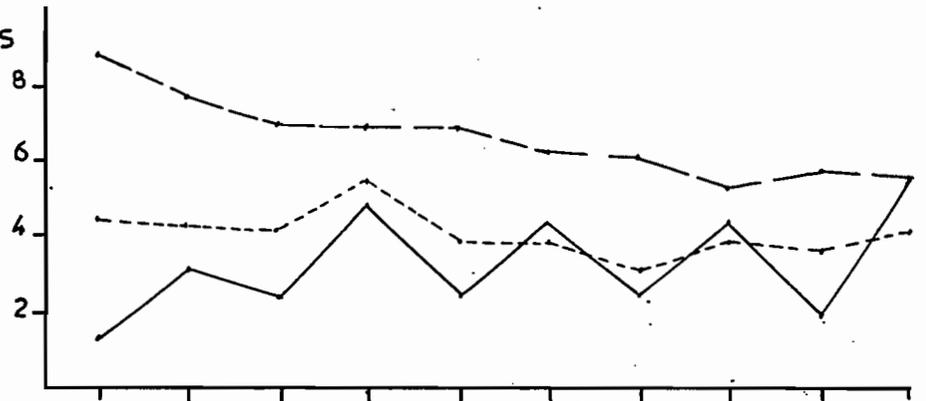
— traitement T<sub>1</sub>  
- - - - T<sub>2</sub>

P = printemps  
A = automne



II: MOYENNE DES SIX TRAITEMENTS

— couche 0-40 cm  
- - - - 40-80 cm  
- - - - 80-150 cm

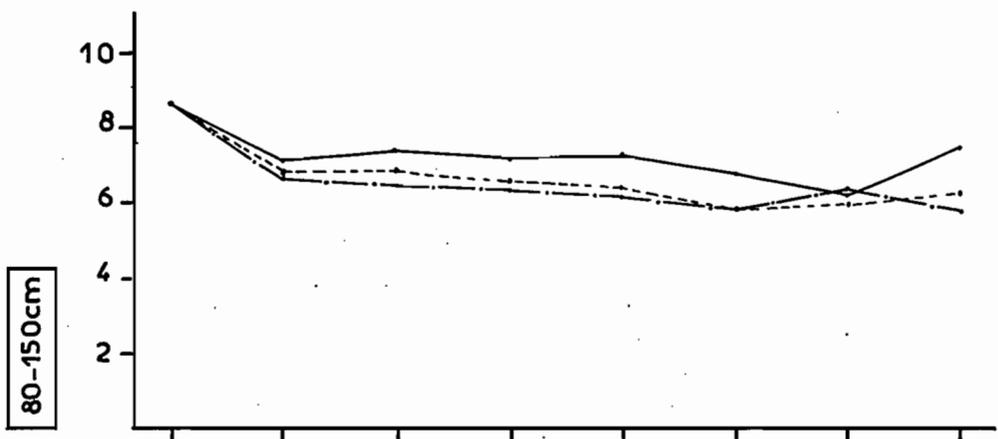
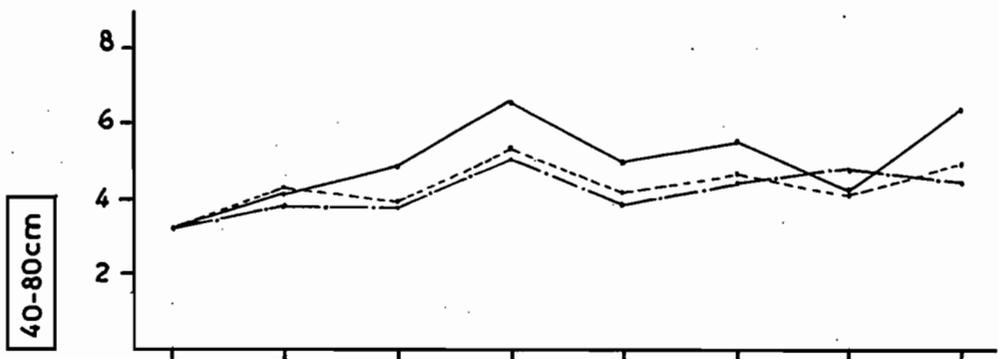
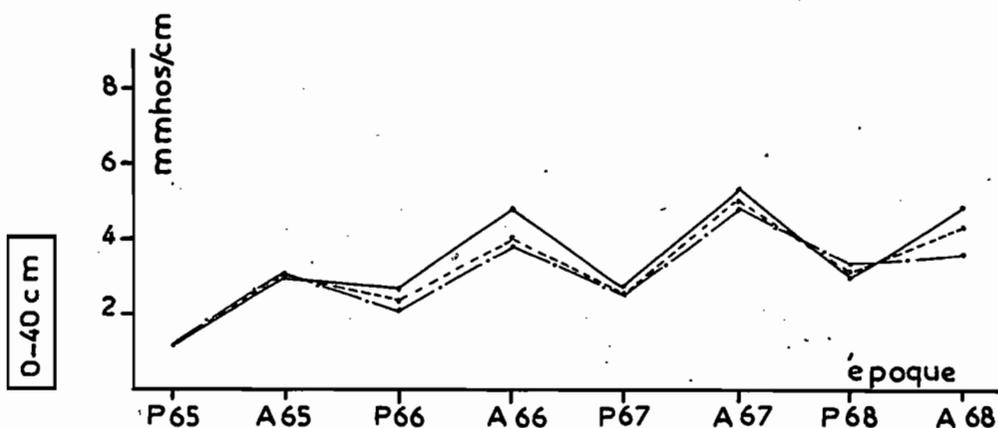


- Cherfech - Essai "Dose-Fréquence" DF 2

EFFET "DOSE", Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par traitement

P = printemps  
A = automne

— traitement D<sub>1</sub>  
- - - - - " D<sub>2</sub>  
- · - - - - " D<sub>3</sub>



- Cherfech - Essai "Dose-Fréquence" DF 2

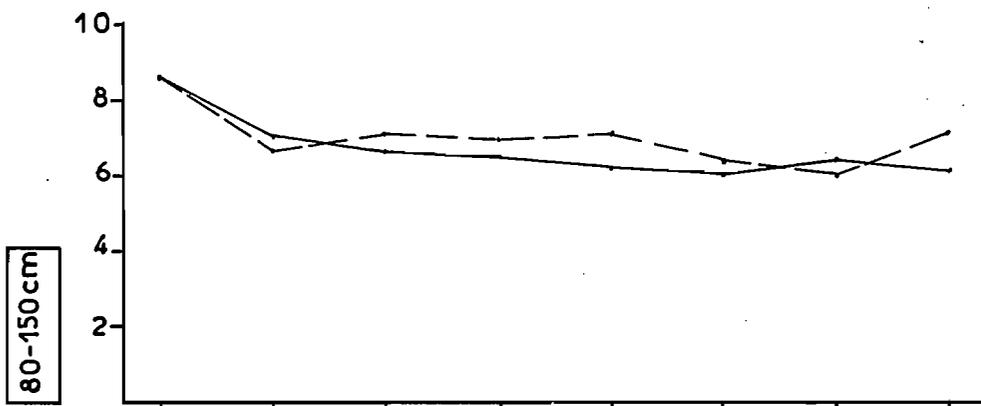
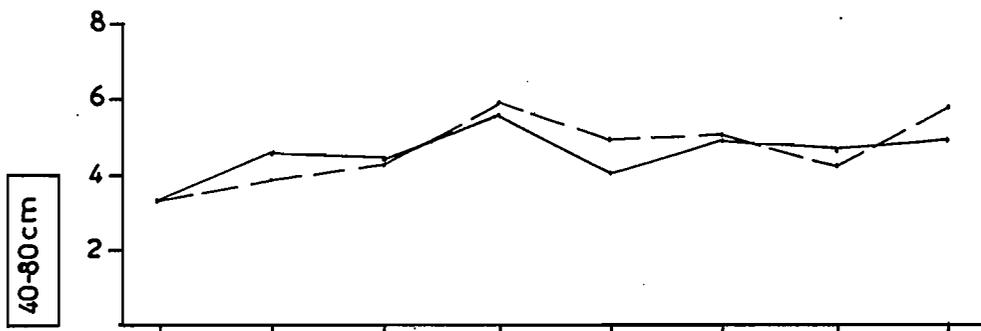
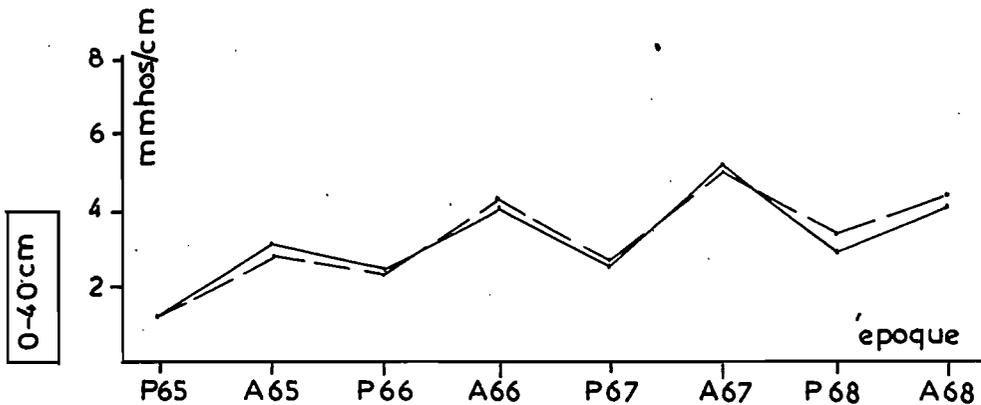
Fig II A-f 7'

Evolution de l'EC<sub>e</sub>.

I : EFFET "FREQUENCE"

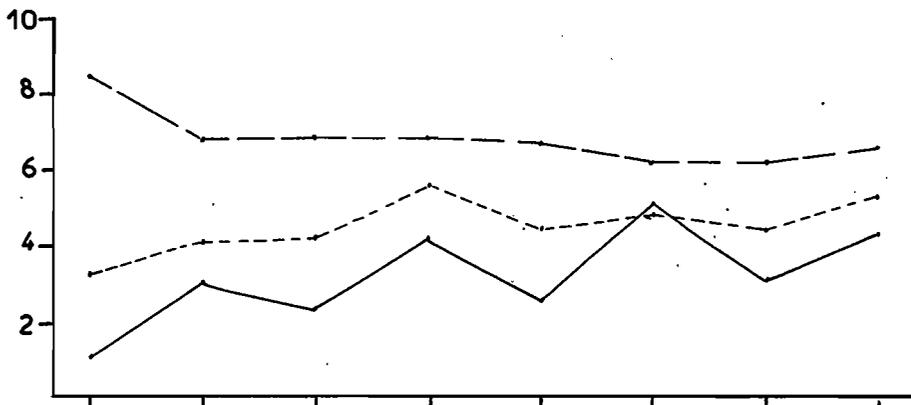
— traitement T<sub>1</sub>  
- - - T<sub>2</sub>

P = printemps  
A = automne



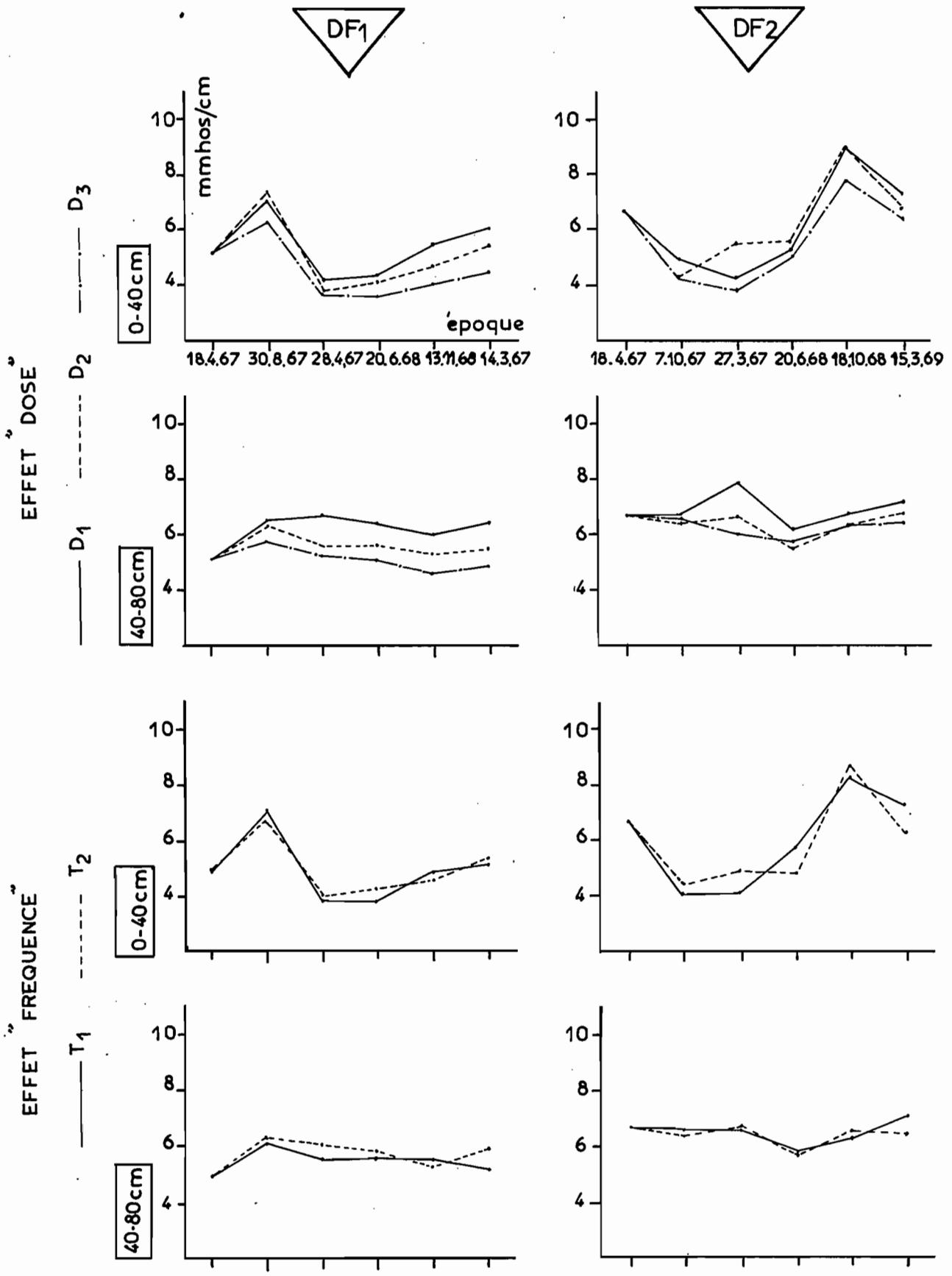
II : MOYENNE DES SIX TRAITEMENTS

— couche 0-40 cm  
- - - 40-80 cm  
- - - 80-150 cm



- Messaoudia - Essais "Dose-Fréquence" DF<sub>1</sub> et DF<sub>2</sub>

Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par traitement



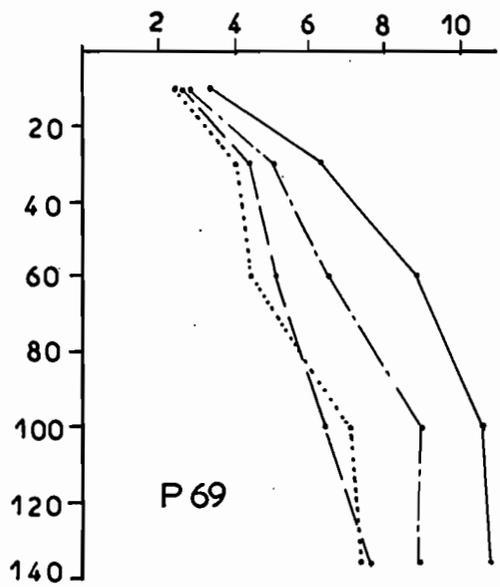
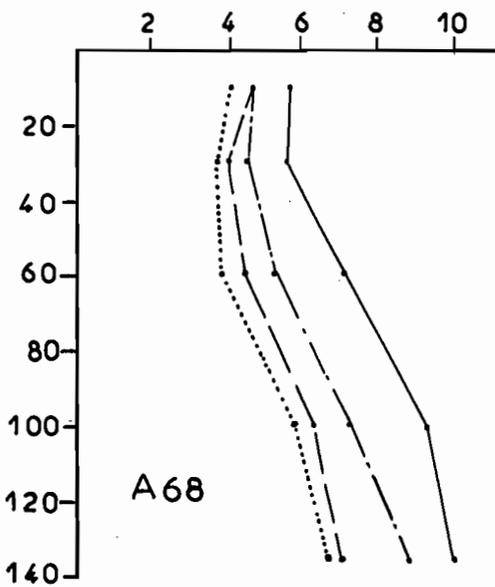
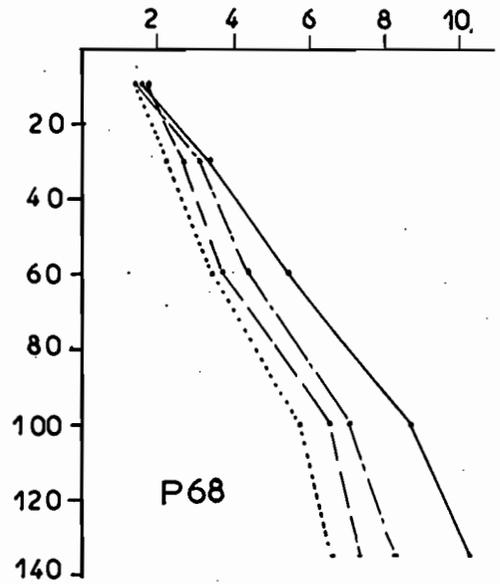
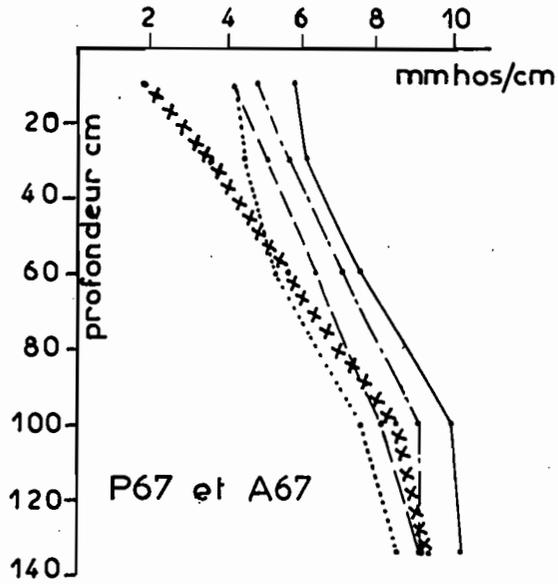
- Cherfech - Essai "Dose" D I

Fig IIA-f 9

EC<sub>e</sub> dans le profil à cinq époques, par traitement

xxxxxxxxx prélèvement de départ (P67)  
—— traitement D<sub>0</sub>  
- - - - - D<sub>1</sub>  
- - - - - D<sub>2</sub>  
..... D<sub>3</sub>

P: printemps  
A: automne



- Cherfech - Essai "Lessivage d'hiver"

Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par traitement

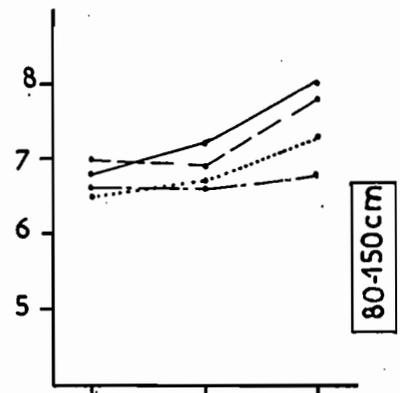
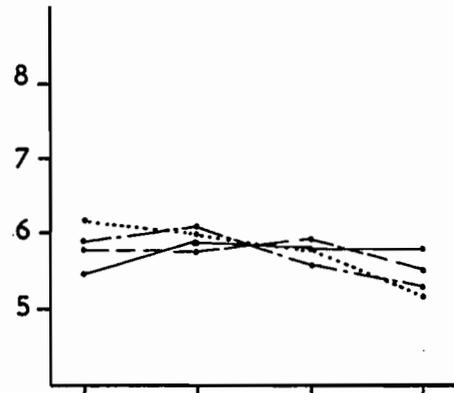
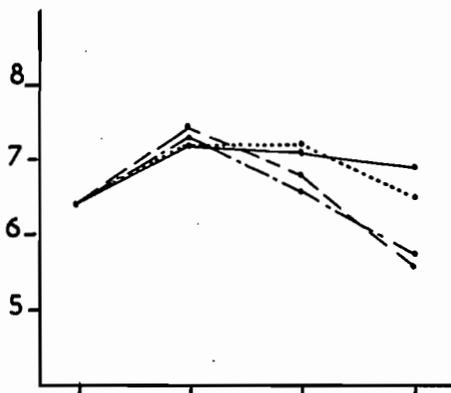
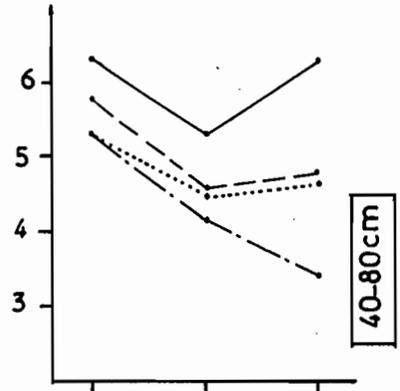
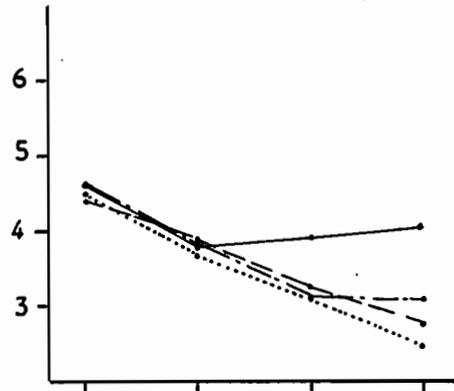
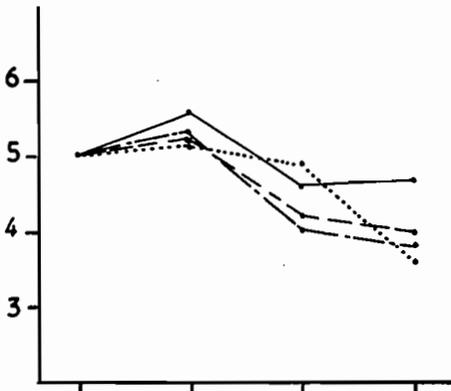
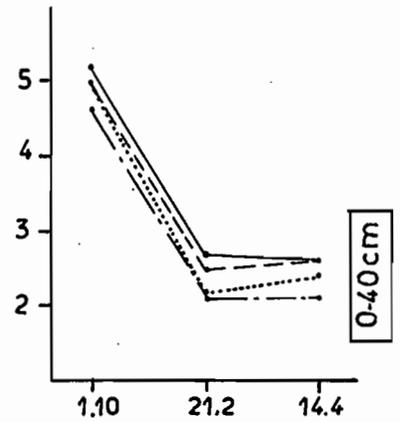
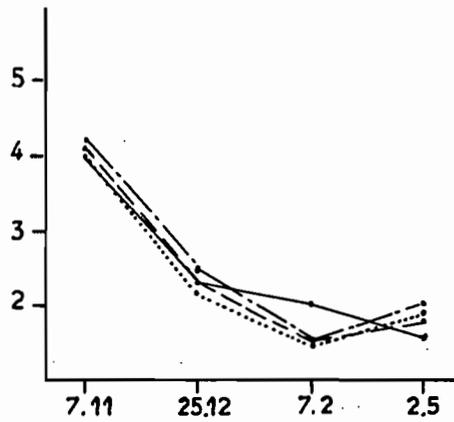
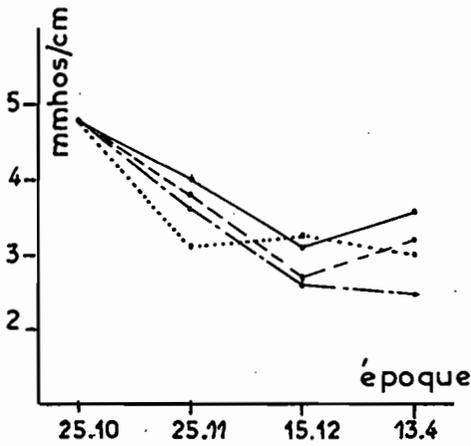
Fig IIA-f10

1 <sup>er</sup> ESSAI		2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> ESSAI	
—	Traitement C D <sub>1</sub>	—	D <sub>1</sub>
- - -	C D <sub>2</sub>	- - -	D <sub>2</sub>
· · ·	PD <sub>1</sub>	· · ·	D <sub>3</sub>
- · -	PD <sub>2</sub>	- · -	D <sub>4</sub>

1<sup>er</sup> ESSAI: HIVER 66-67

2<sup>e</sup> ESSAI: HIVER 67-68

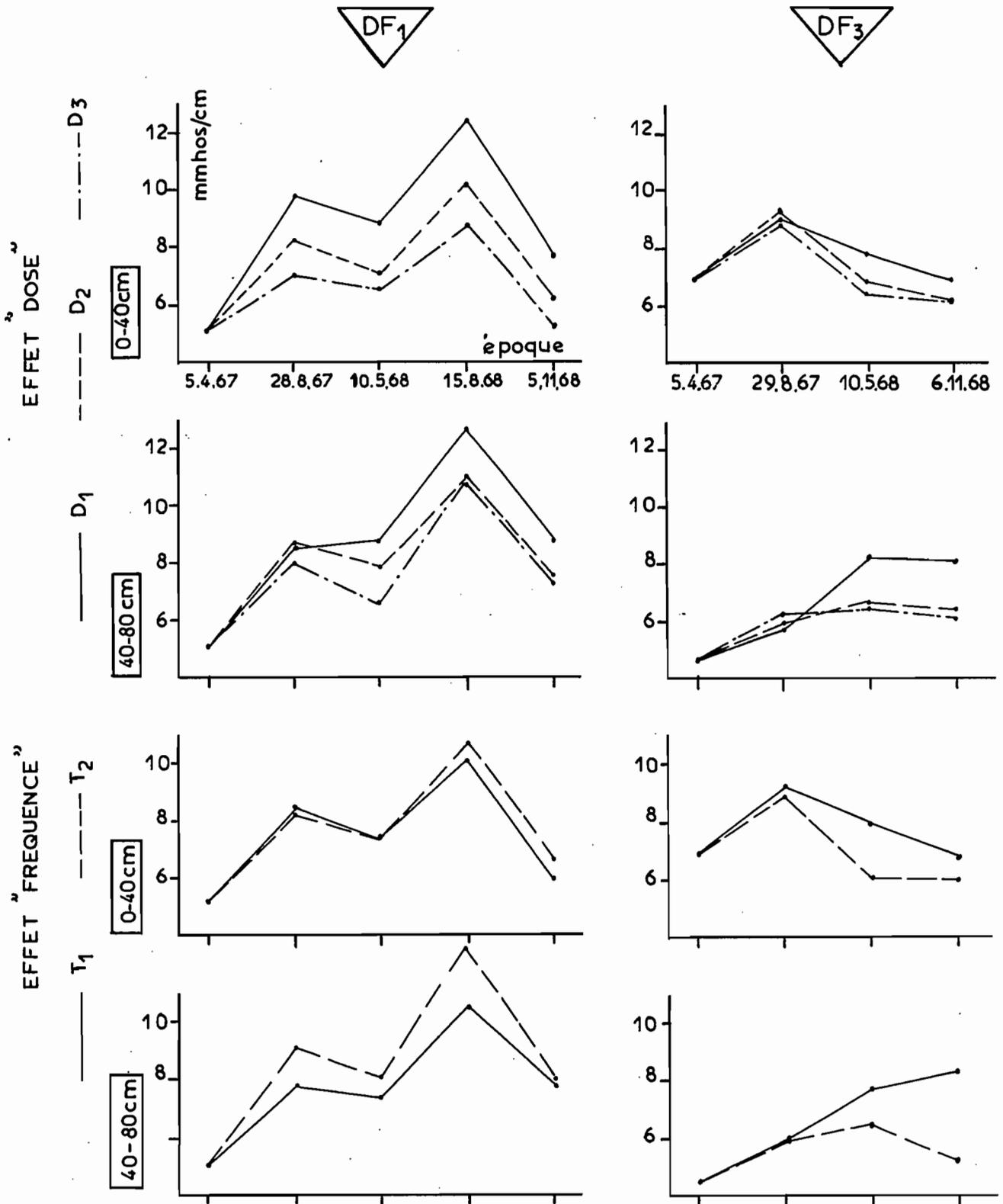
3<sup>e</sup> ESSAI: HIVER 68-69



- Nakta - Essai "Dose-Fréquence" DF<sub>1</sub> et DF<sub>3</sub>

Fig II A-f 11

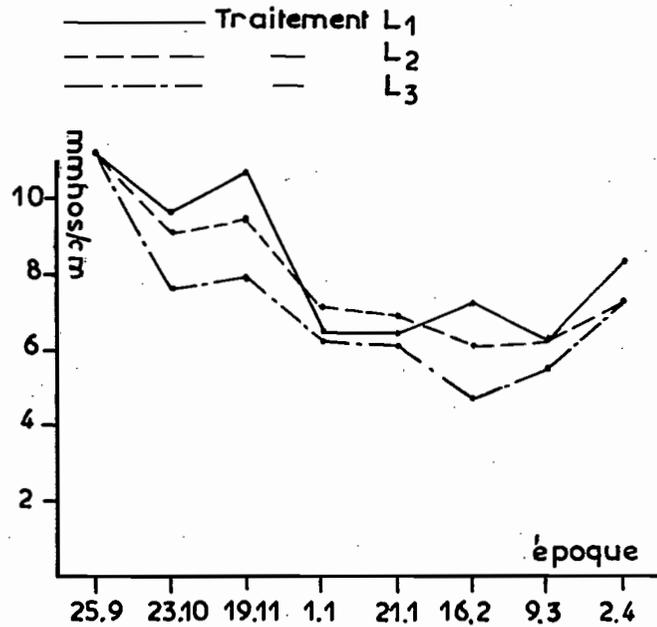
Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par traitement



Nakta Essais "Lessivage d'hiver" DL et DF<sub>4</sub>

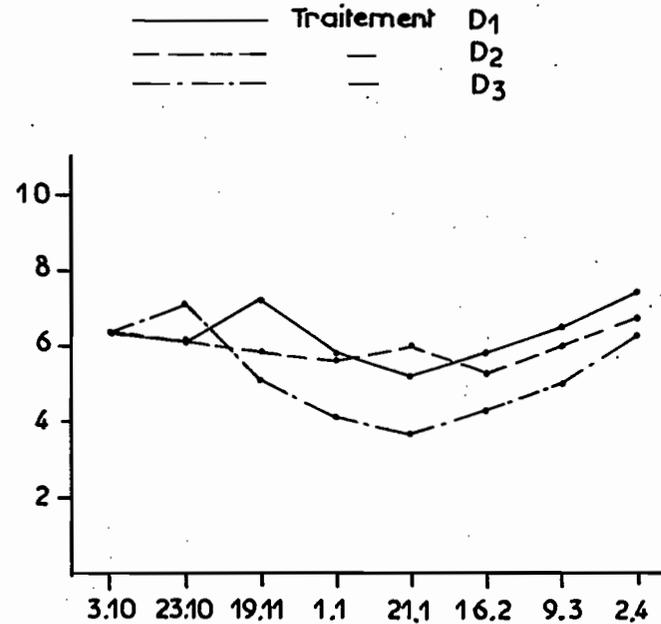
Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par traitement

ESSAI DL (hiver 68-69)

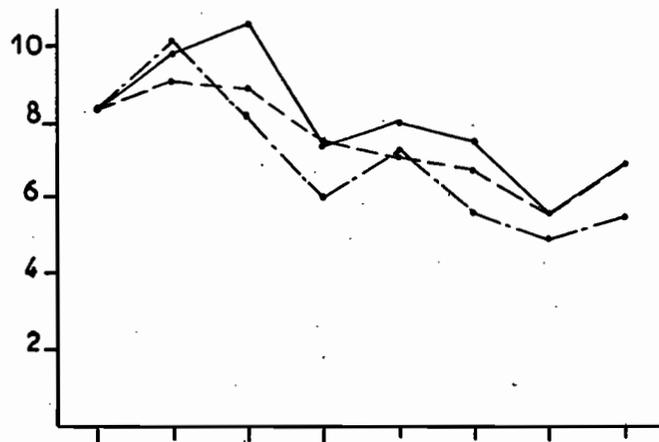


0-40cm

ESSAI DF<sub>4</sub> (hiver 68-69)



- 394 -



40-80cm

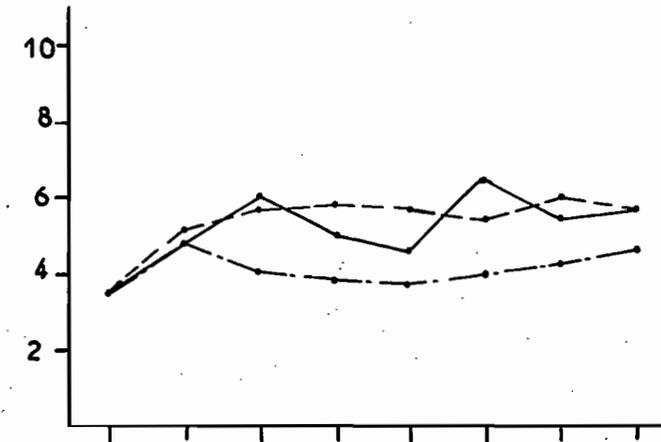
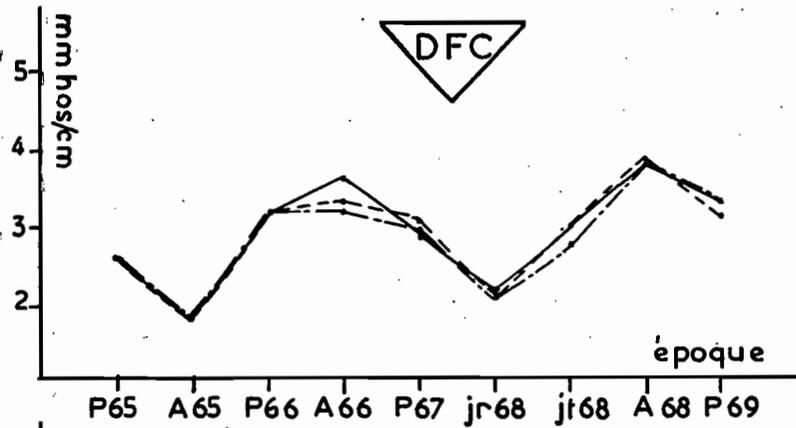


Fig IA - F12

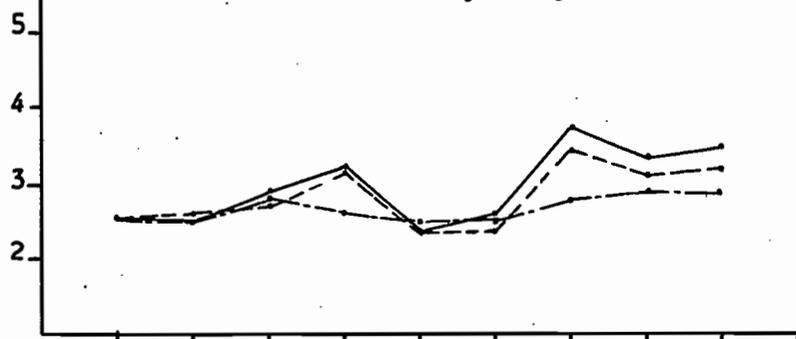
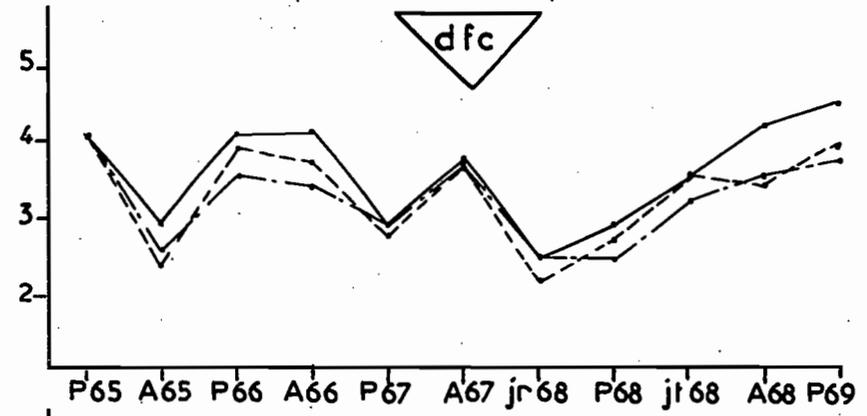
-Ksar Ghériss- Essai "Dose-Fréquence" DFC et dfc

EFFET "DOSE". Evolution de l'ECe par couche et par traitement

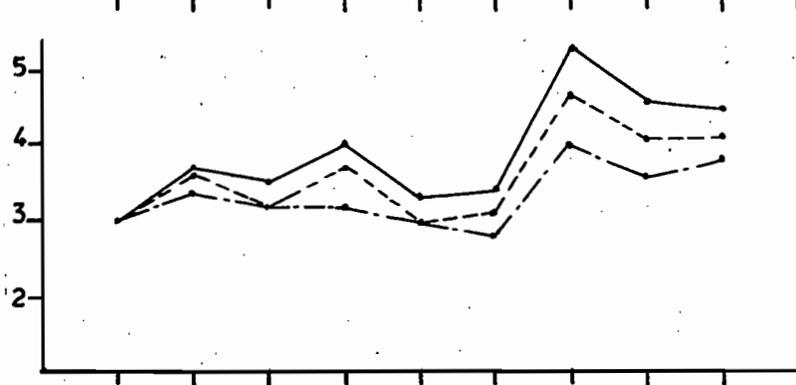
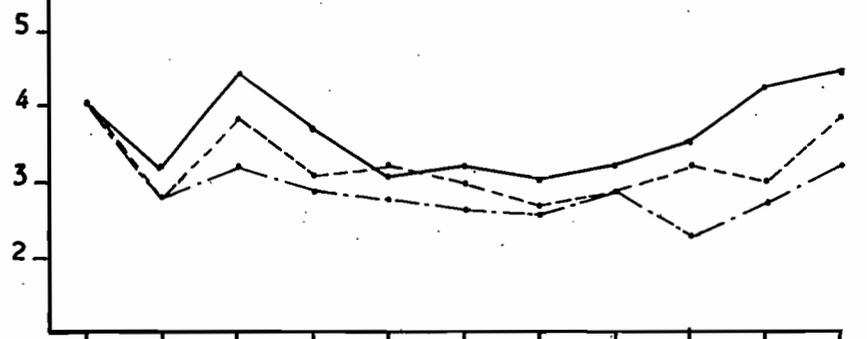
———— Traitement D<sub>1</sub> P= printemps  
 - - - - - D<sub>2</sub> A=automne  
 - · - · - D<sub>3</sub> jr= janvier  
 jt= juillet



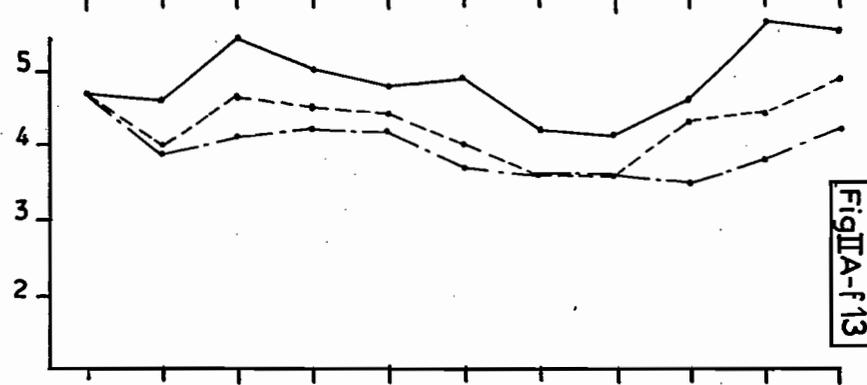
0-20 cm



20 cm à la couche à nodules calcaires



couche à nodules calcaires



FigIIA-f13

-Ksar Ghériss- Essai "Dose-Fréquence" DFB et dfb

EFFET "DOSE". Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par traitement

— Traitement D<sub>1</sub> P = printemps  
 - - - D<sub>2</sub> A = automne  
 - · - · D<sub>3</sub> jr = janvier  
 A · jt = juillet

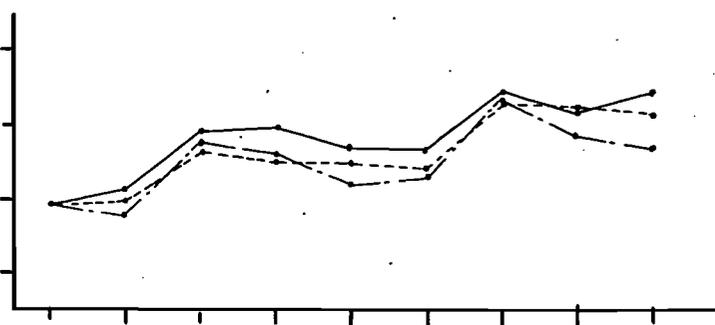
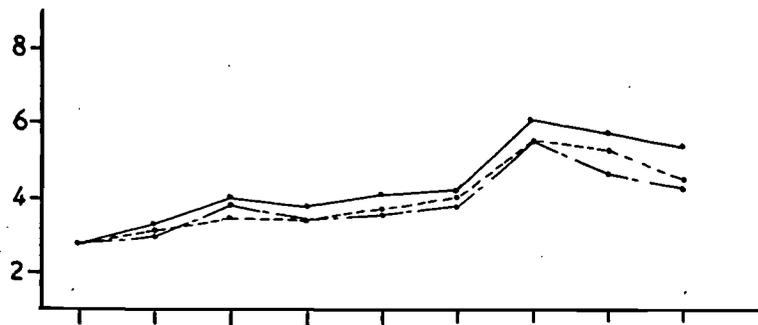
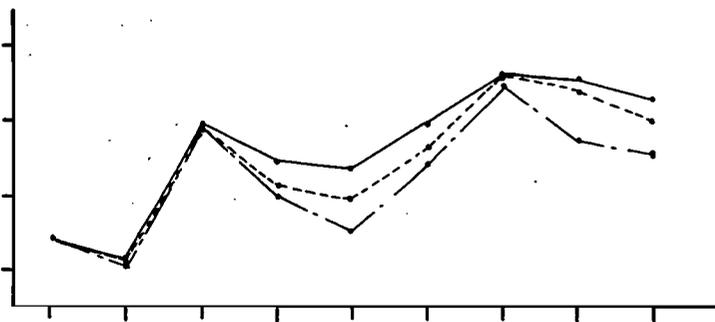
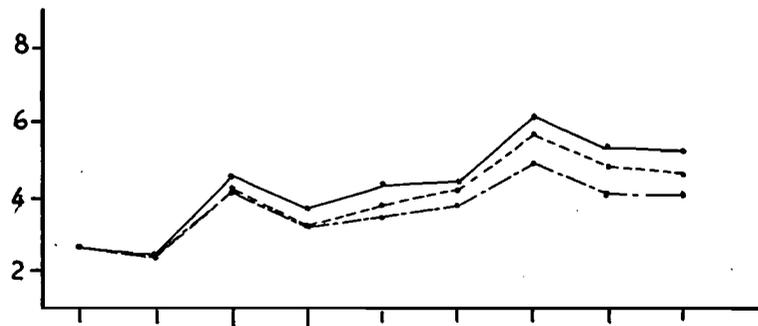
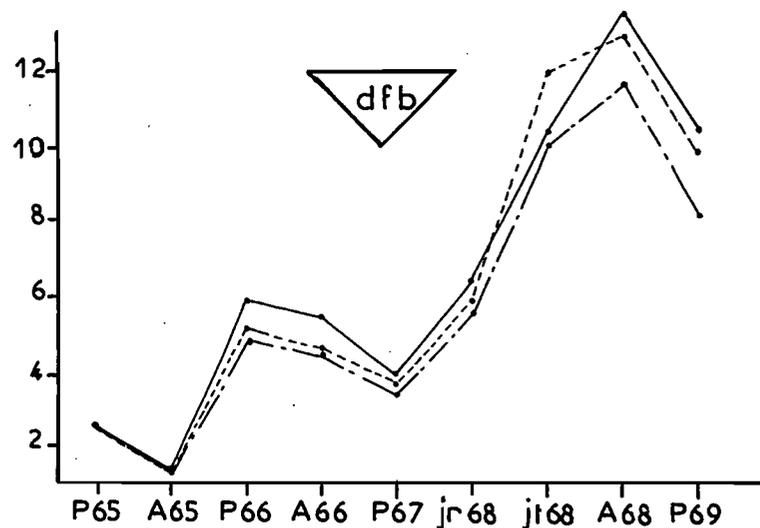
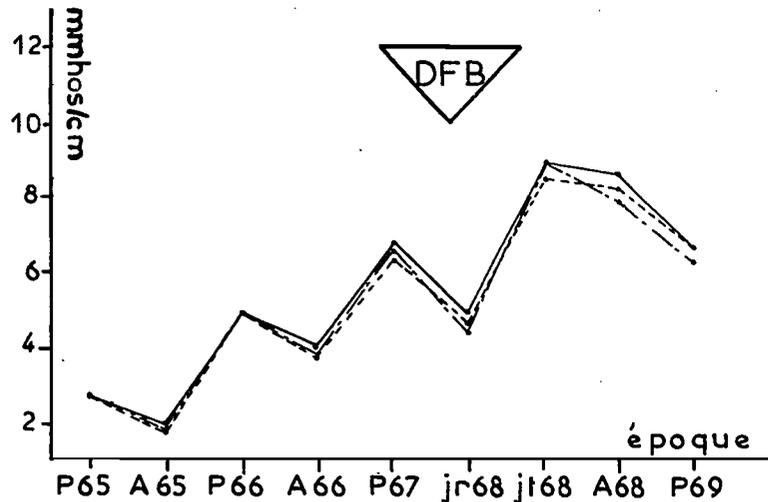
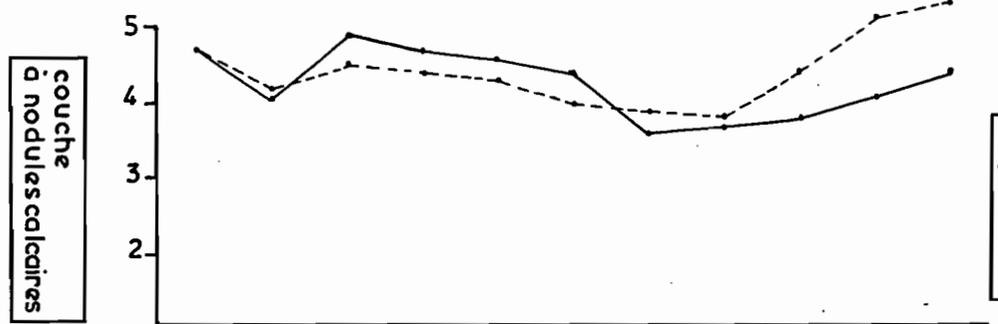
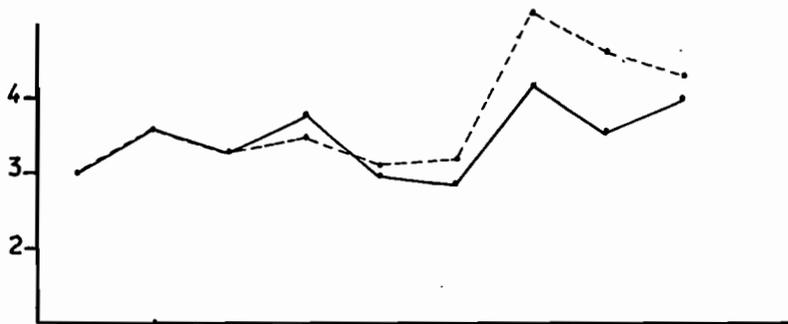
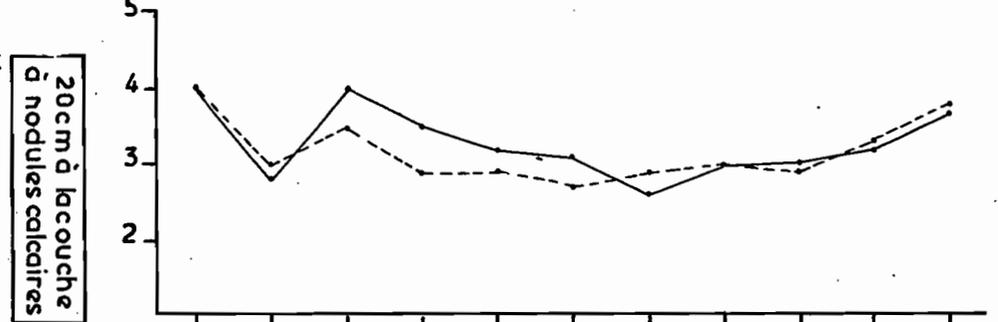
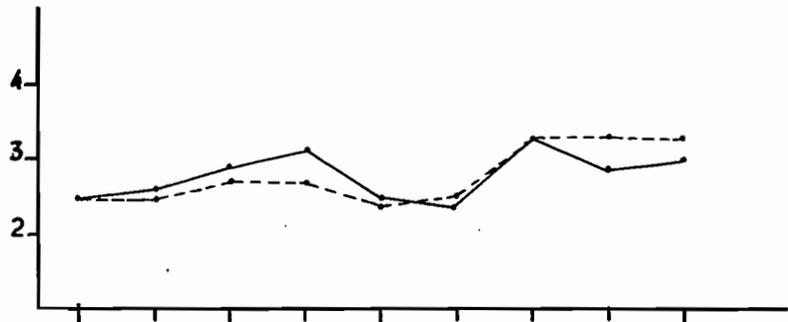
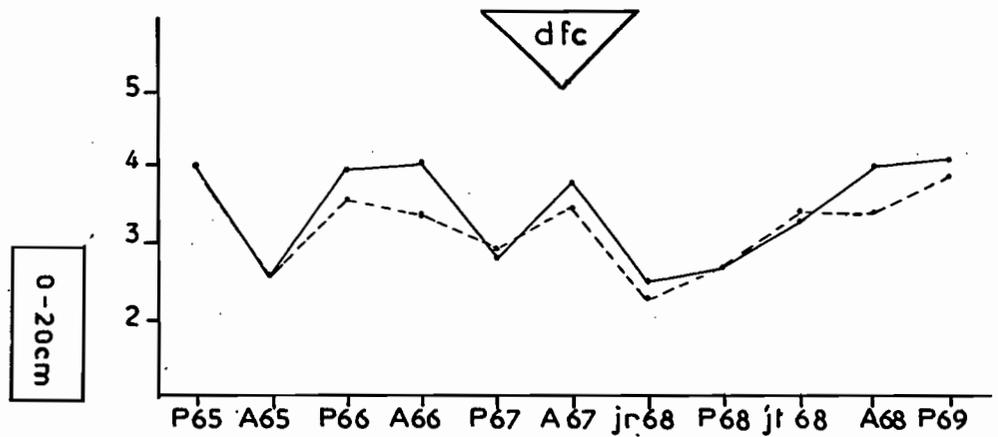
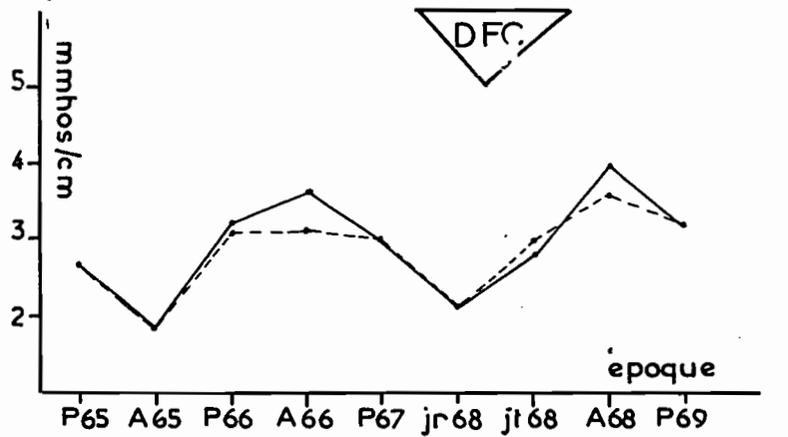


Fig IIA-f14

— Ksar Ghériss— Essai "Dose-Fréquence" DFC et dfc  
 EFFET "FREQUENCE". Evolution de l'EC<sub>e</sub> par couche et par  
 traitement.

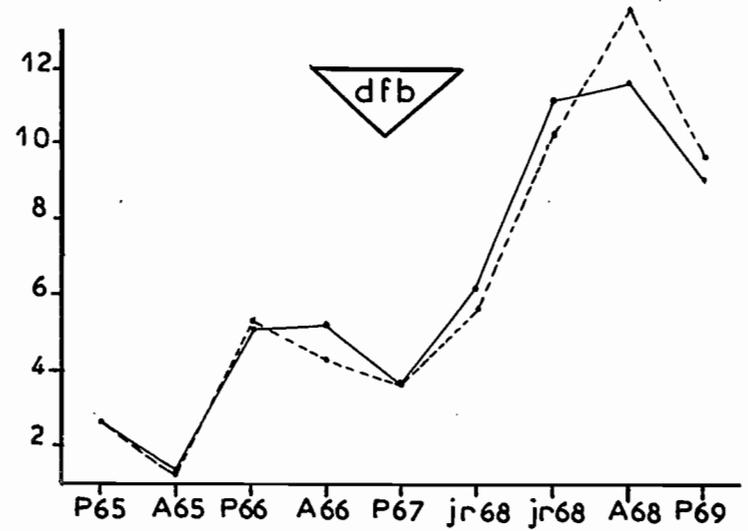
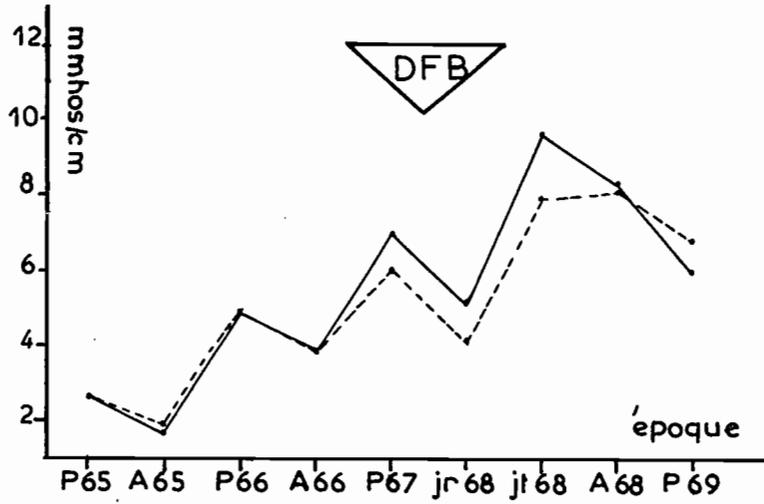
— Traitement T<sub>1</sub> P = printemps  
 - - - - - T<sub>2</sub> A = automne  
 jr = janvier  
 jt = juillet



FIGIA-F15

- Ksar Ghériss - Essai "Dose-Fréquence" DFB et dfb  
 EFFET "FREQUENCE". Evolution de l'ECe par couche et  
 par traitement

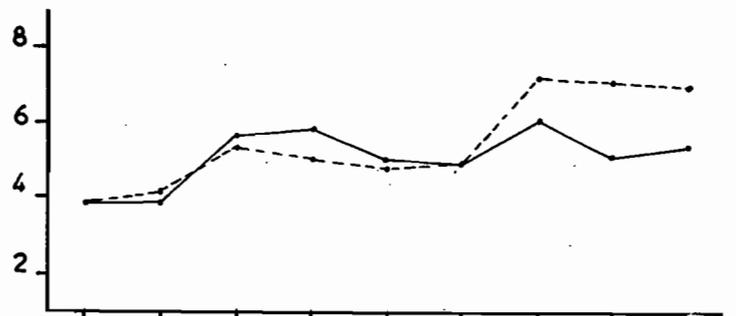
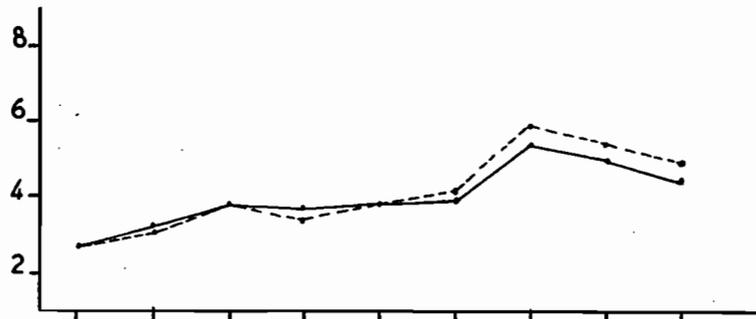
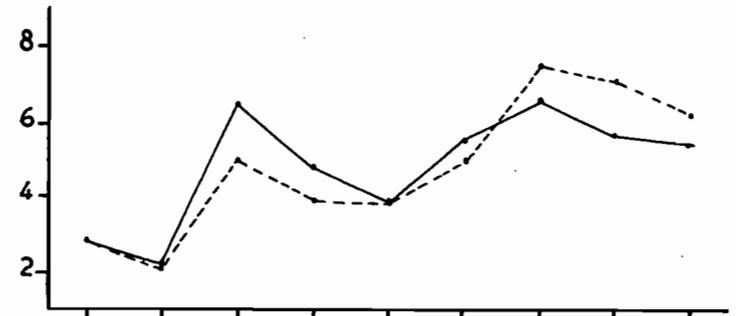
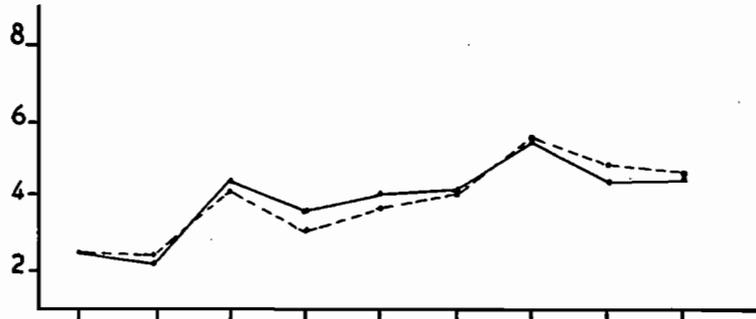
— Traitement T<sub>1</sub>  
 - - - - - T<sub>2</sub>  
 P= printemps  
 A= automne  
 jr= janvier  
 jt= juillet



0 - 20 cm

20cm à la couche  
 à nodules calcaires

couche  
 à nodules calcaires



FigIIA-F16

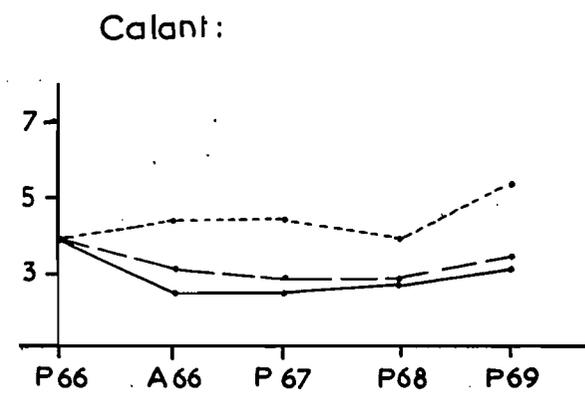
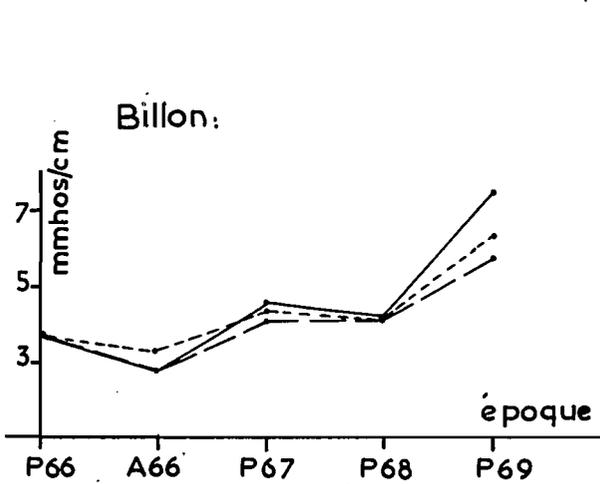
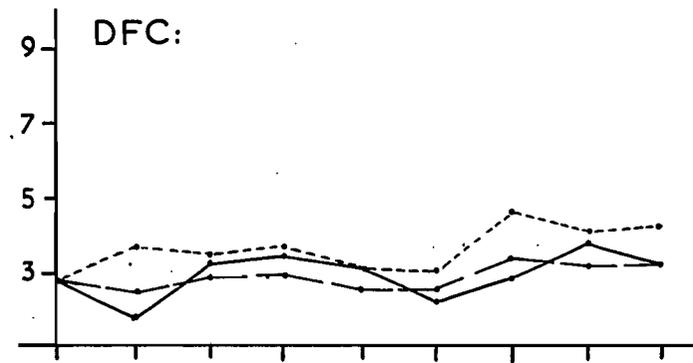
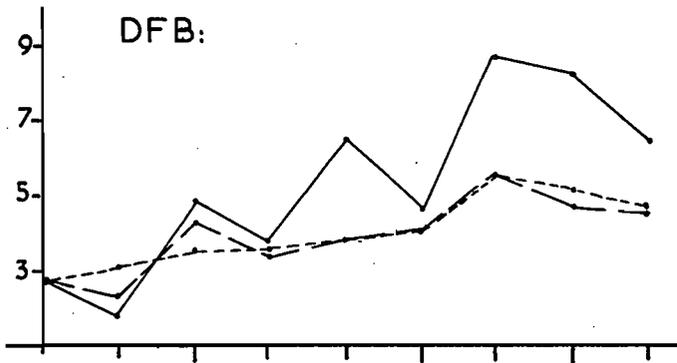
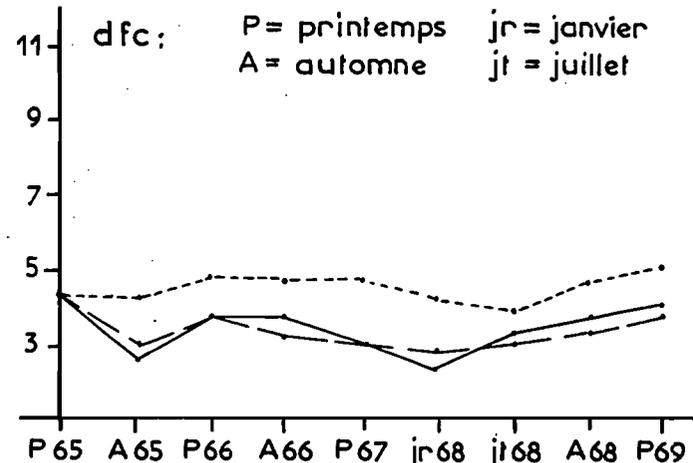
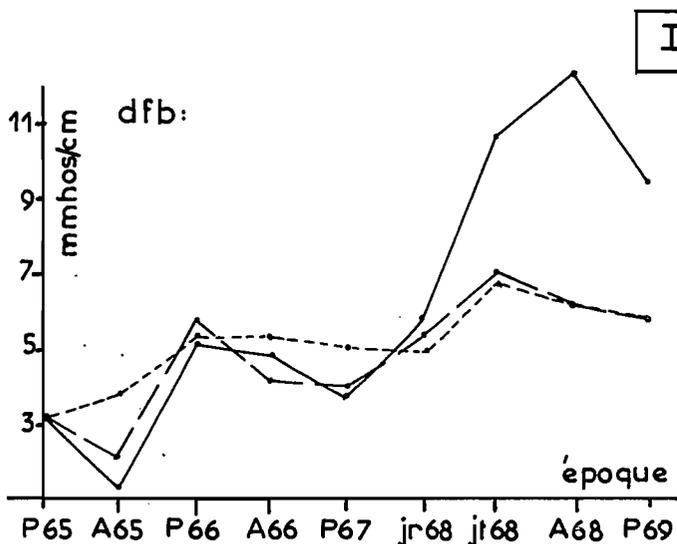
Fig II A - f17

-Ksar Ghériss- Salure (EC<sub>e</sub>) et mode d'épandage (billon-calant)

I: Essai "Dose-Fréquence": dfb, dfc, DFB, DFC

II: Essai "Billon-Calant"

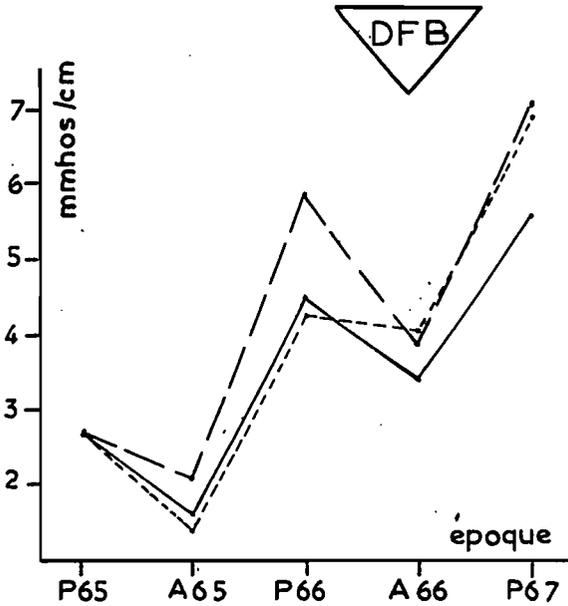
——— 0-20cm  
 - - - 20cm à la couche  
 à nodules calcaires  
 ····· couche à nodules  
 calcaires



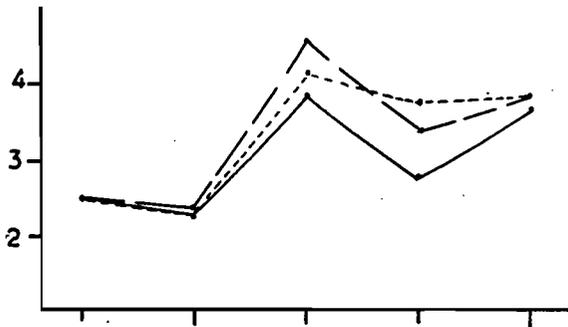
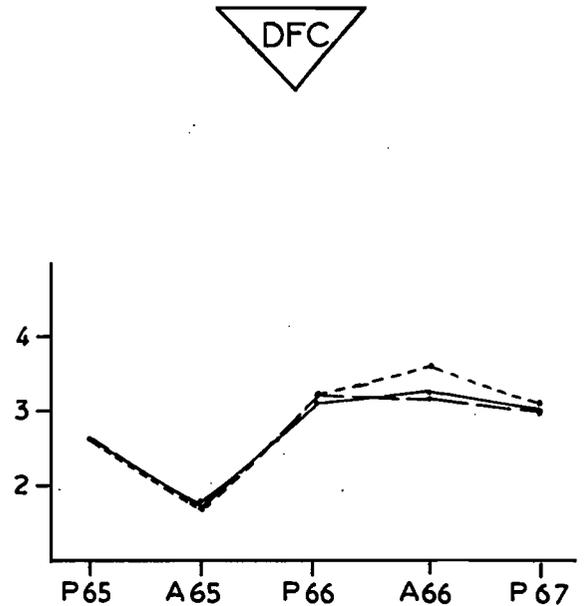
- Ksar Ghériss - Salure (ECe) et distance à partir de l'origine de la parcelle

Comparaison entre tête, milieu et queue des parcelles DFB et DFC

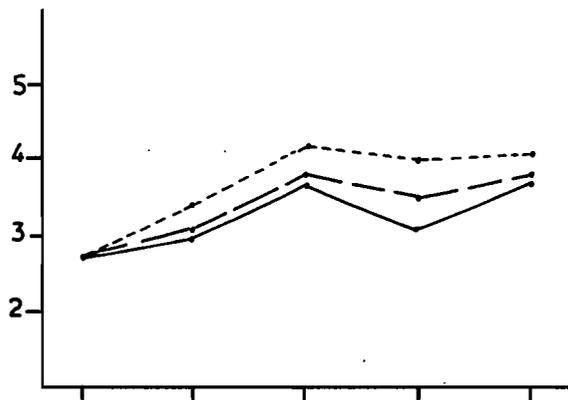
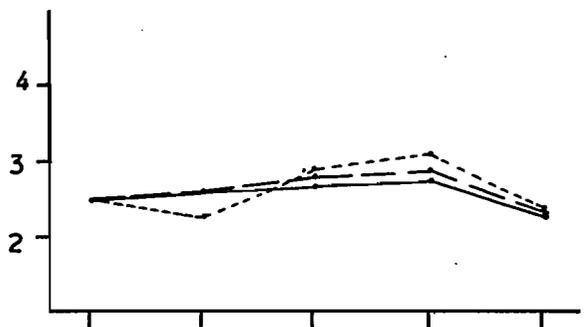
— tête      - - - milieu      ····· queue      P=printemps  
A=automne



0-20 cm



20 cm à la couche à nodules calcaires



couche à nodules calcaires

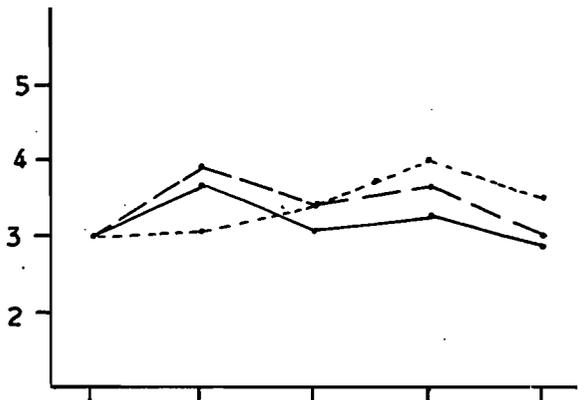
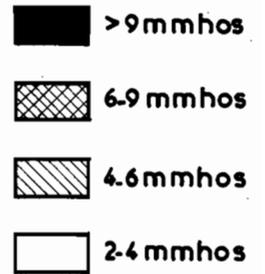


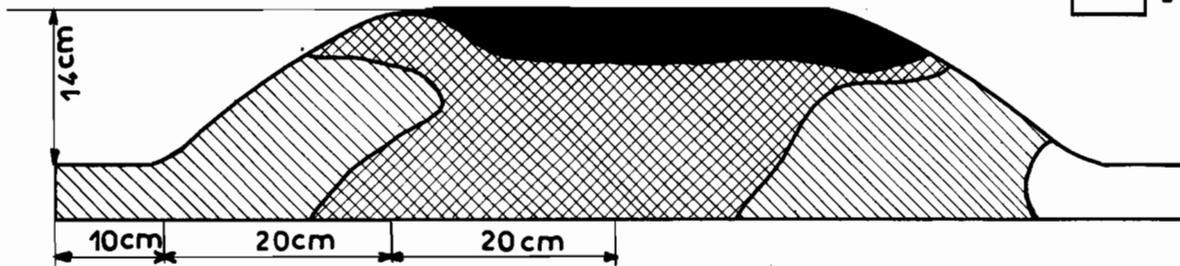
Fig II A-f19

-Cherfech- Salure et forme de billon

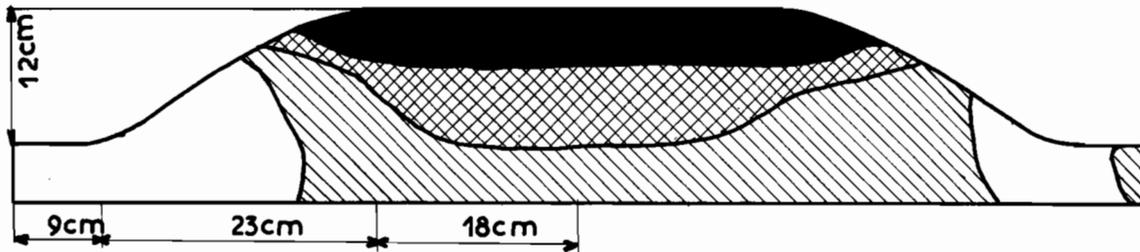
Répartition de la salure ( $EC_e$ ) dans trois billons différents



Profil A:



Profil B



Profil C:

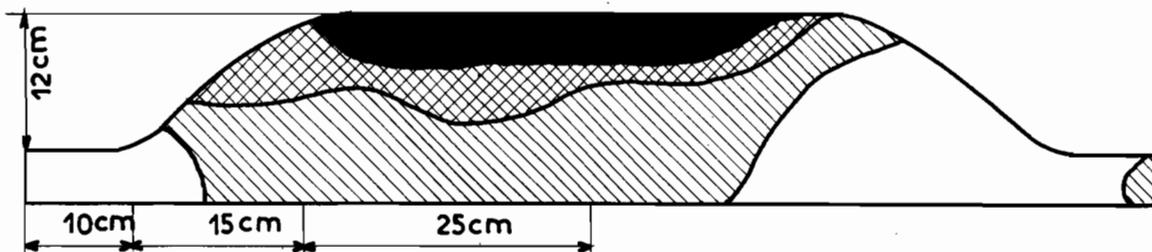
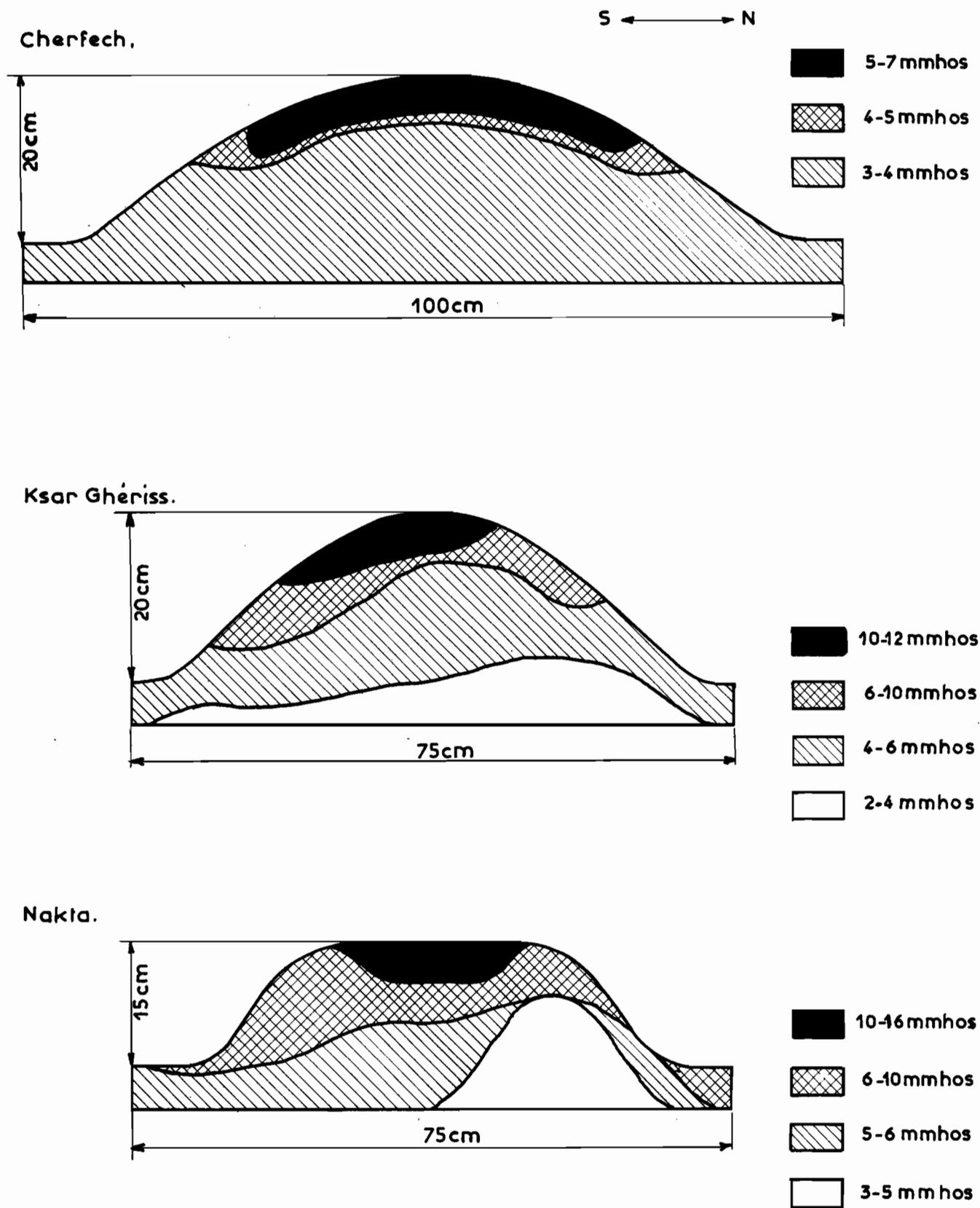


Fig II A-f 20

- Cherfech, Ksar Ghériss, Nakla - Salure et orientation du flanc du billon .

Répartition de la salure (EC<sub>e</sub>) dans le billon.

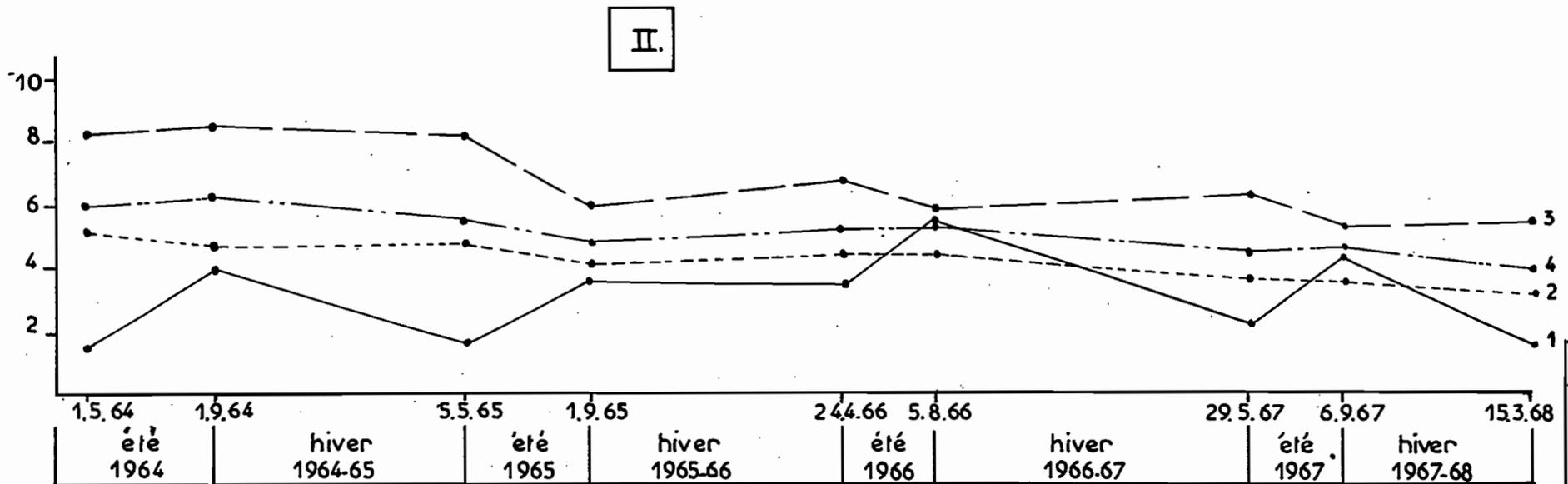
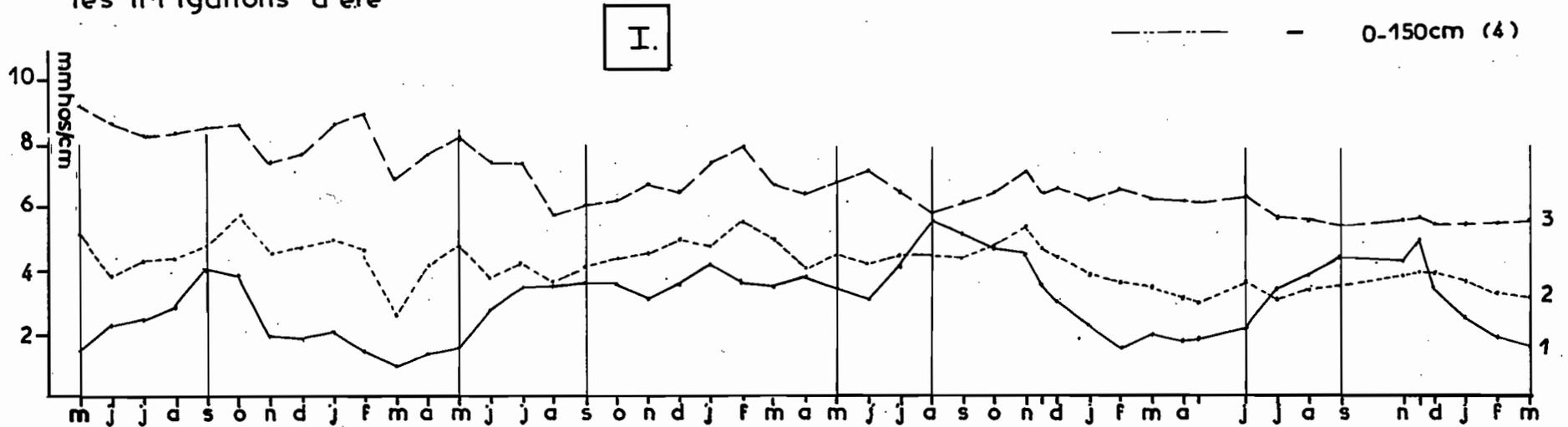


-Cherfech- Étude "Bilan des sels"

I: Evolution mensuelle de l'EC<sub>e</sub> de mai 1964 à mars 1968

II: Evolution bi-annuelle de l'EC<sub>e</sub>: prélèvements faits avant et après les irrigations d'été

- Couche 0-40cm (1)
- - - 40-80cm (2)
- - - 80-150cm (3)
- - - 0-150cm (4)



-303-

Fig II A-f 21

-Cherfech- Etude "Bilan des sels"

Evolution de la composition chimique de l'extrait de saturation

- couche 0.40cm (1)
- - - 40-80cm (2)
- · - 80-150cm (3)

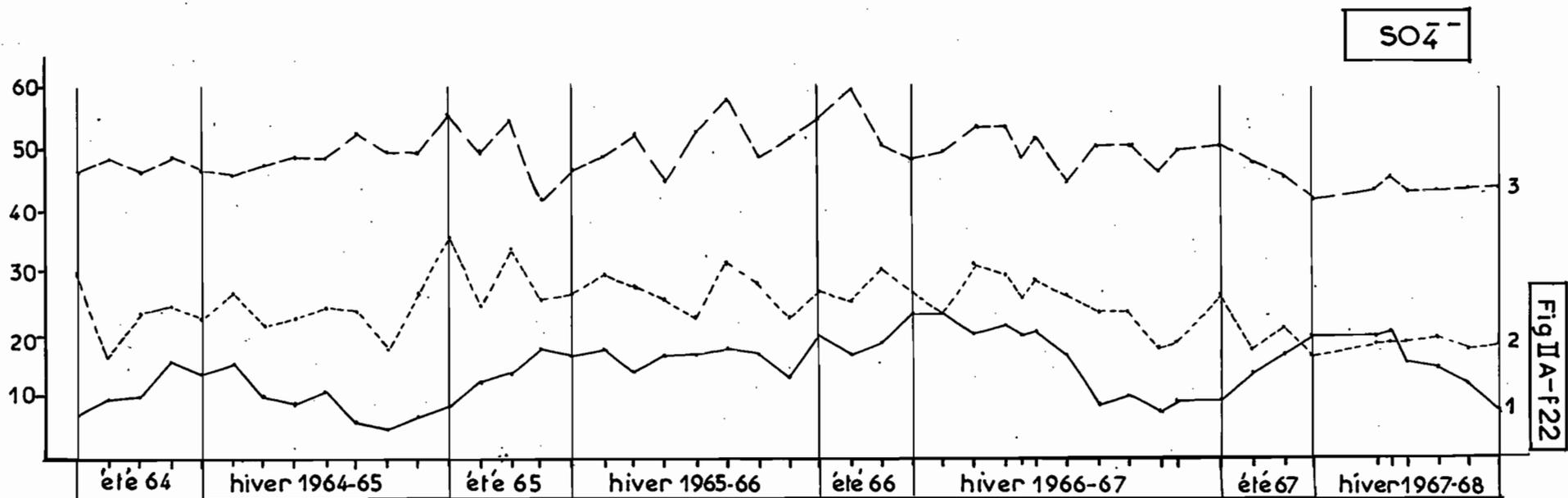
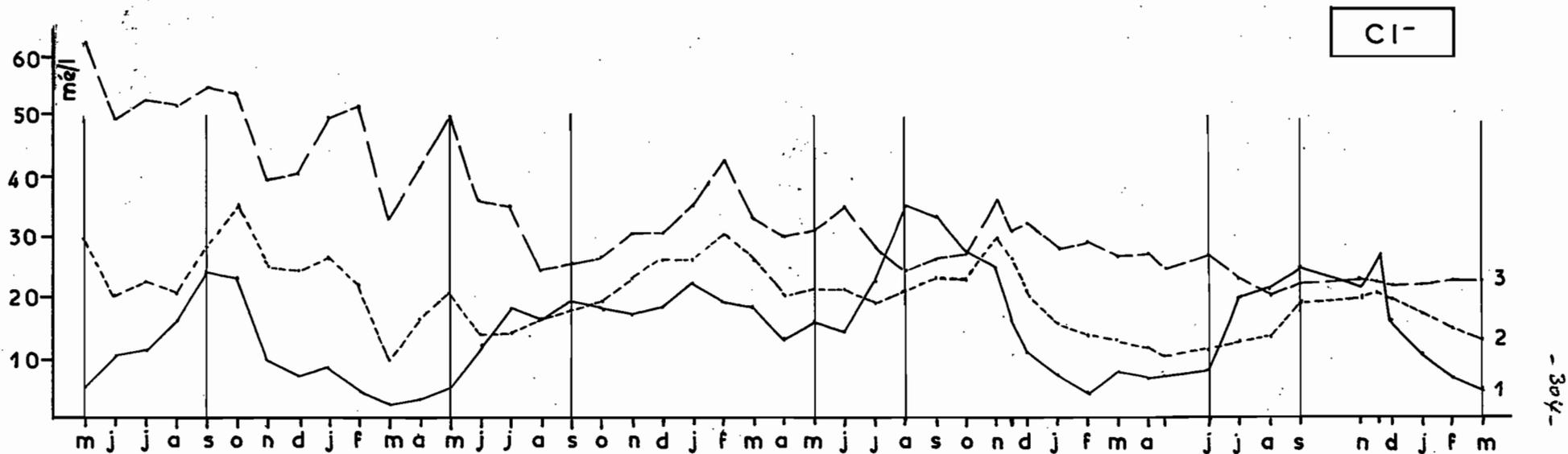


FIG I A - F 22

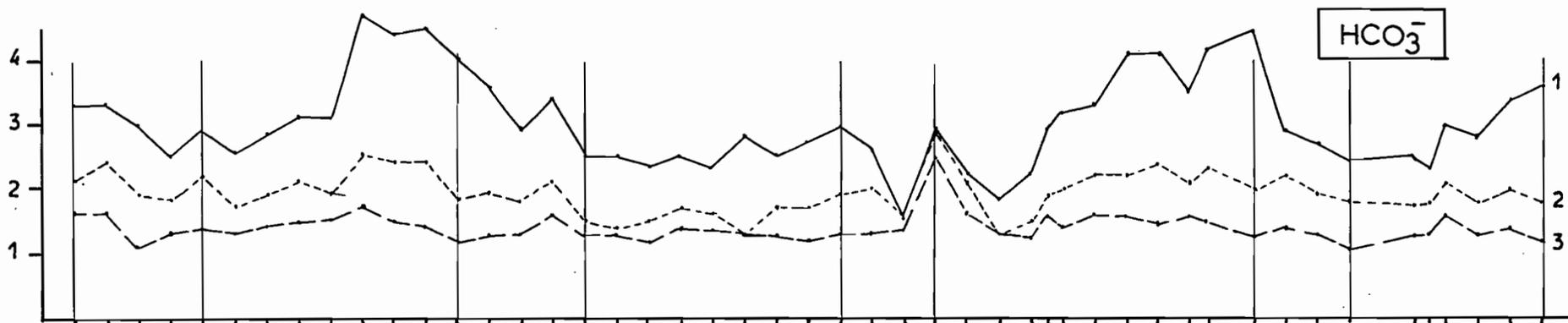
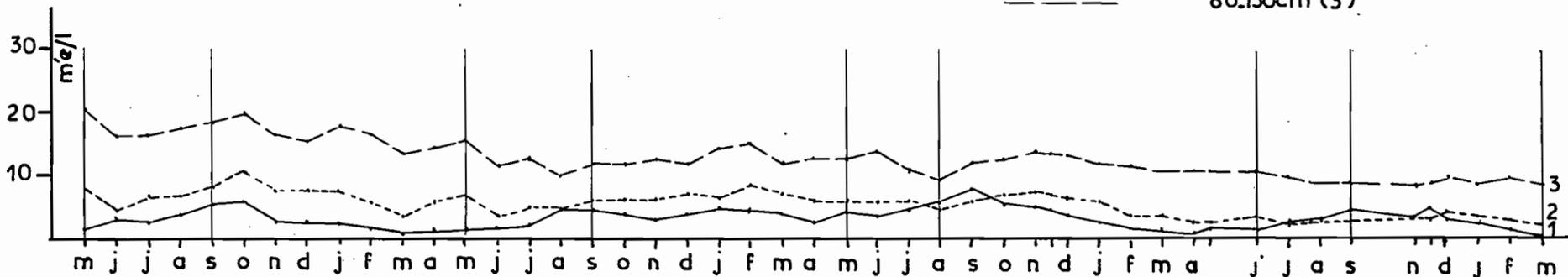
- 304 -

-Cherfech- Etude "Bilan des sels"

Evolution de la composition chimique de l'extrait de saturation

— couche 0.40cm (1)  
 - - - 40.80cm (2)  
 - · - · 80.150cm (3)

Mg<sup>++</sup>



- 305 -

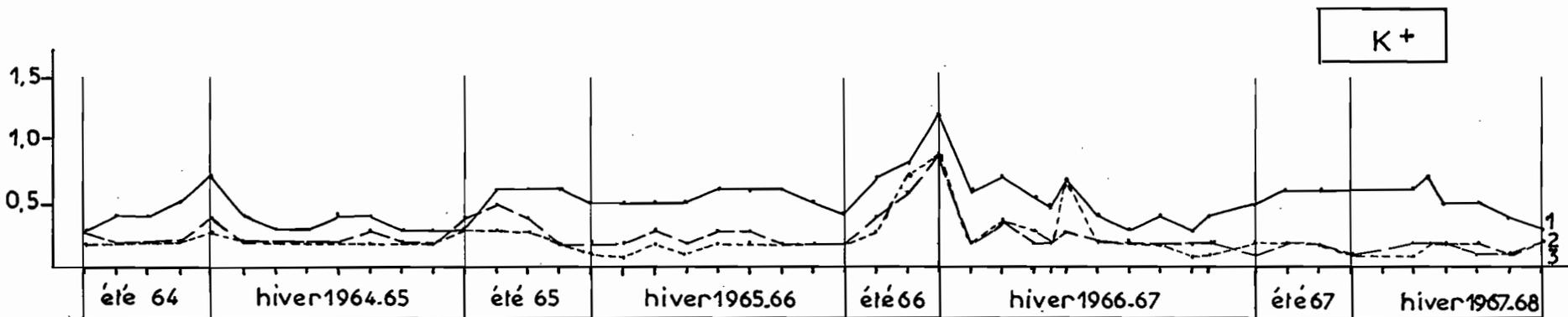


Fig II A-f 23

-Cherfech- Etude " Bilan des sels "

Evolution de la composition chimique de l'extrait de saturation

— couche 0.40 cm (1)  
 - - - 40.80 cm (2)  
 - - - 80.150cm (3)

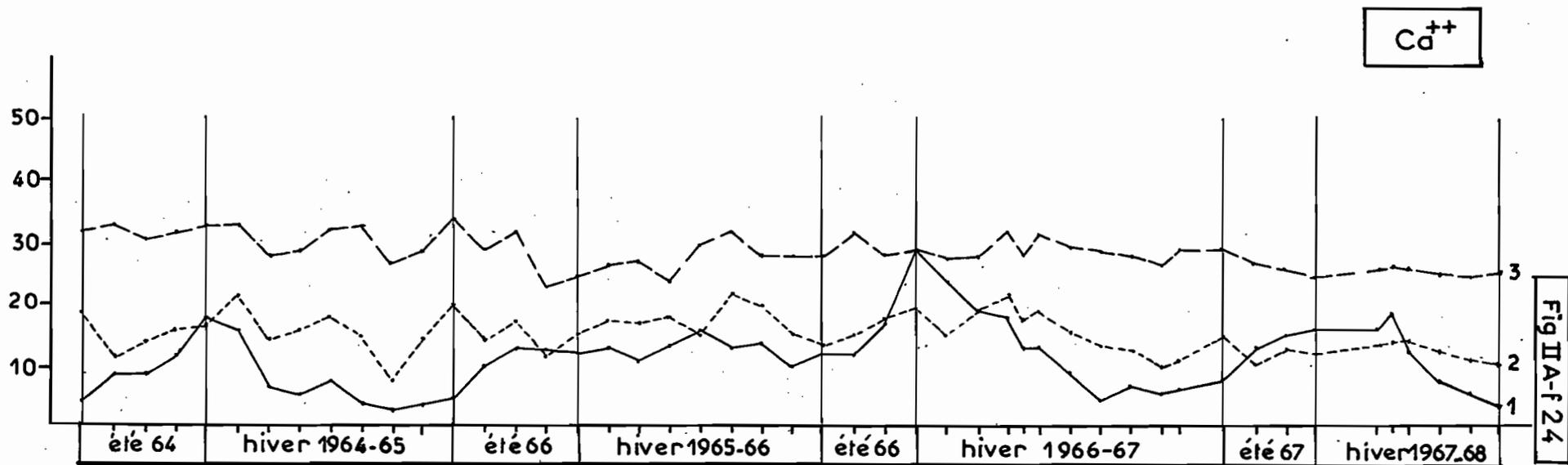
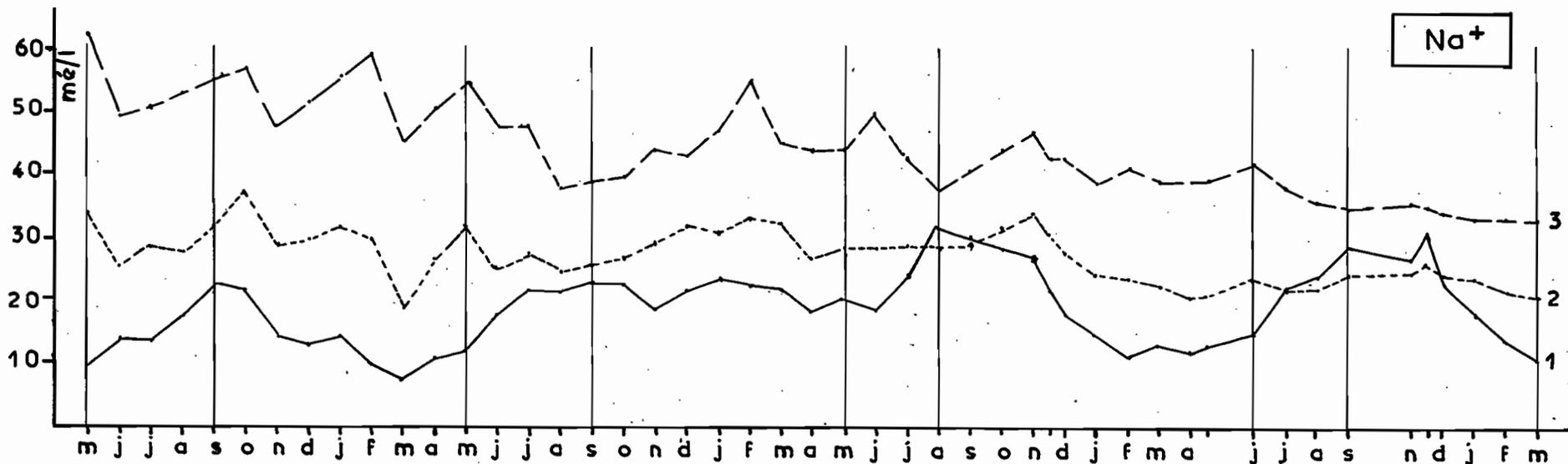
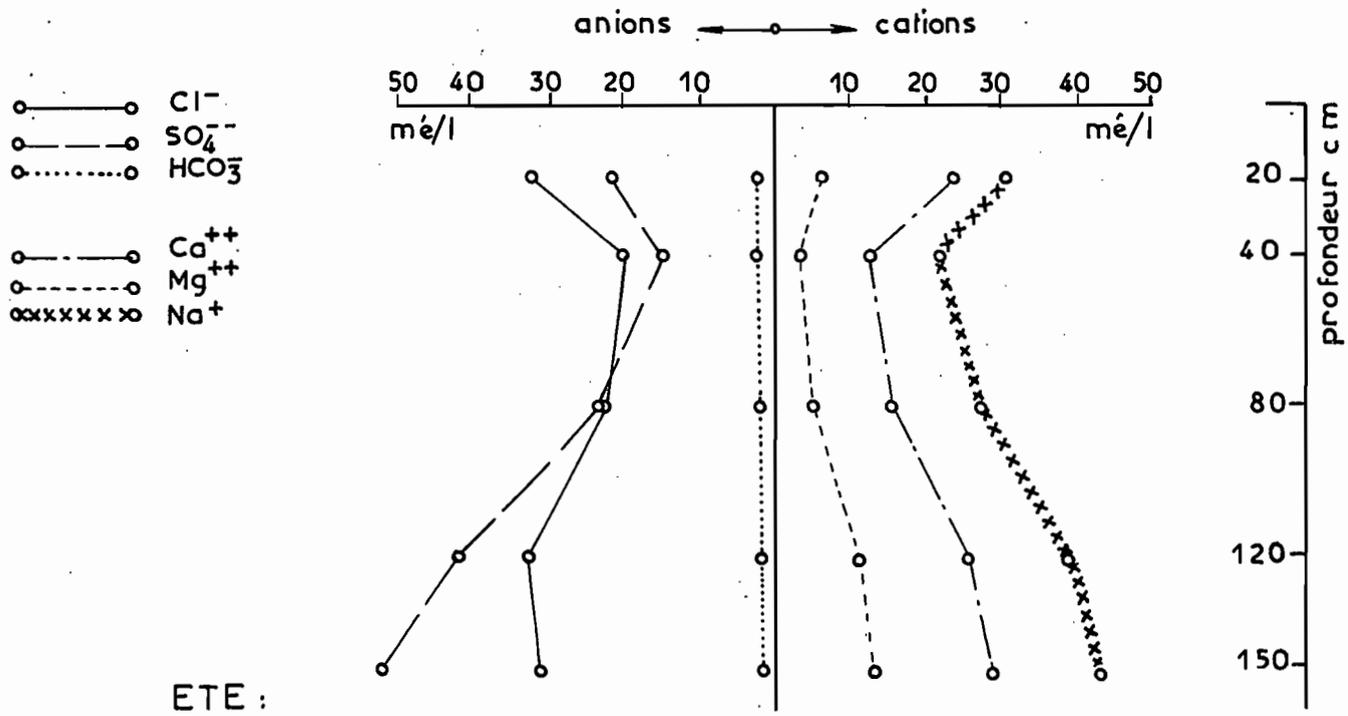


Fig II-A-f-24

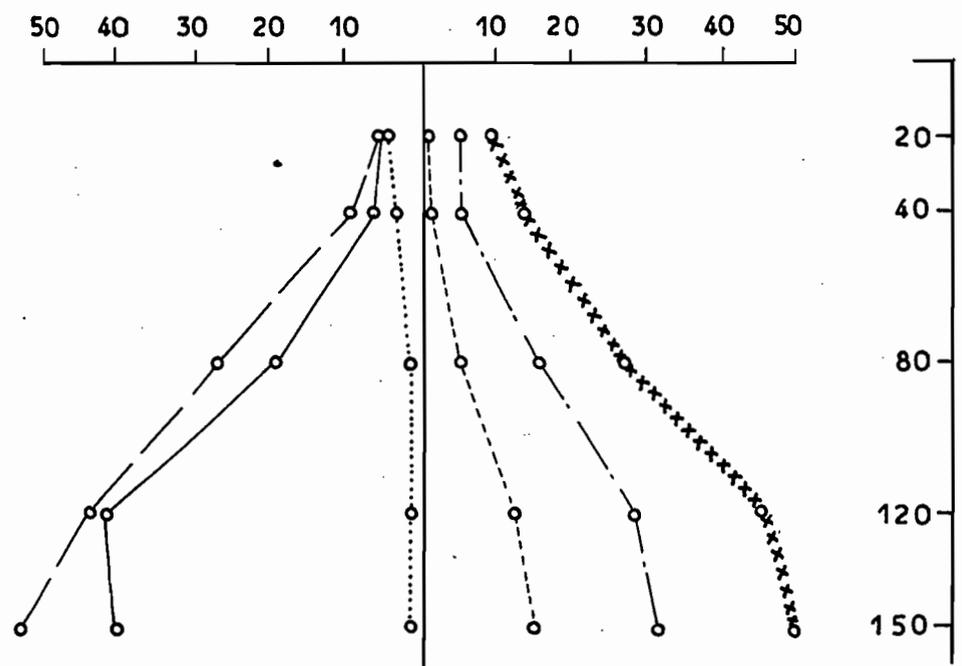
- 306 -

-Cherfech-Etude " Bilan des sels "

Composition chimique de l'extrait de saturation des cinq couches, 0-20 , 20-40 , 40-80, 80-120, 120-150cm.en été et en hiver, (moyenne des années 1964 à 1968)



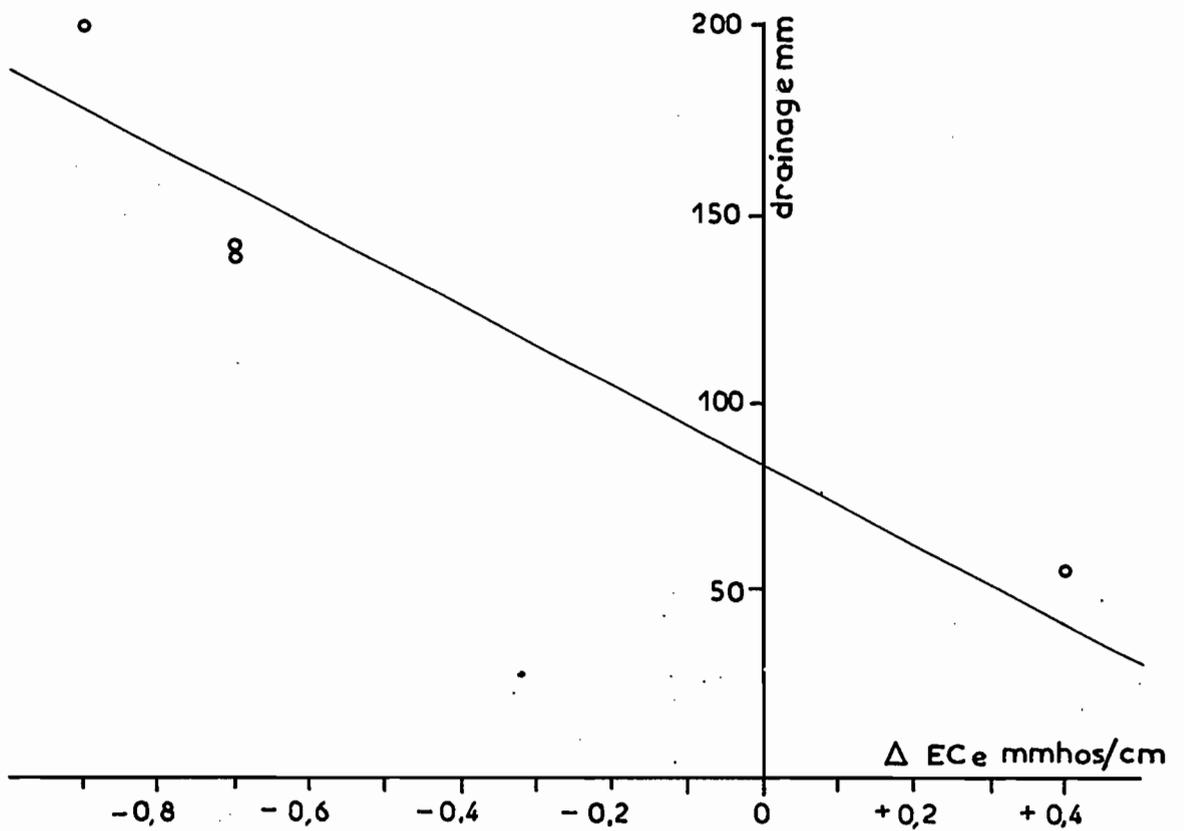
ETE :



HIVER:

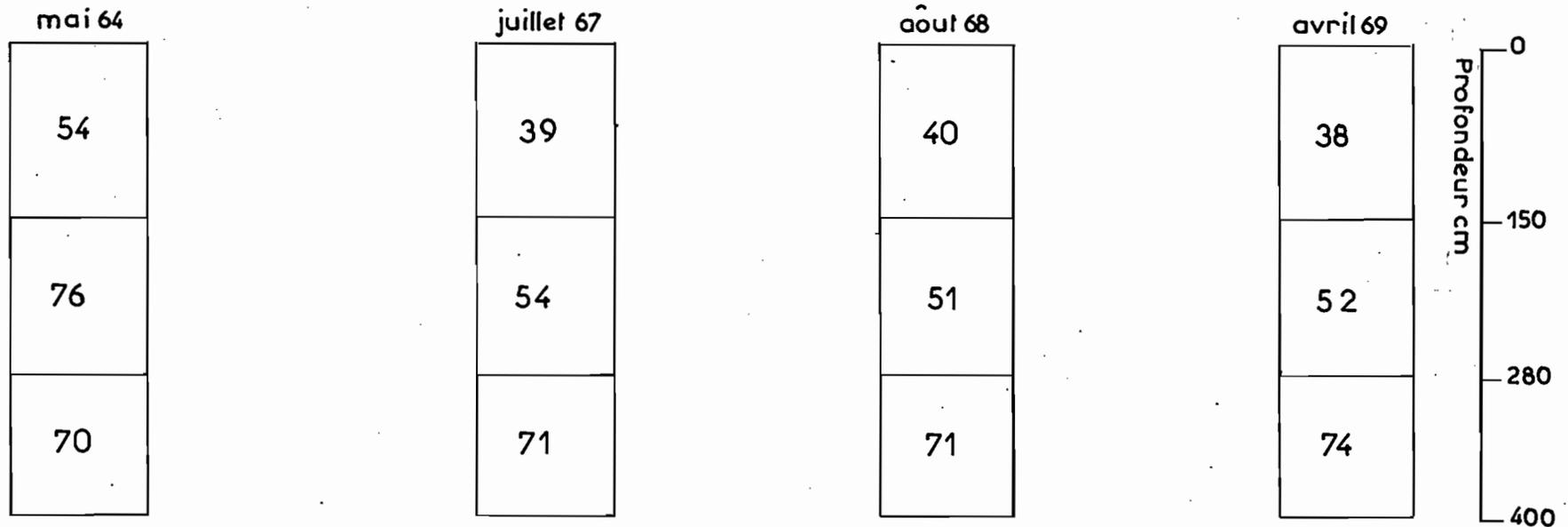
Fig II A-f 26

- Cherfech - Relation entre drainage et variation de l'EC<sub>e</sub>



-Cherfech- Etude " Bilan des sels"

I: Poids des sels en T/ha contenus dans les couches 0-150, 150-280 et 280-400cm aux quatre époques de référence.



II: Valeurs de  $\Delta S$  et  $\Delta s$  pour trois périodes successives.

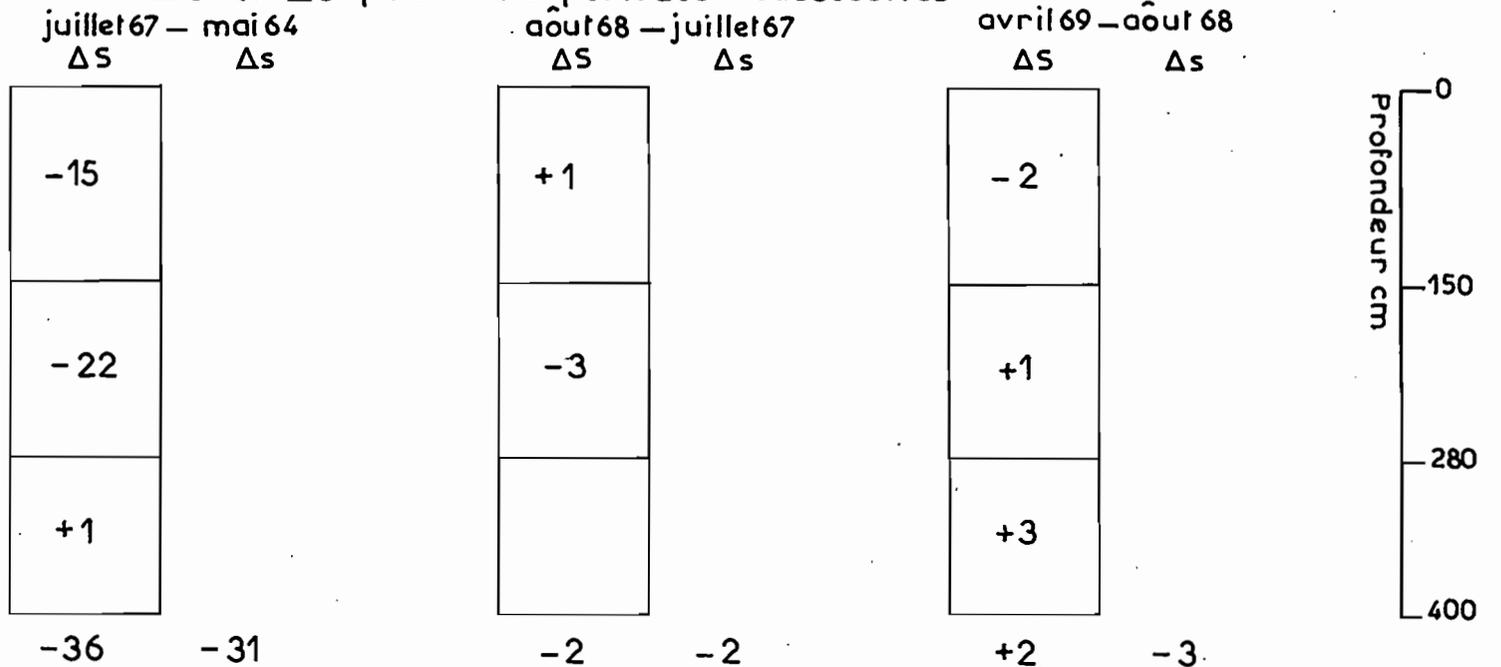


Fig II A-f27

- Utique - Caractéristiques des profils-types

— avec végétation  
 - - - sans végétation

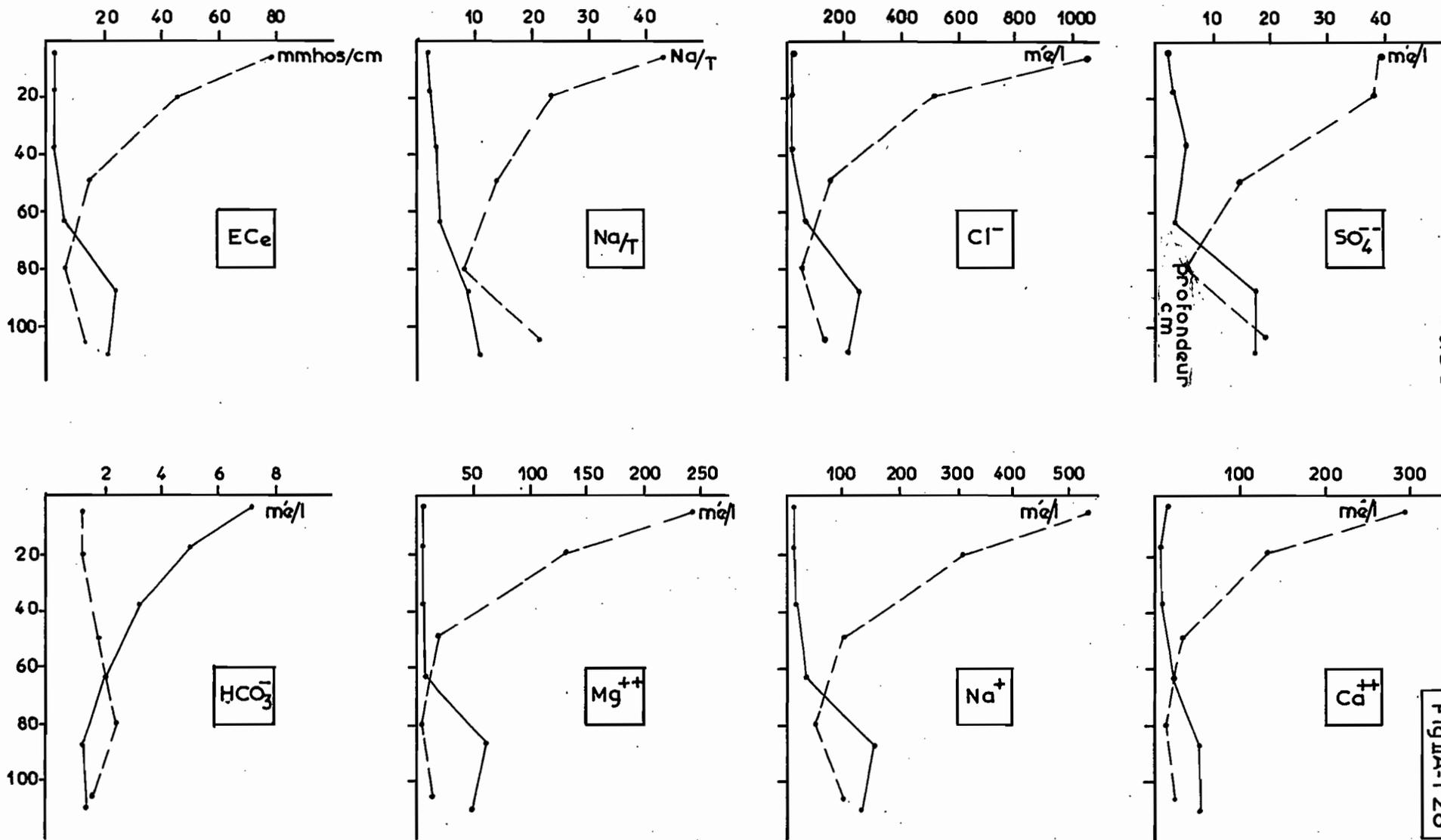
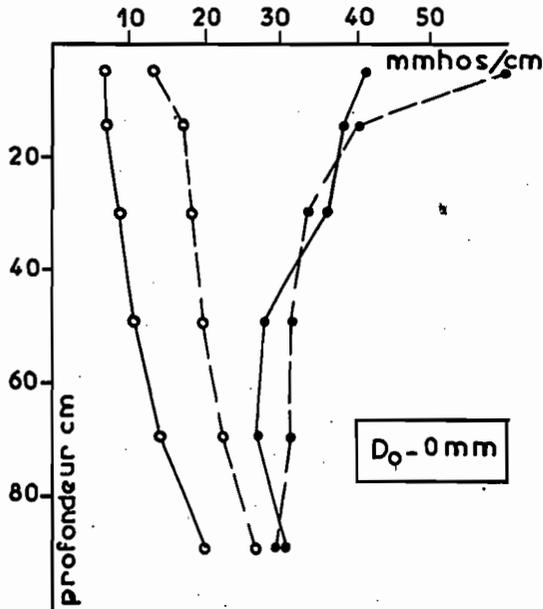


FIG IIA-f 28

Fig II A-f 29

Ulrique - Premier essai "Lessivage" (Hiver 1966-67)

Profils de salure ( $EC_e$ )



- Zone sans végétation avant le lessivage
- -●- - Zone sans végétation après le lessivage
- Zone avec végétation avant le lessivage
- -○- - Zone avec végétation après le lessivage

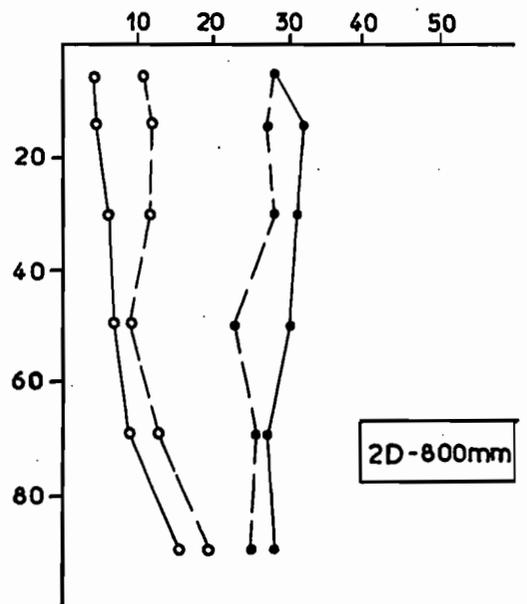
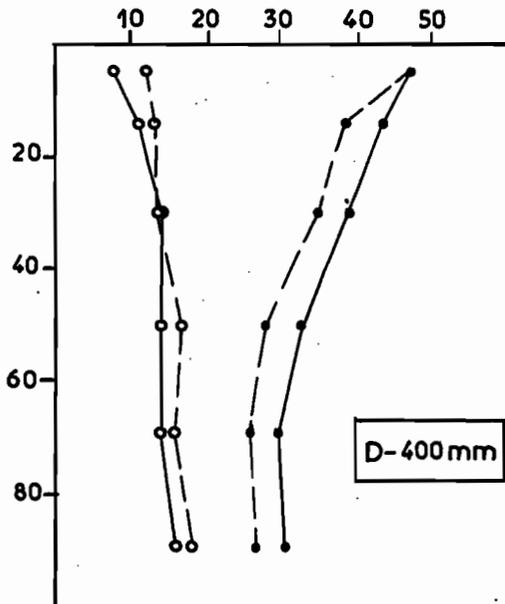


Fig II A-f30

- Utique - Deuxième essai "Lessivage" - (Hiver 1967-68)  
partie non labourée - Profils de salure ( $EC_e$ )

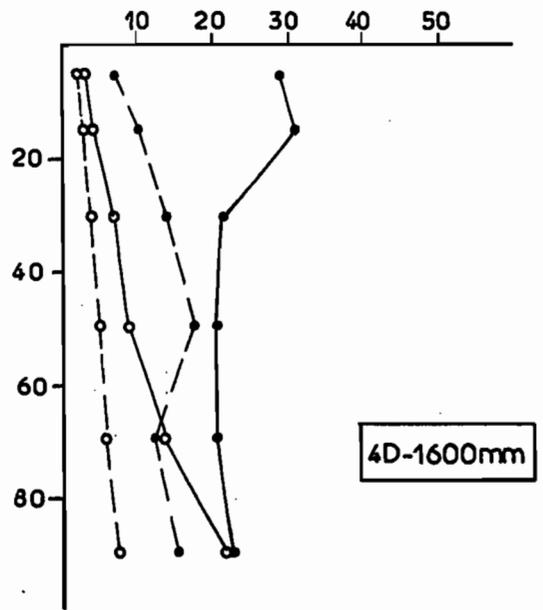
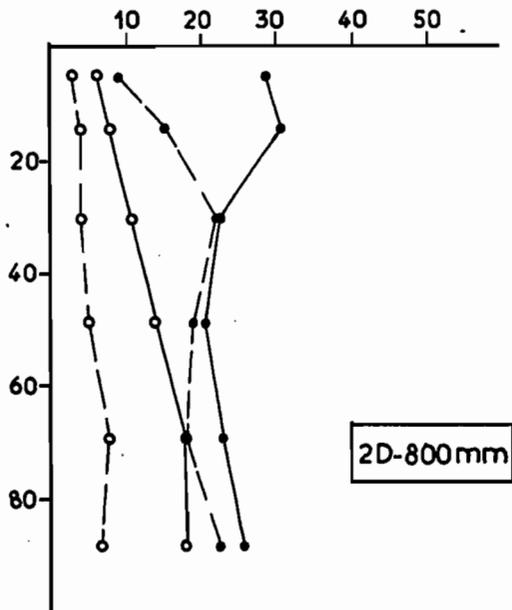
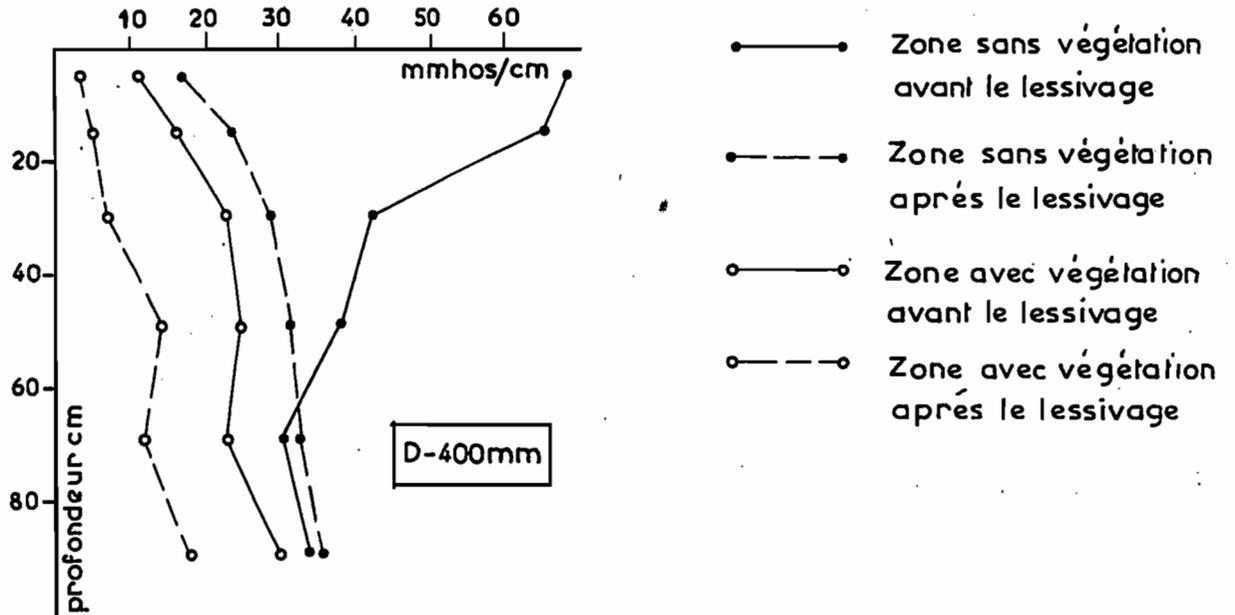
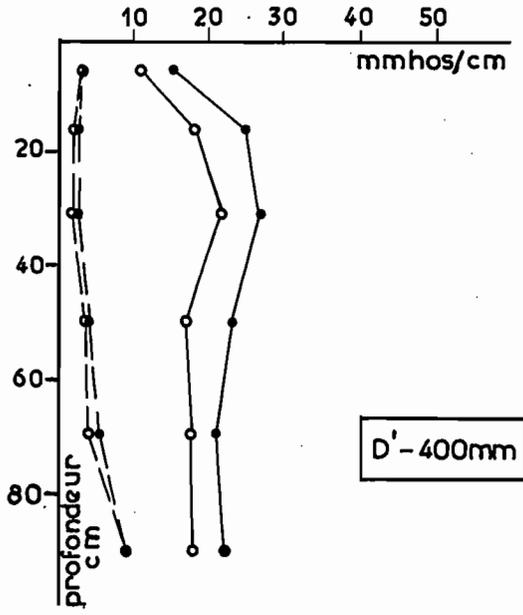


Fig IIA-f31

- Ulrique - Deuxième essai "Lessivage" - (Hiver 1967-68)  
partie labourée - Profils de salure ( $EC_e$ )



- Zone sans végétation avant le lessivage
- - -●- - Zone sans végétation après le lessivage
- Zone avec végétation avant le lessivage
- - -○- - Zone avec végétation après le lessivage

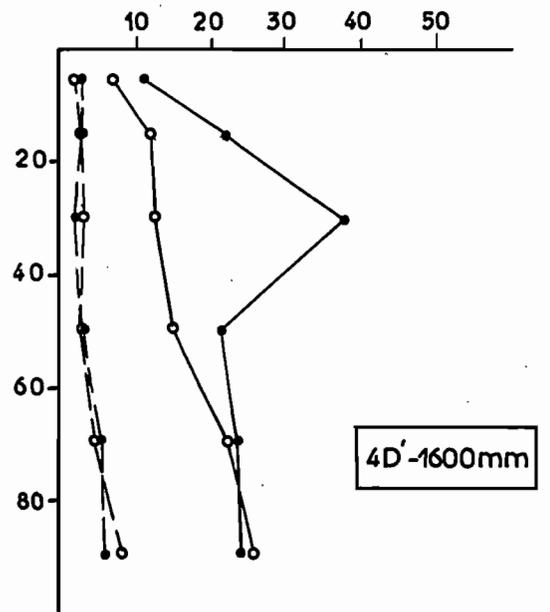
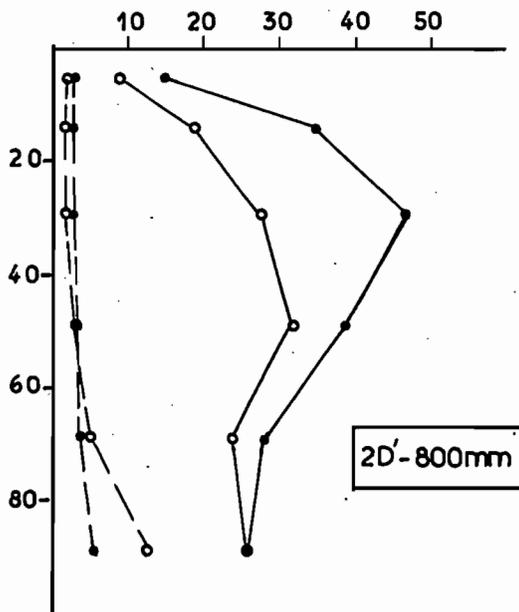


Fig II A-f 32

-Tozeur- Etude "Bilan des sels"  
Evolution de l'EC<sub>e</sub>

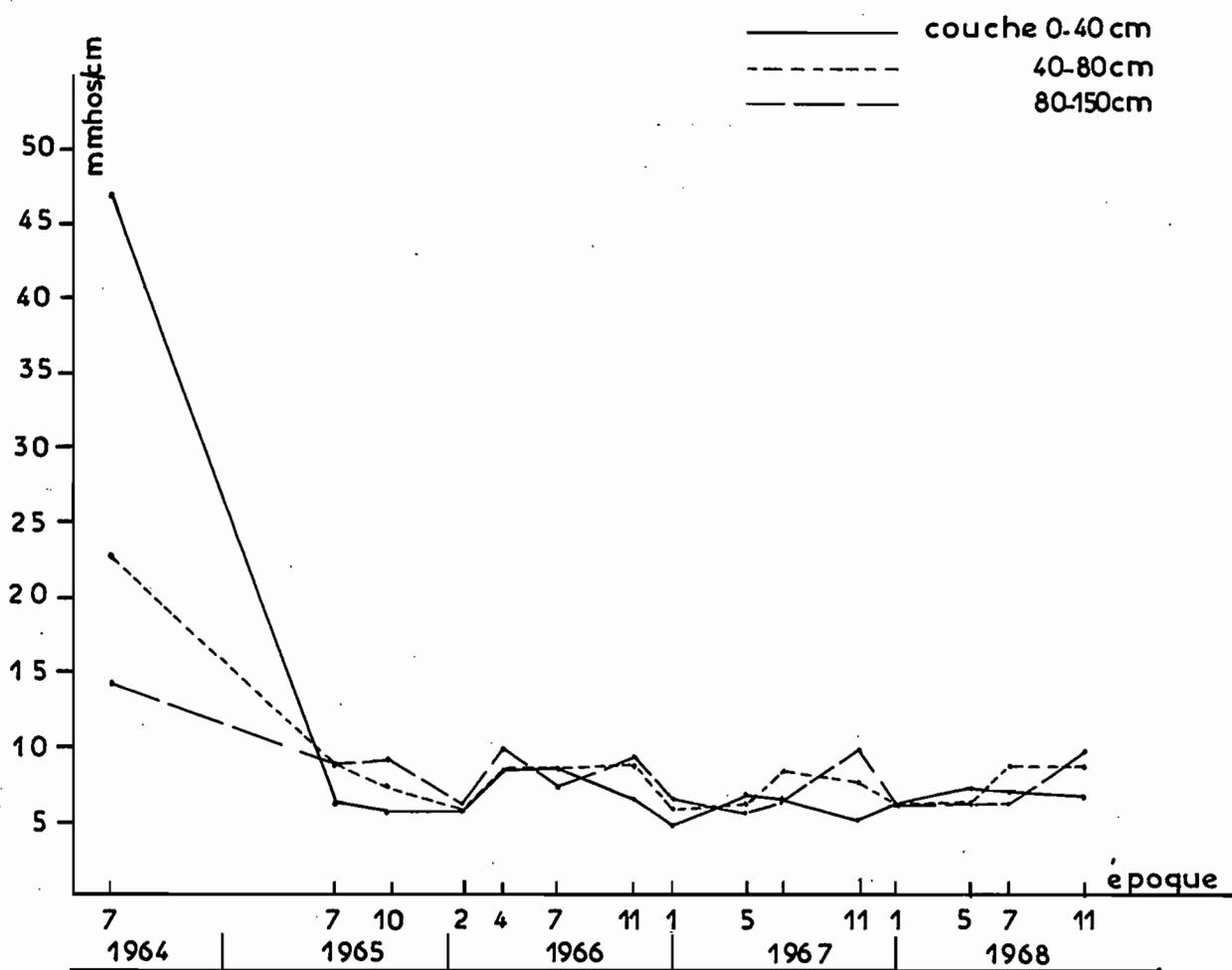
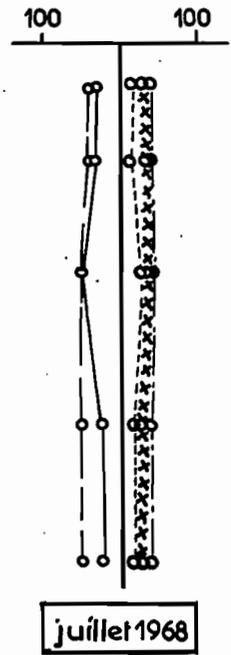
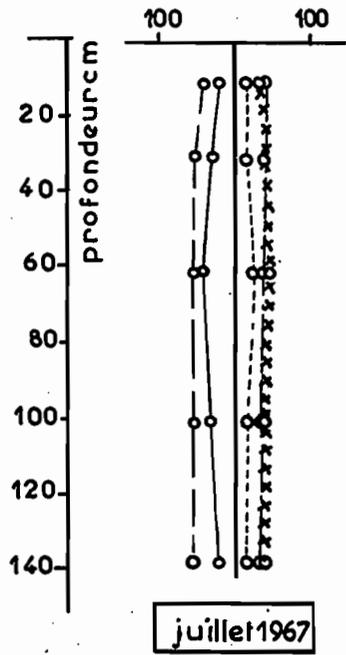
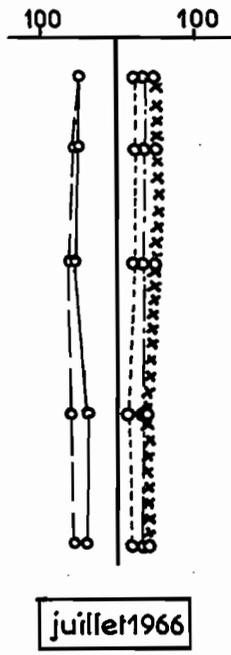
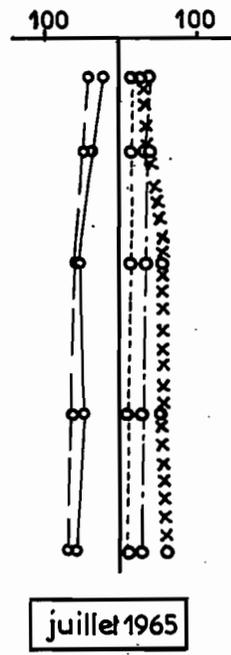
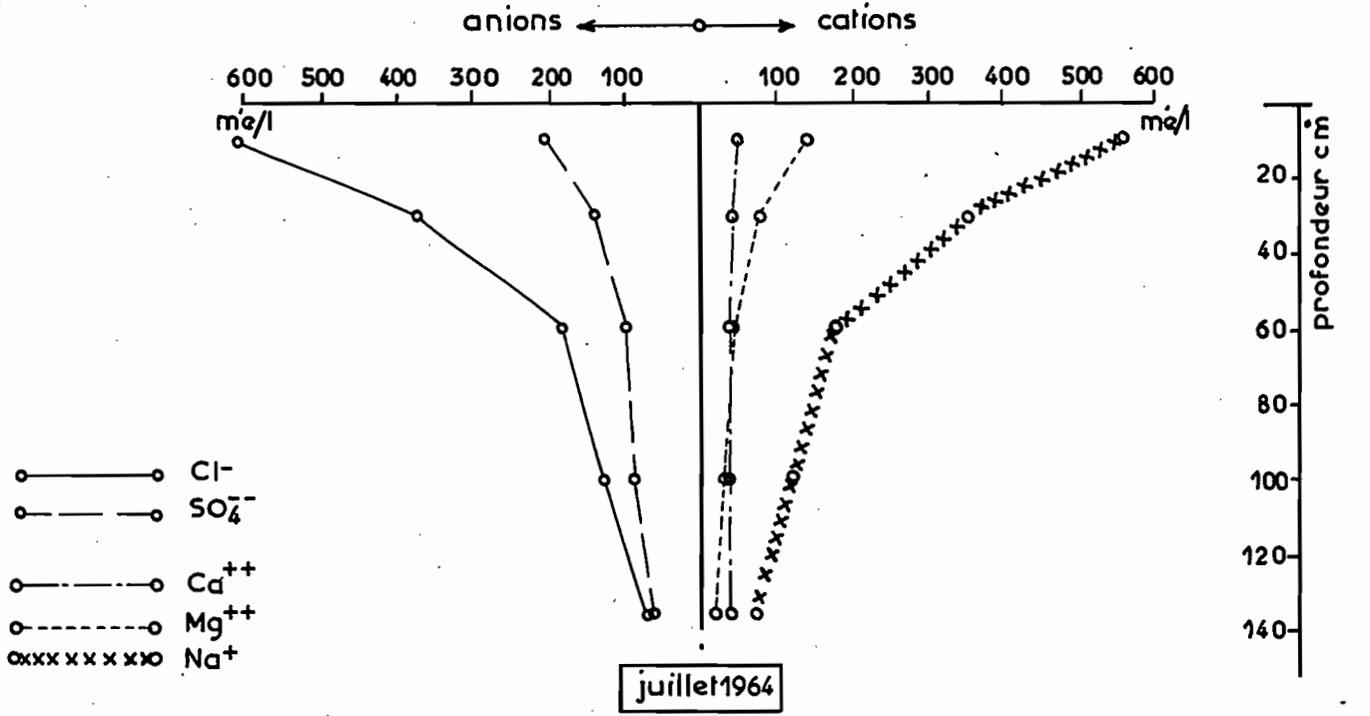


Fig II A-f33

Tozeur - Etude "Bilan des sels"

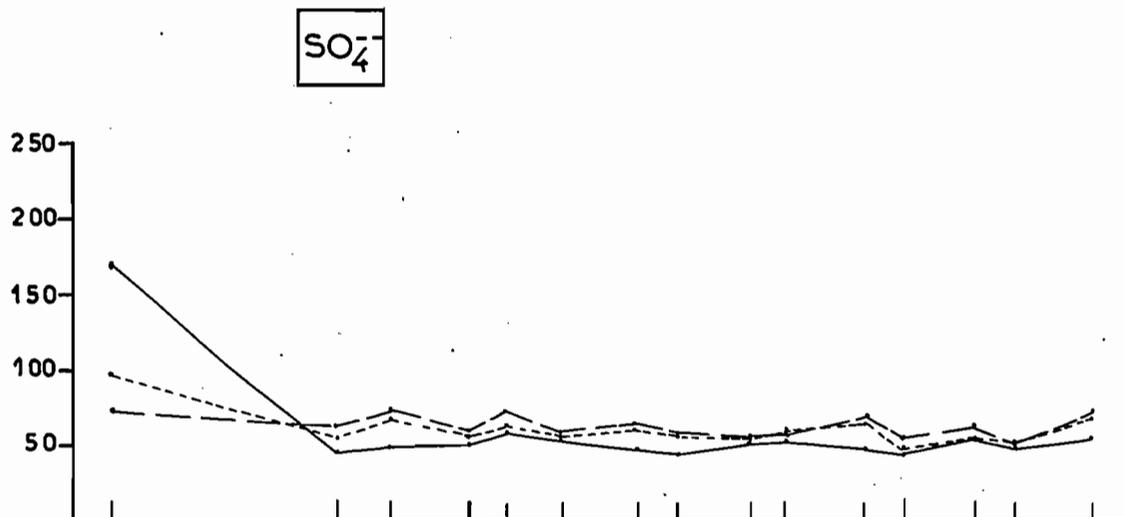
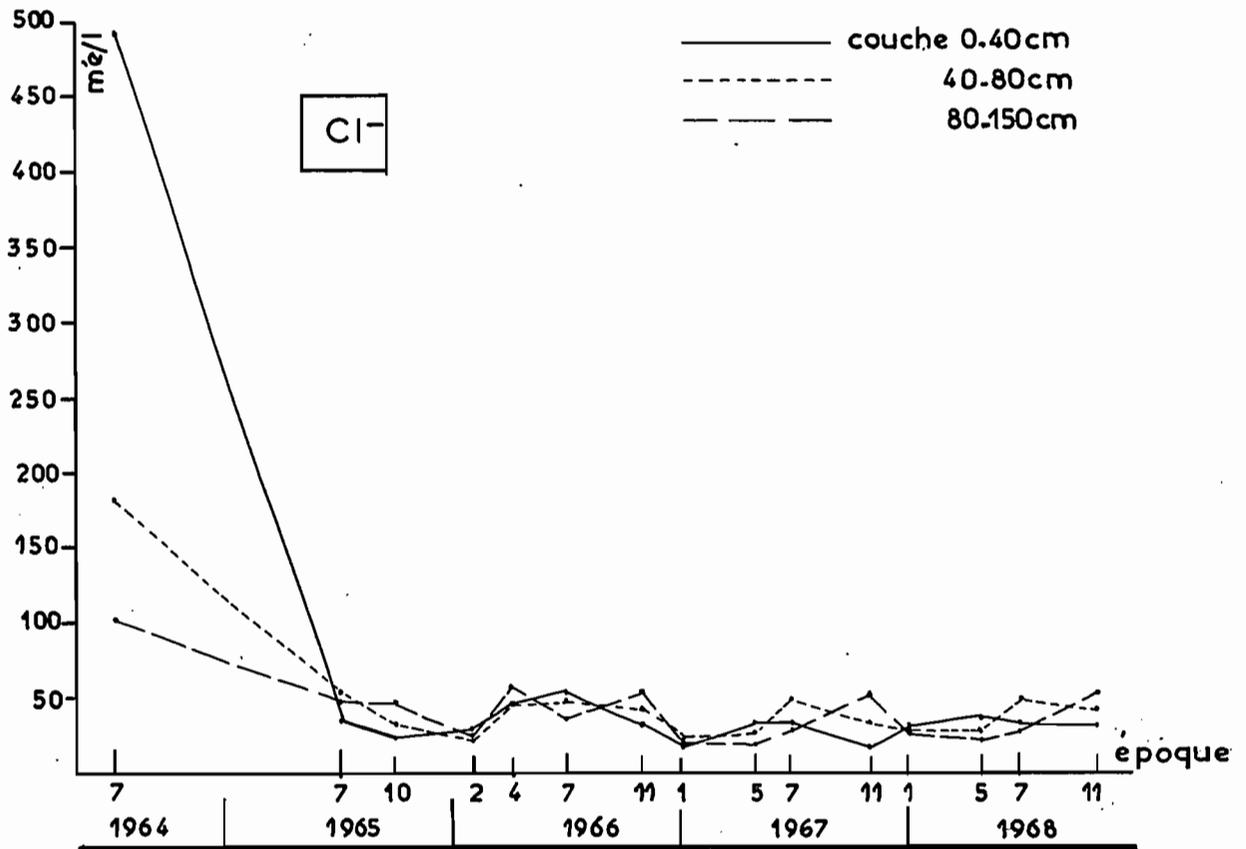
Composition chimique de l'extrait de saturation des cinq couches, 0-20, 20-40, 40-80, 80-120, 120-150 cm



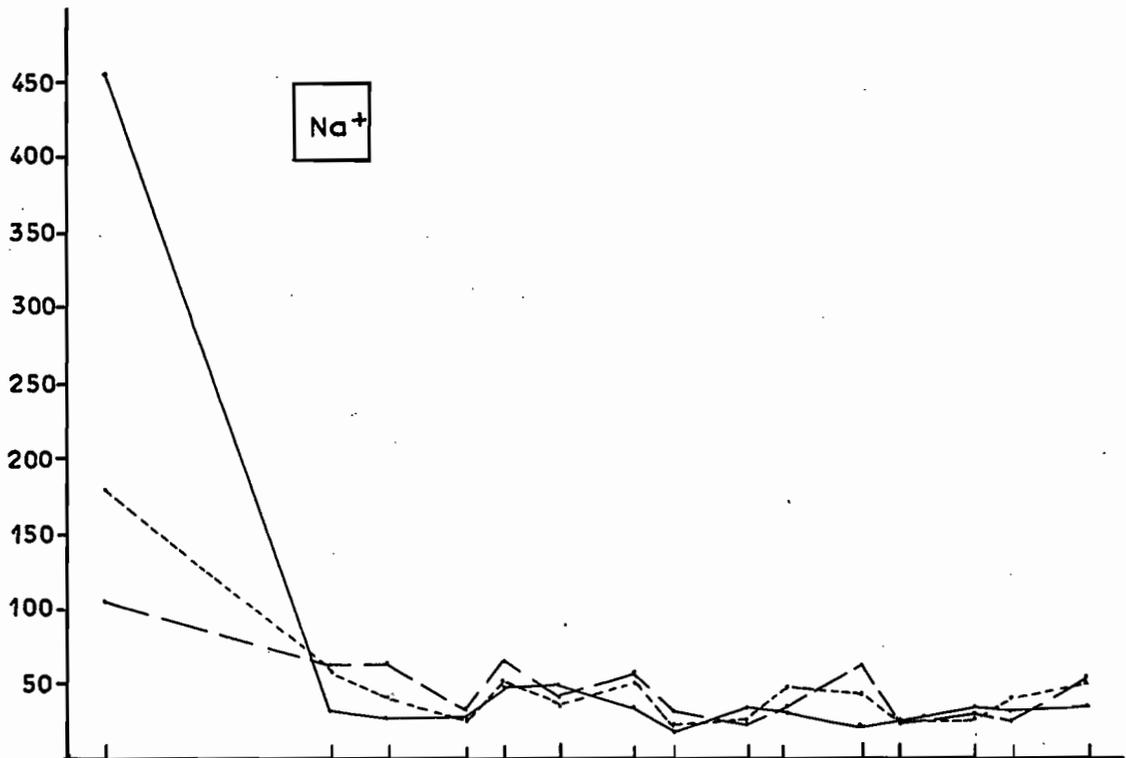
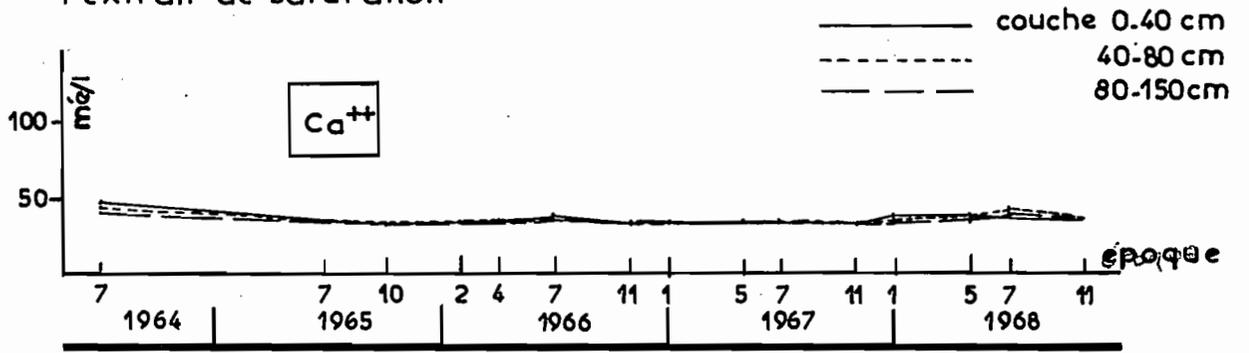
-Tozeur- Etude " Bilan des sels "

Fig II A-f34

Evolution de la composition chimique de l'extrait de saturation

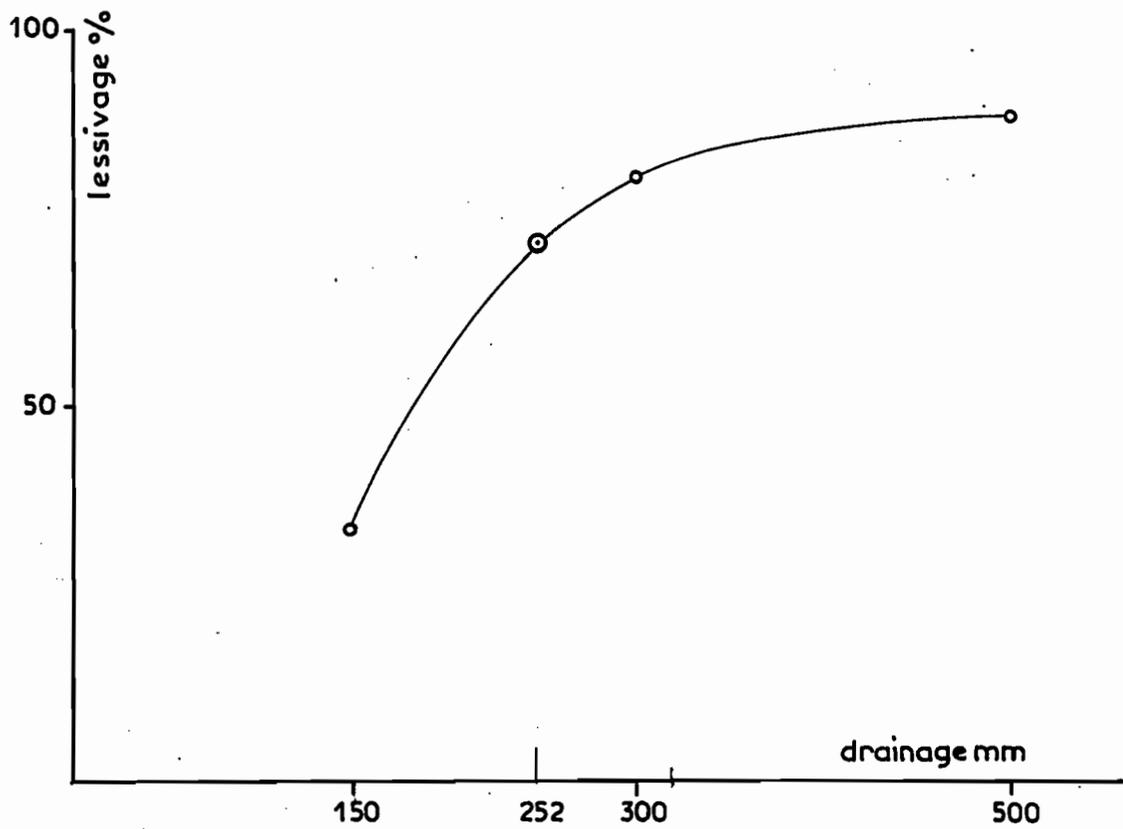


Evolution de la composition chimique de l'extrait de saturation



-Tozeur- Relation entre le drainage et le lessivage.

- - valeur obtenue dans les essais sur le bac
- ⊙ - valeur obtenue sur la parcelle "Bilan"



-Tozeur- "Lessivage sur bac"

Relation entre la conductivité et la quantité d'eau drainée

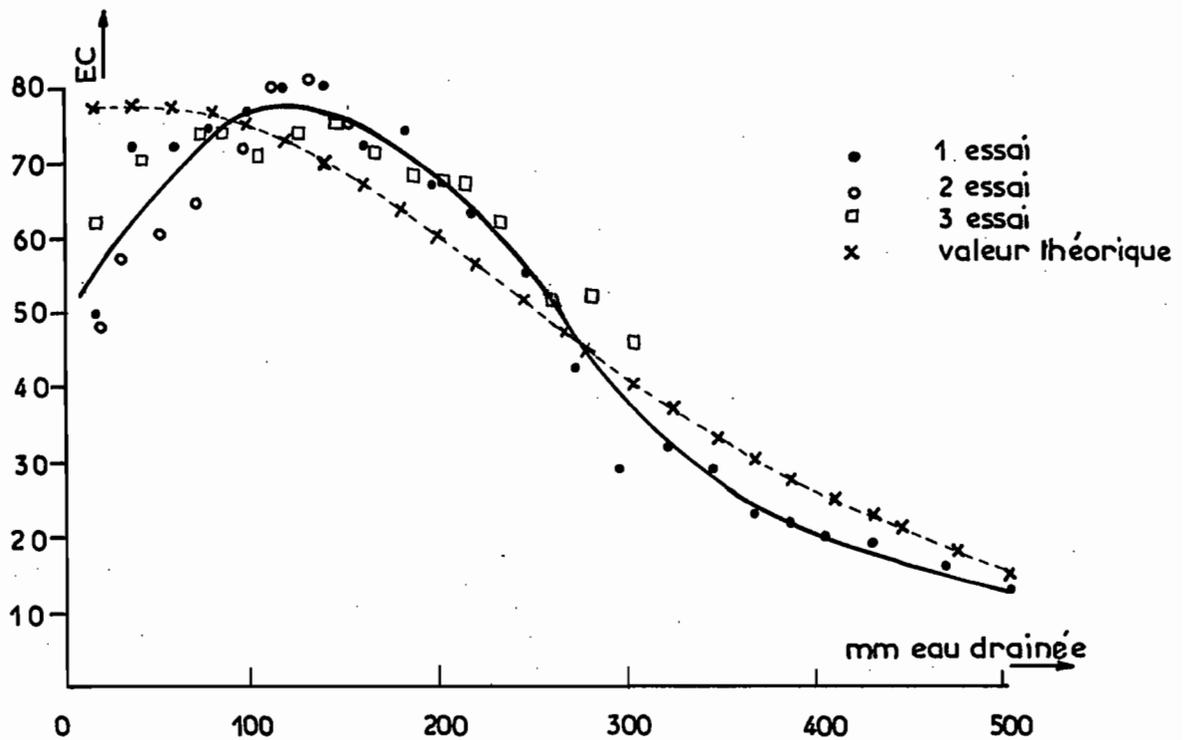


Fig II A-f38

-Cherfech- Essai QDE - Sole I

I: Evolution du Na/T dans la couche 0-80cm.

II: Na/T moyens au cours de l'expérimentation.

—	traitement A
- - -	B
— · —	C
- · - · -	D

P= printemps  
A=automne

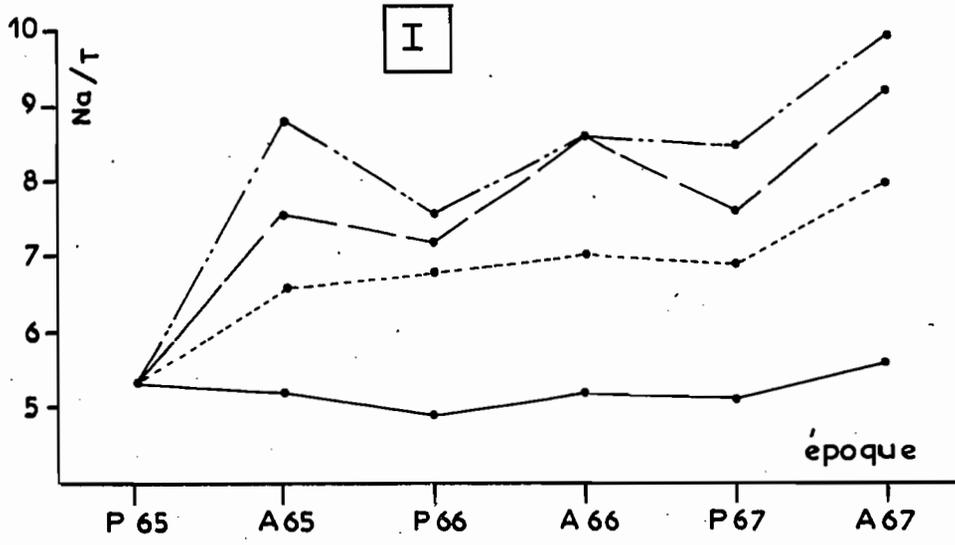
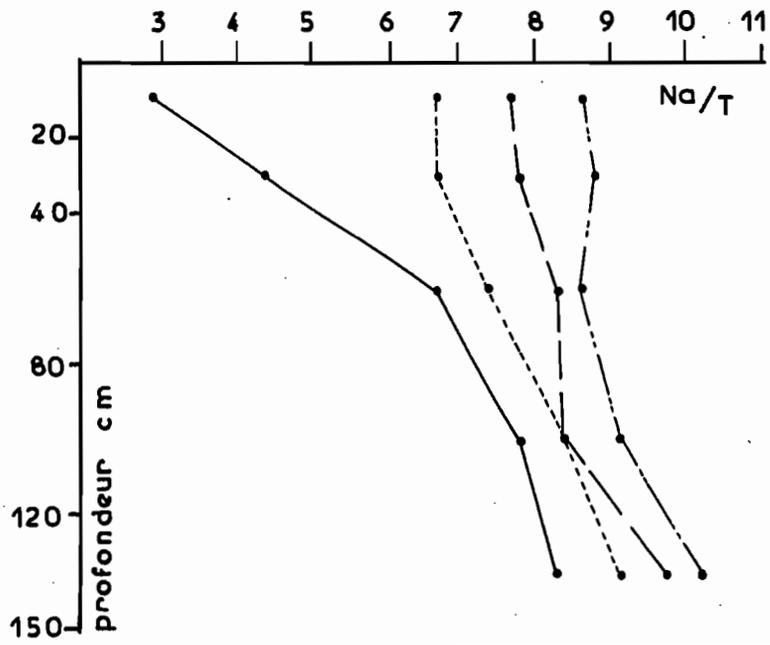


Fig II A-f39

II

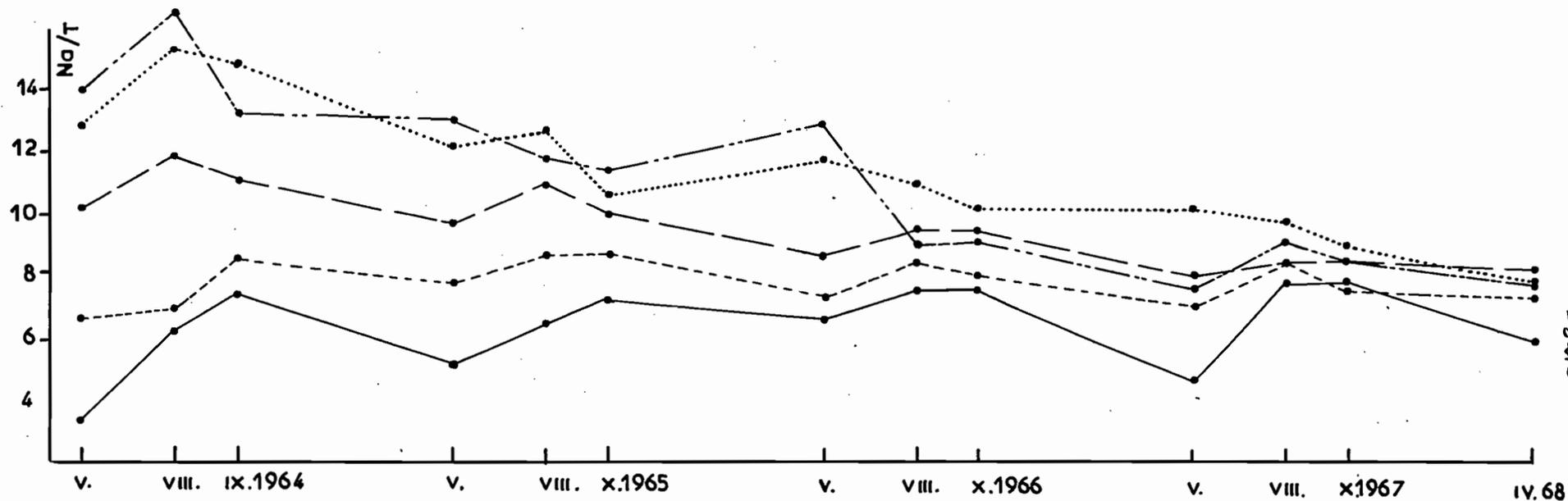


- Cherfech - Etude " Bilan des sels "

Evolution de Na/T

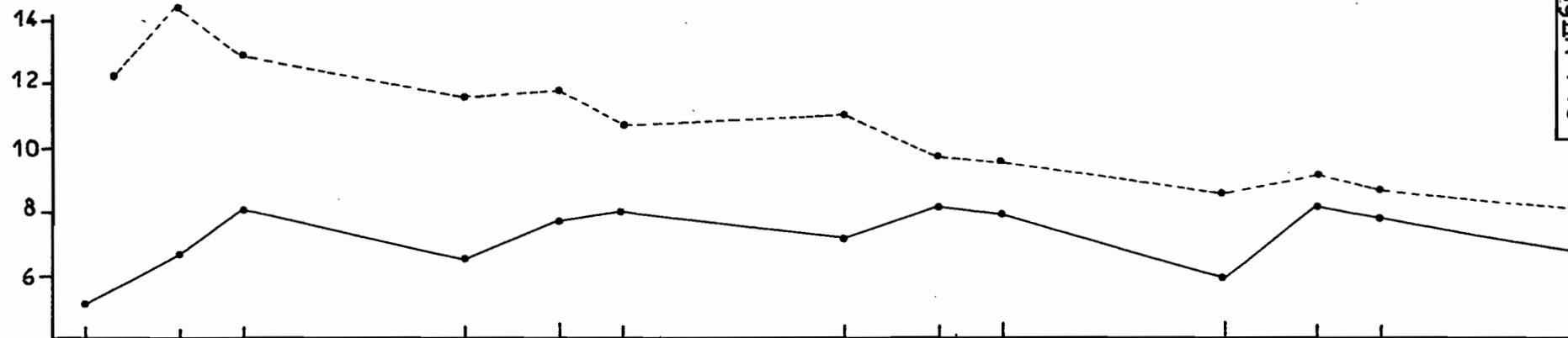
Détail des cinq couches

— 0-20cm    - - - 20-40cm    - · - · 40-80cm    - · - · 80-120cm    ····· 120-150cm



Couche 0-40cm et 40-150cm

— 0-40cm    - - - 40-150cm

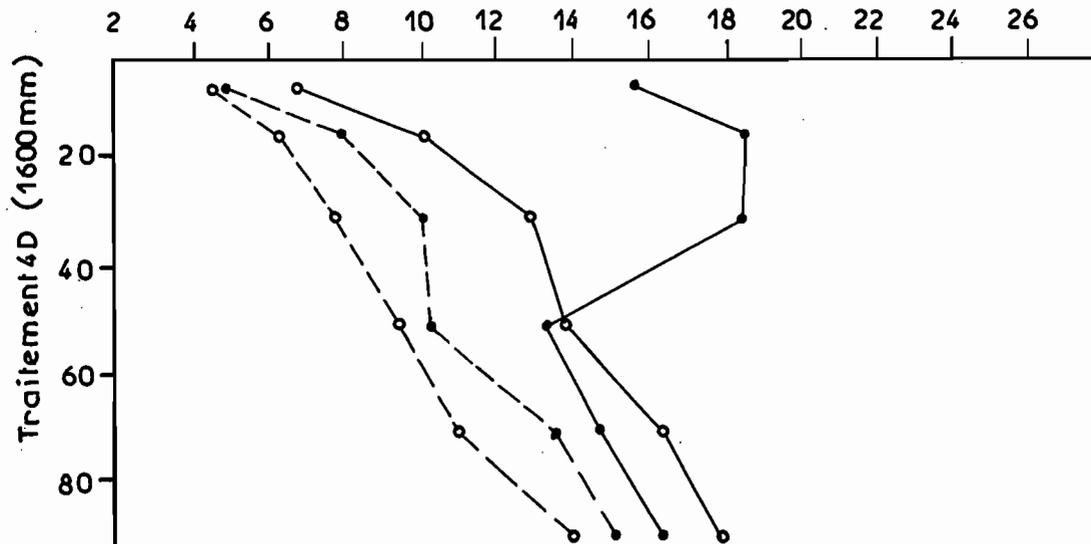
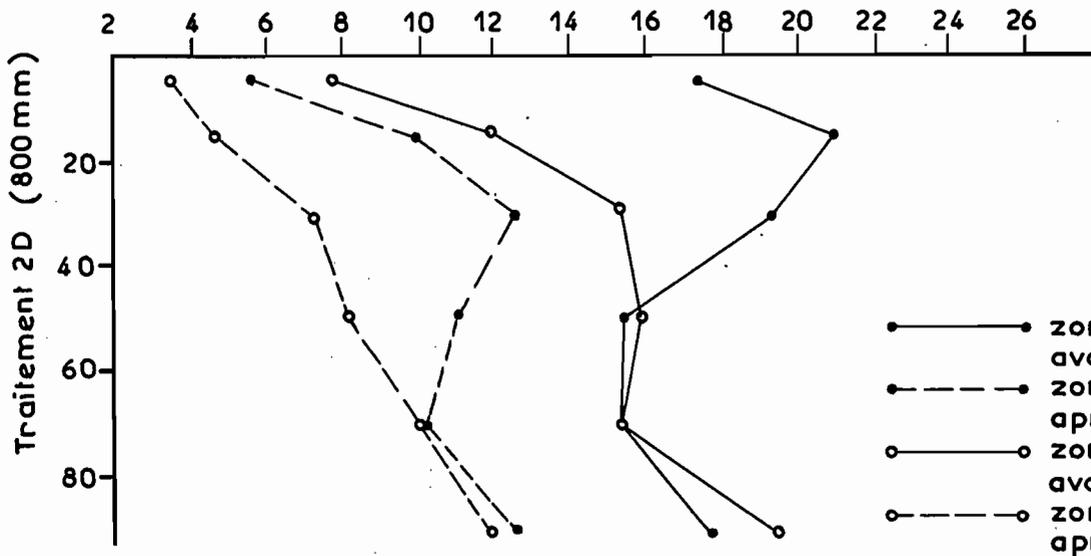
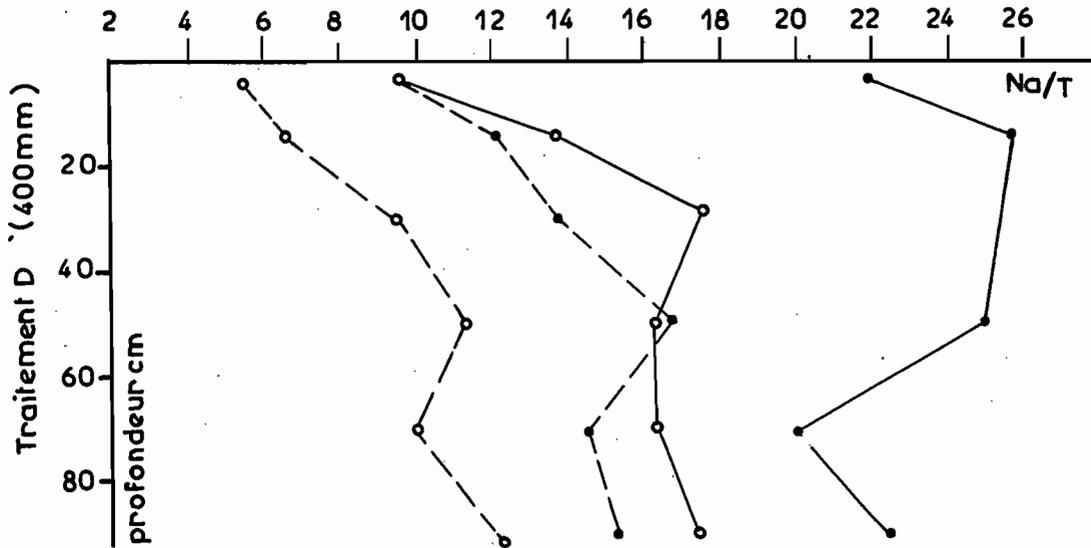


FigIIA - F40

- 381 -

Ulrique - Na/T avant et après le lessivage

Fig II A-f41



-Cherfech-: relation entre alcalisation et salinité

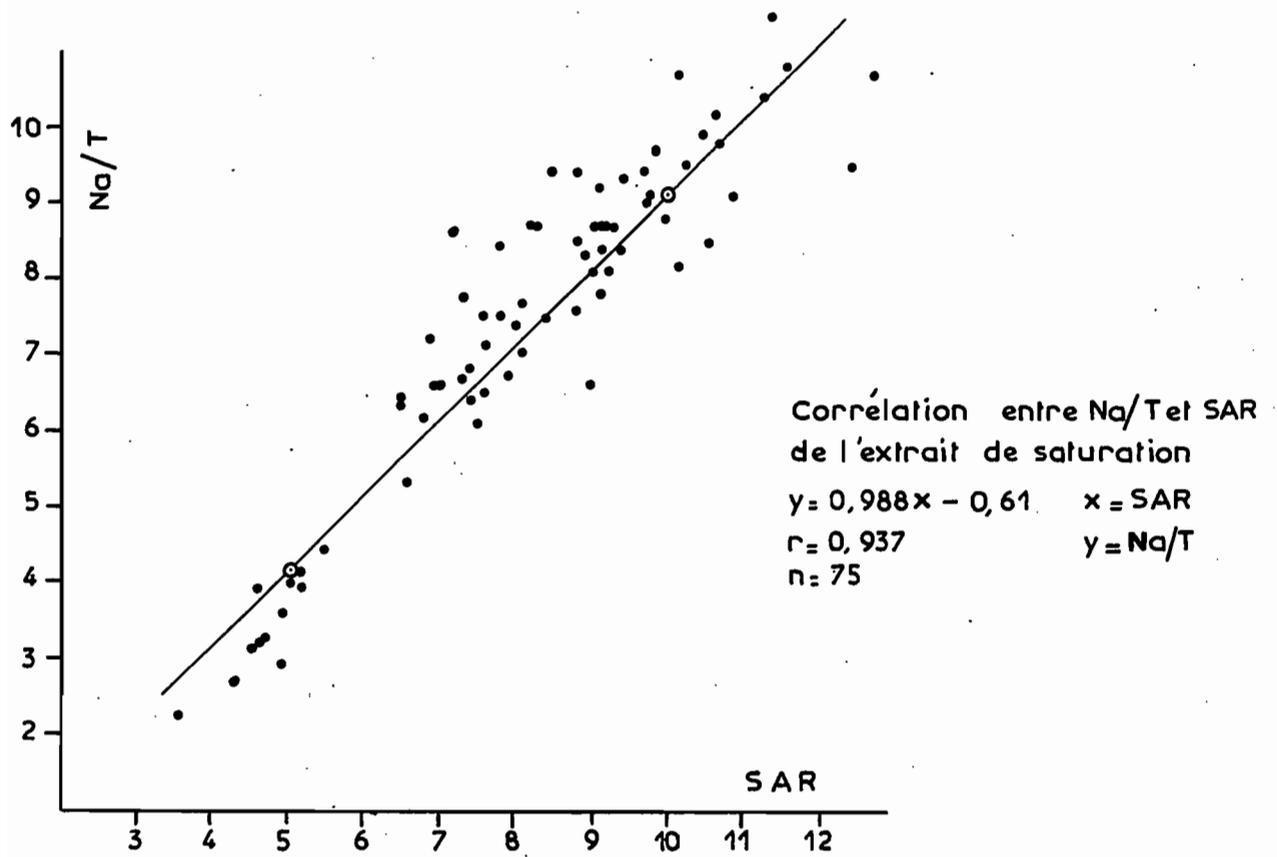
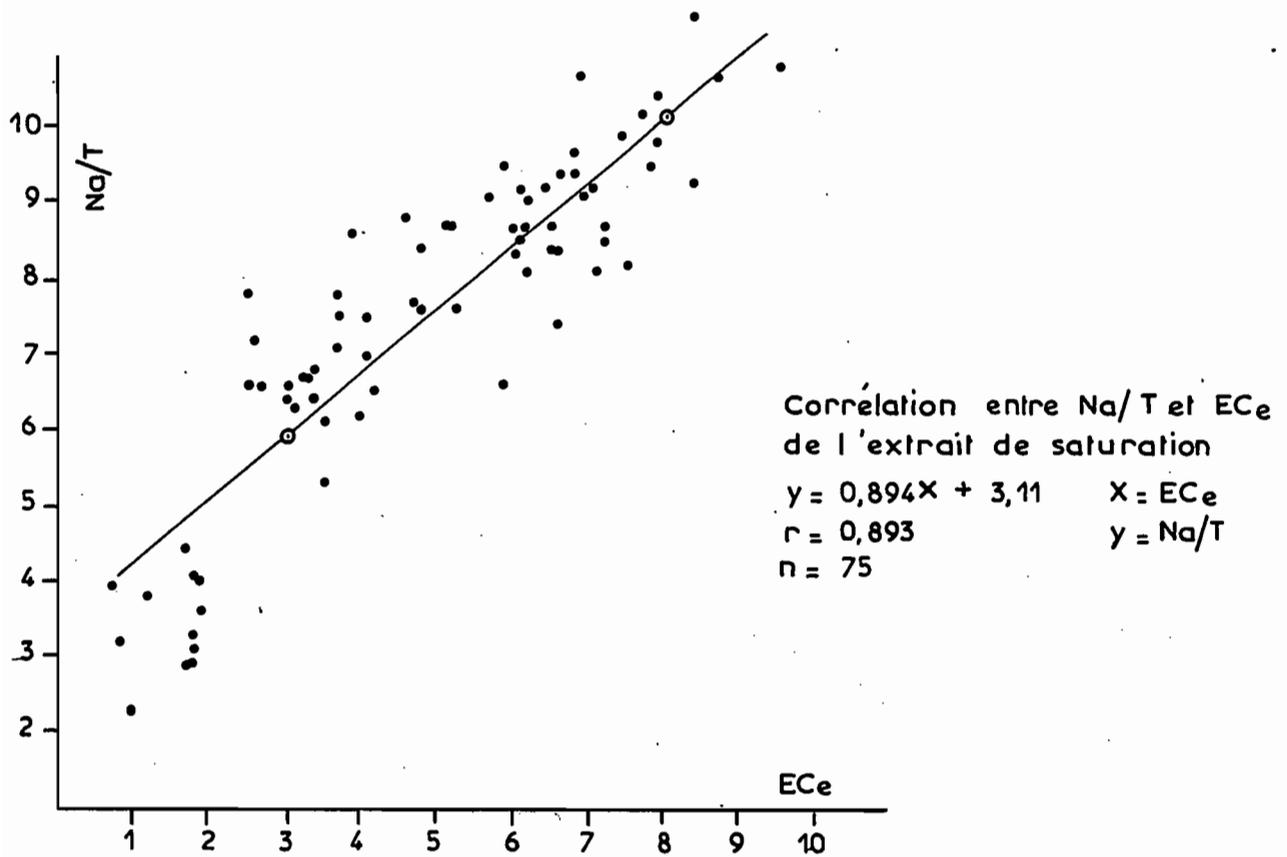
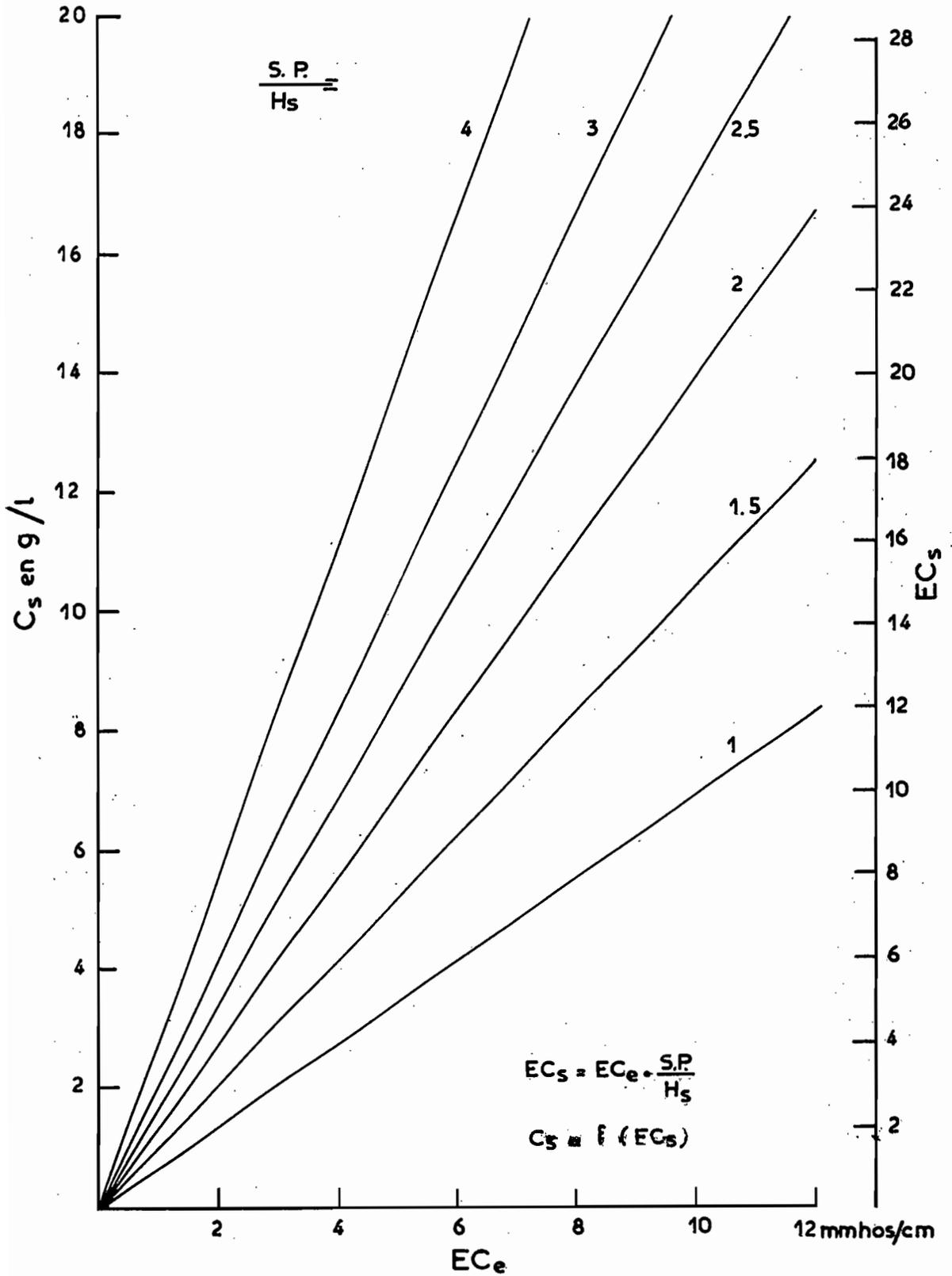


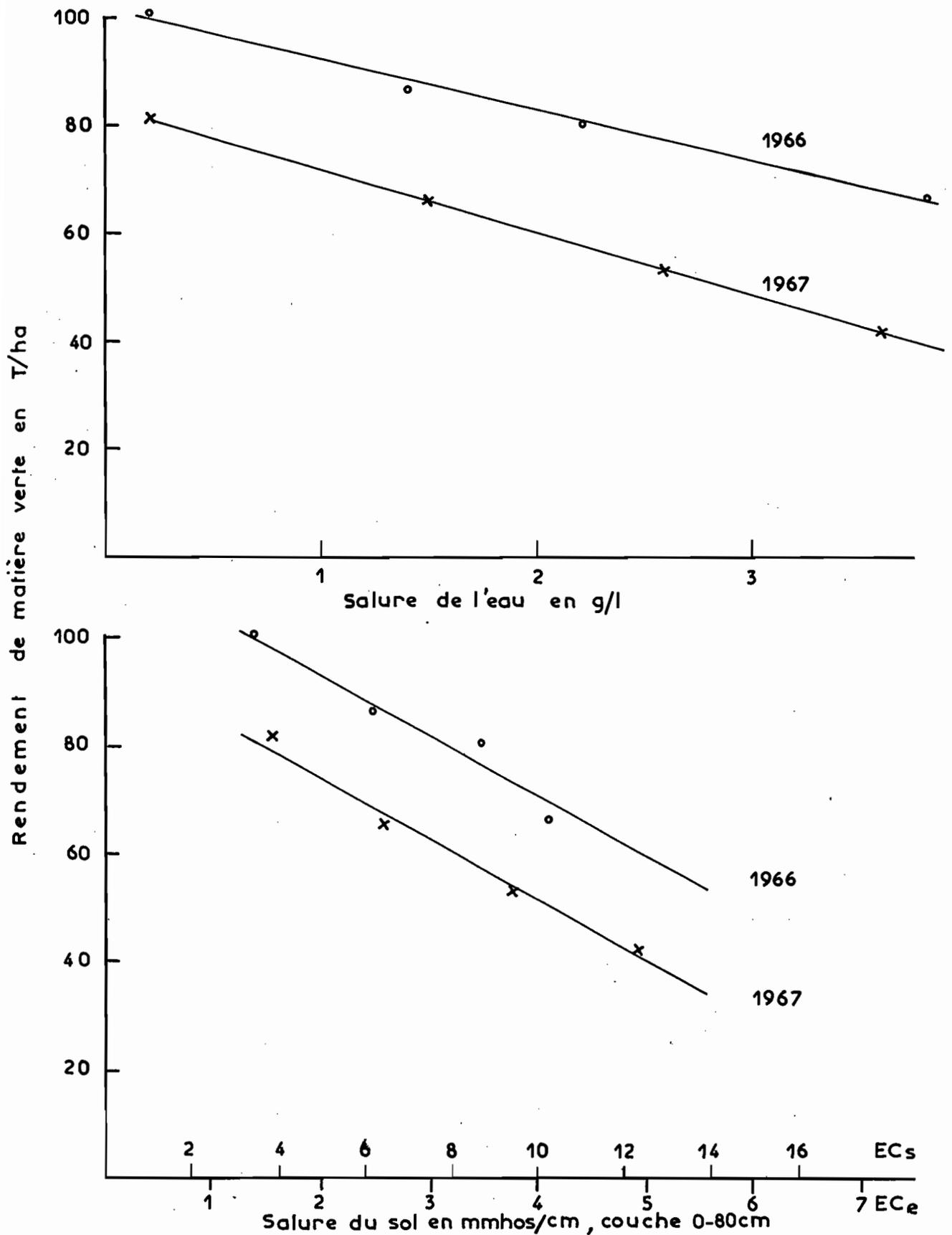


Fig II B-f1

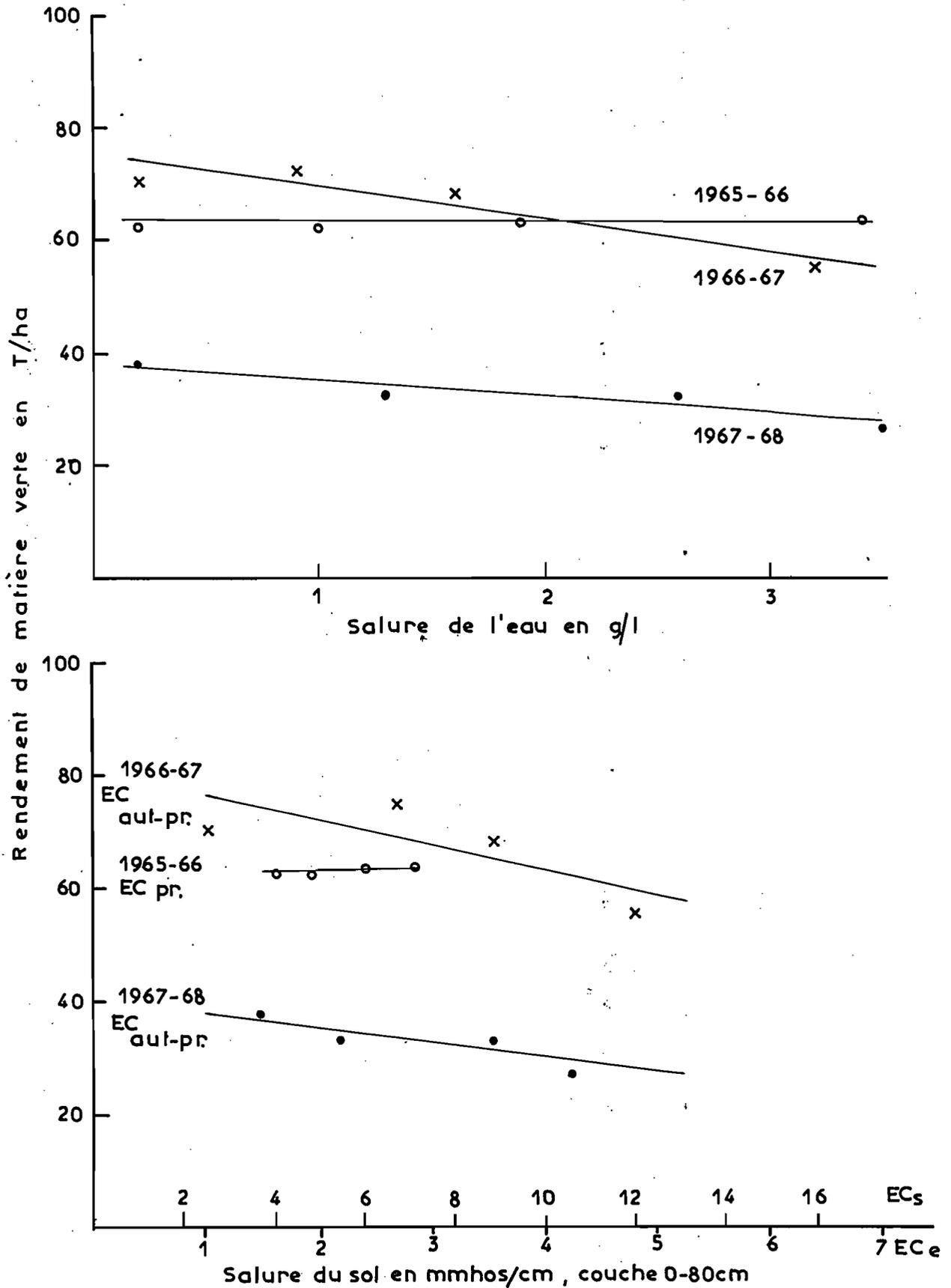
Rapport entre  $EC_e$ ,  $EC_s$  et  $C_s$



Relation entre le rendement du sorgho fourrager et la salure de l'eau et du sol

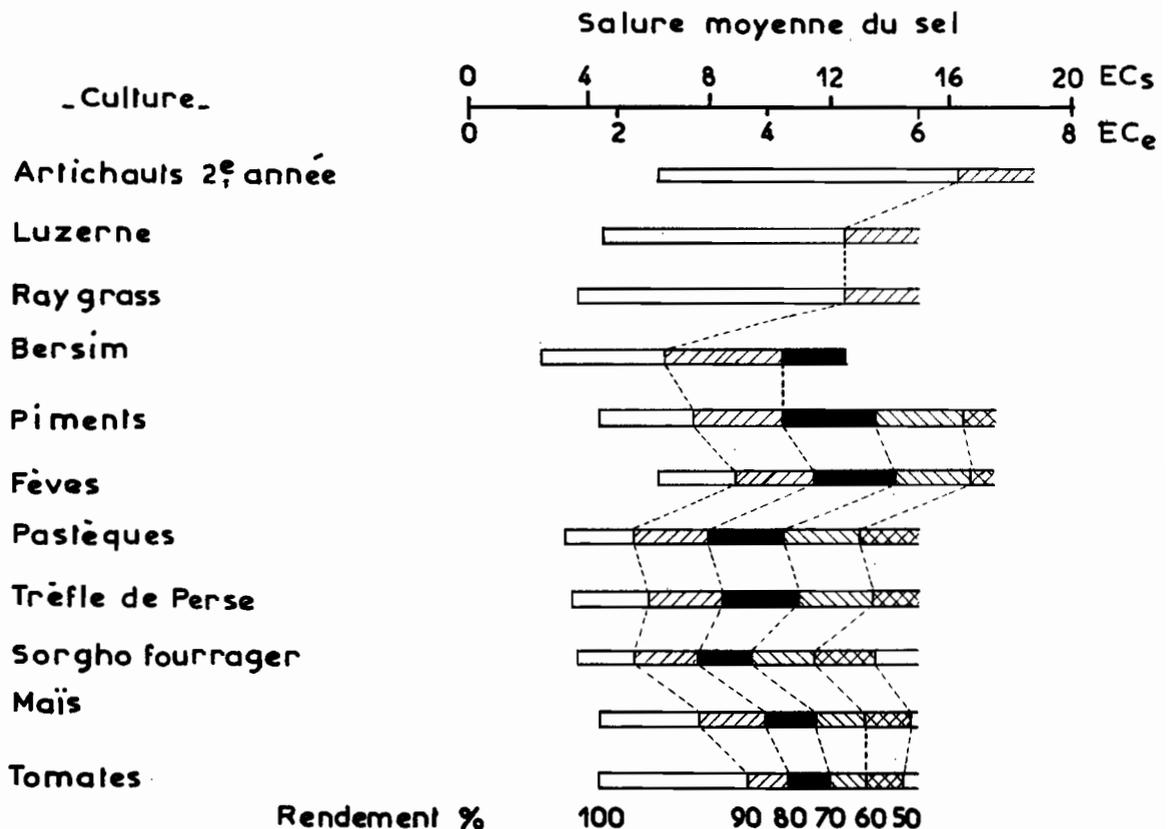
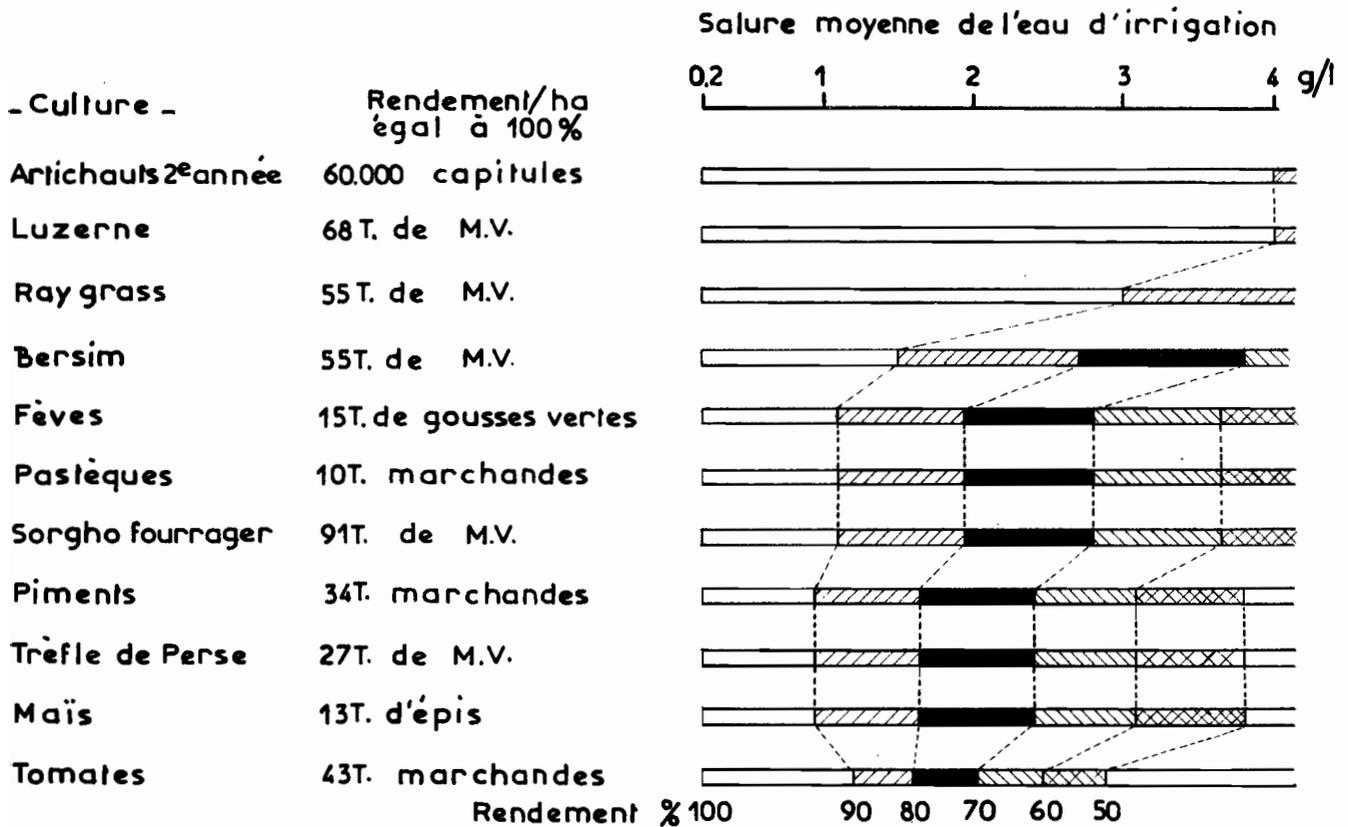


Relation entre le rendement du bersim et la salure de l'eau et du sol

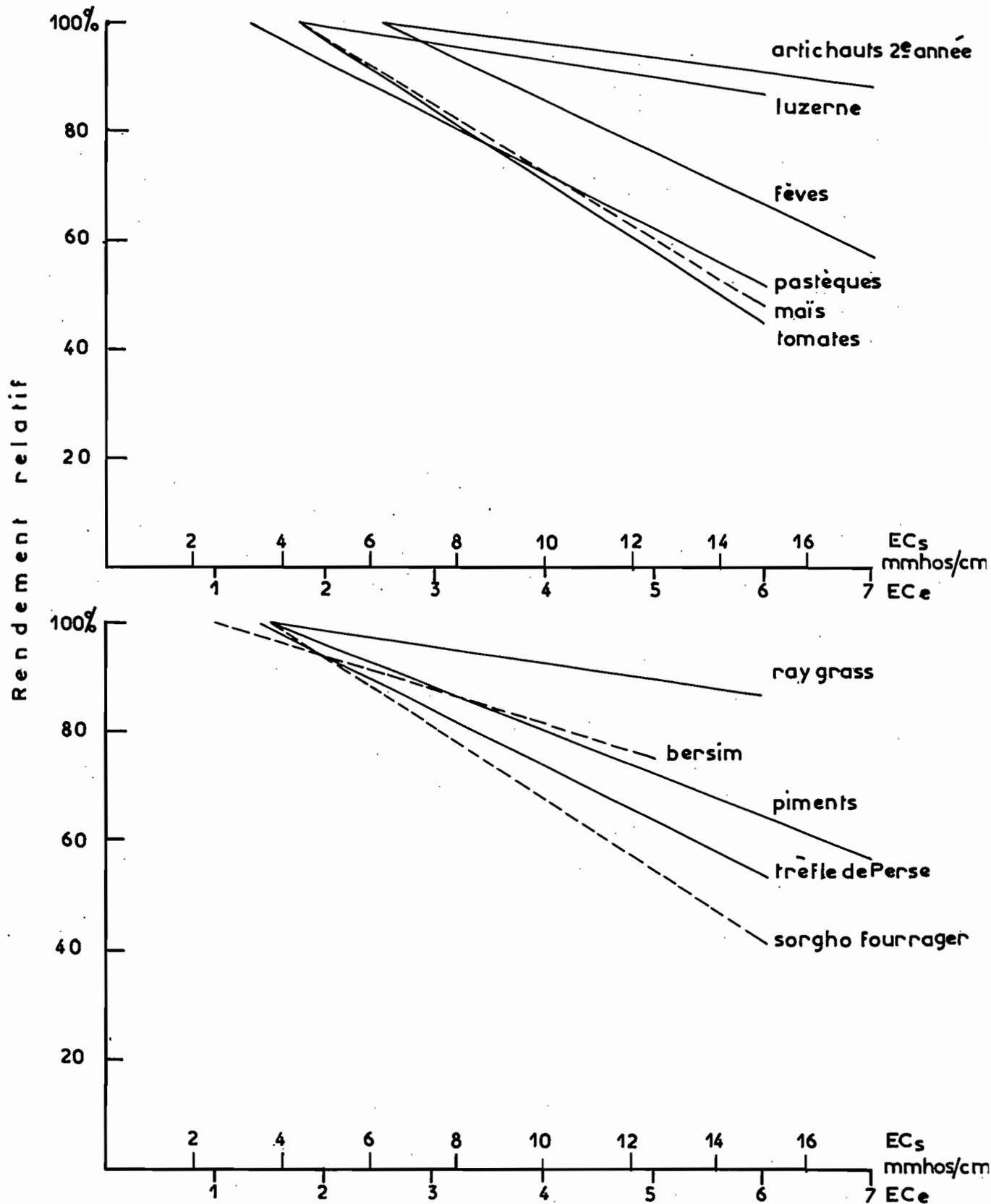


Réduction du rendement en fonction de la salure  
Cherfech 1965-68

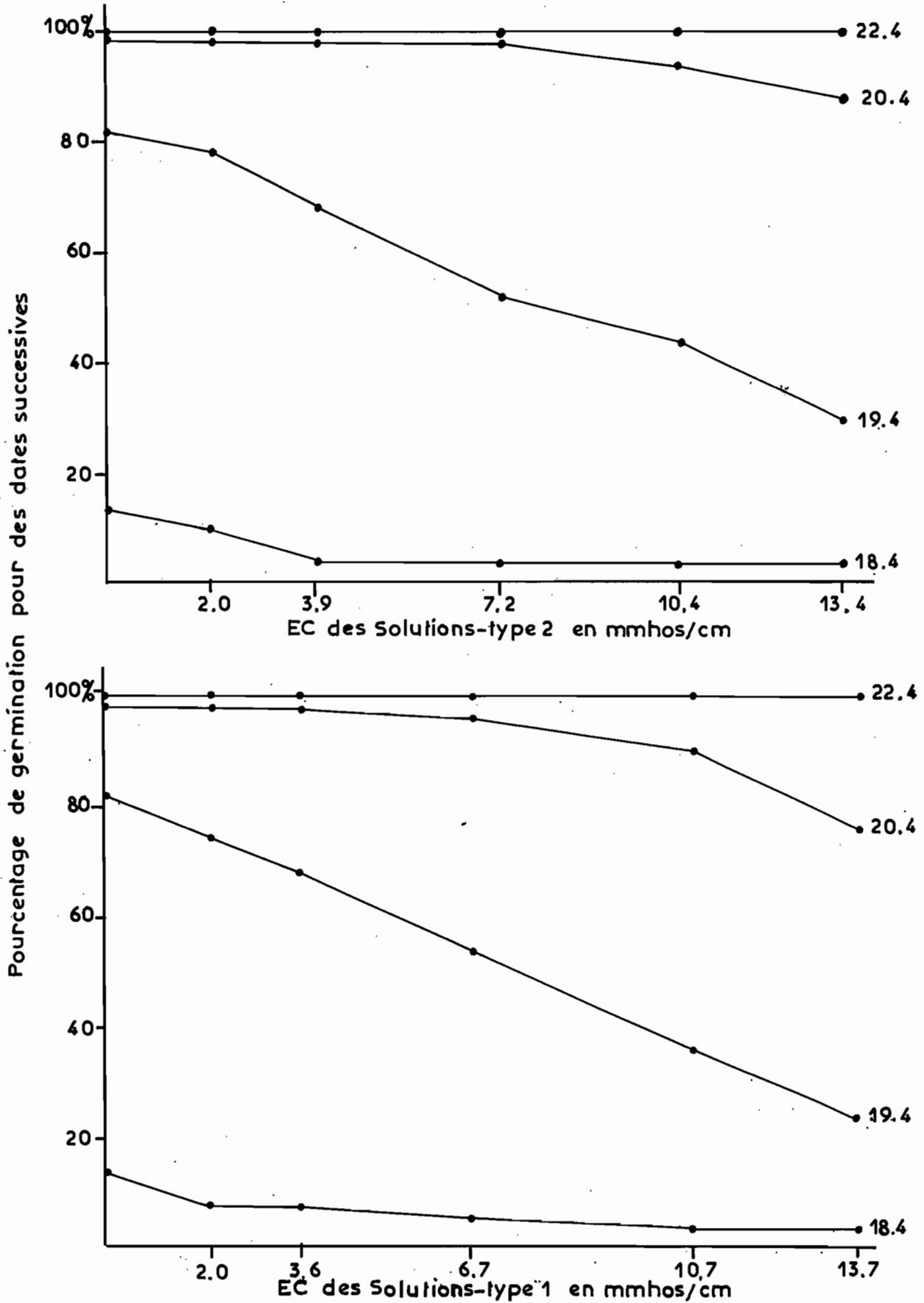
Fig II B-f 4



## Relation entre le rendement et la salure du sol

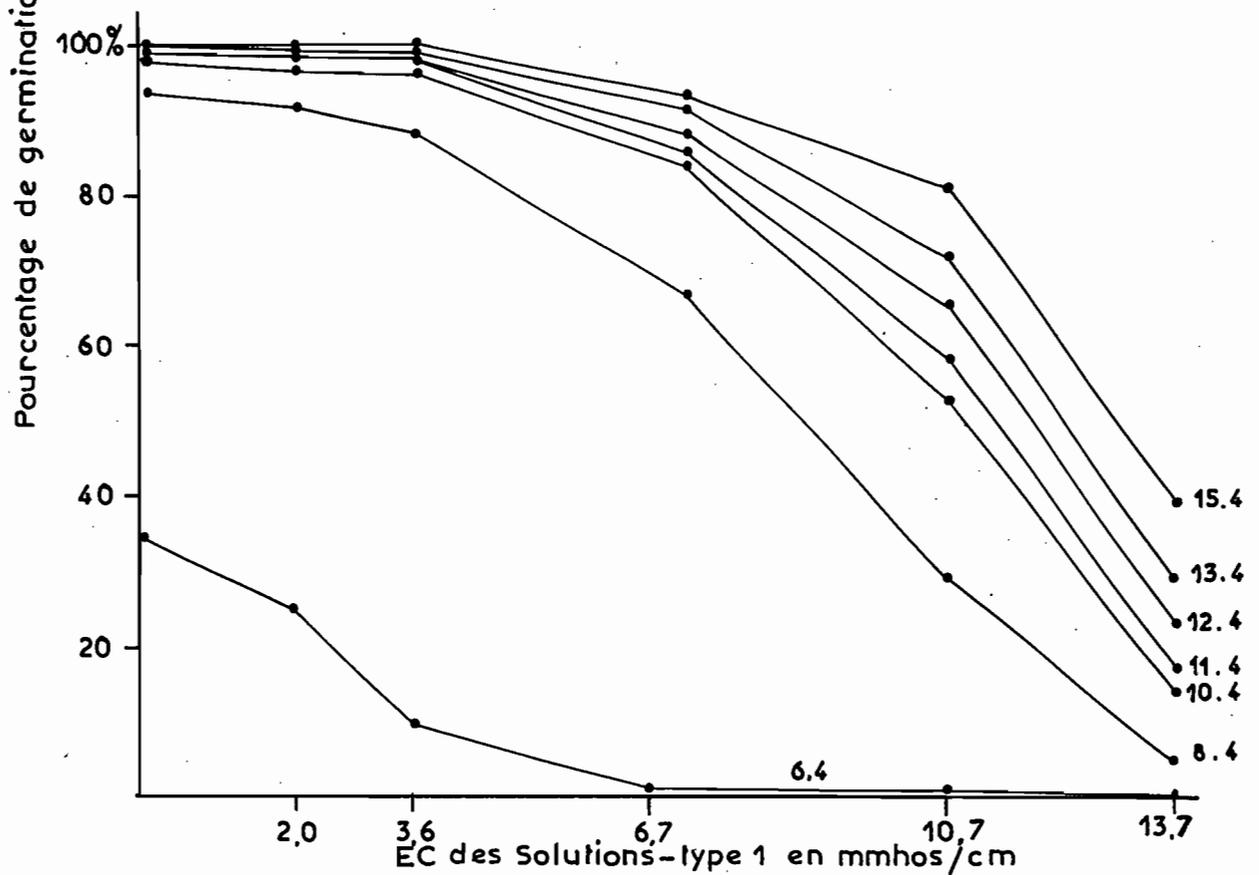
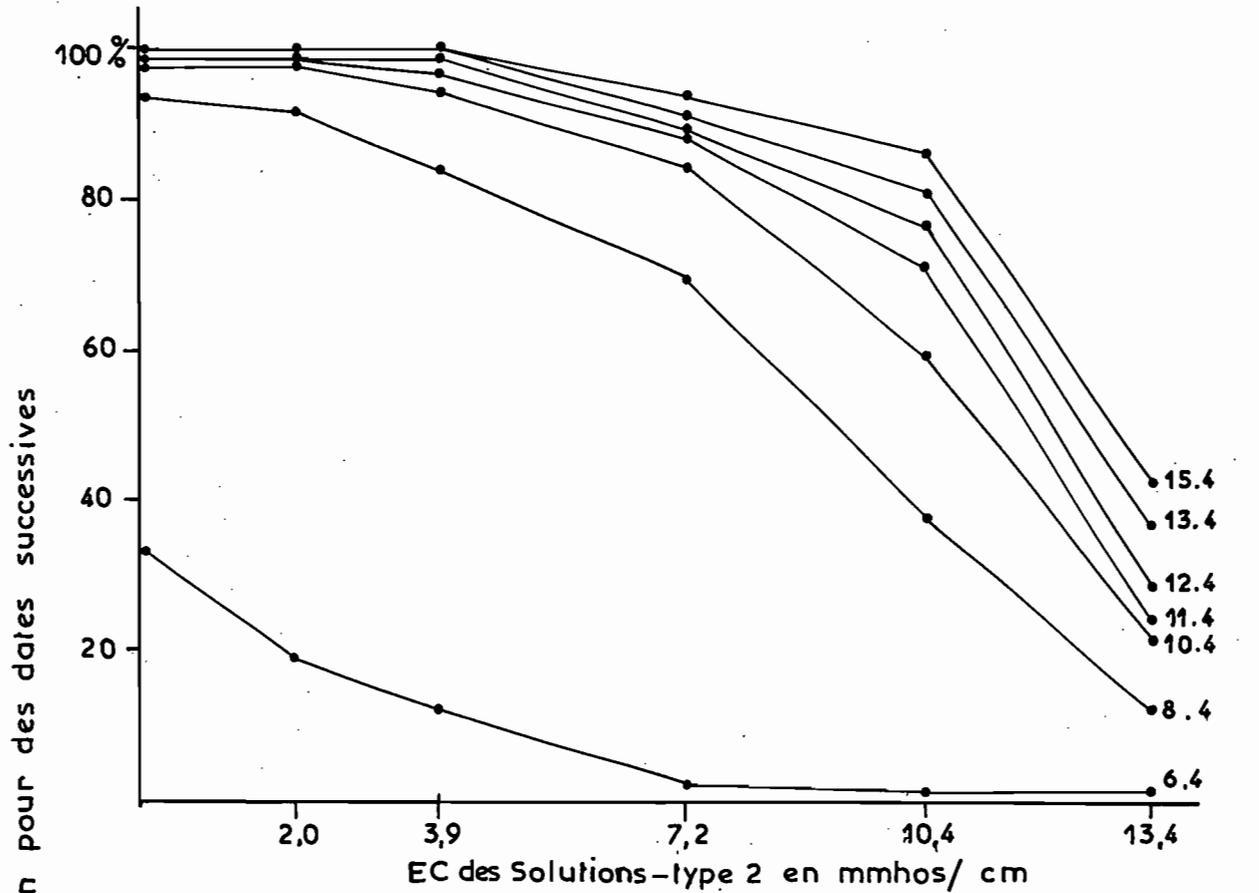


### Essai de germination en boîte de Pétri Maïs , semé le 16.4.68



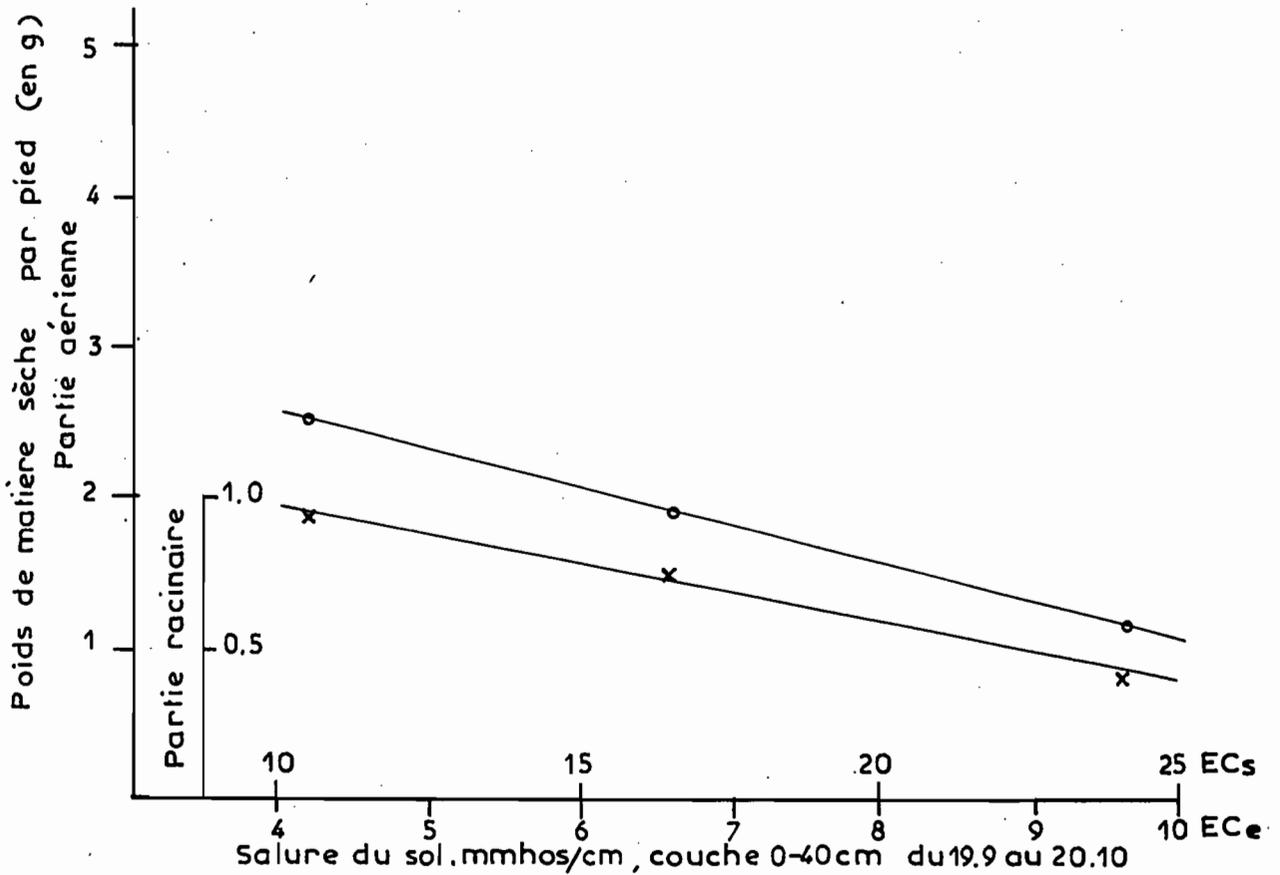
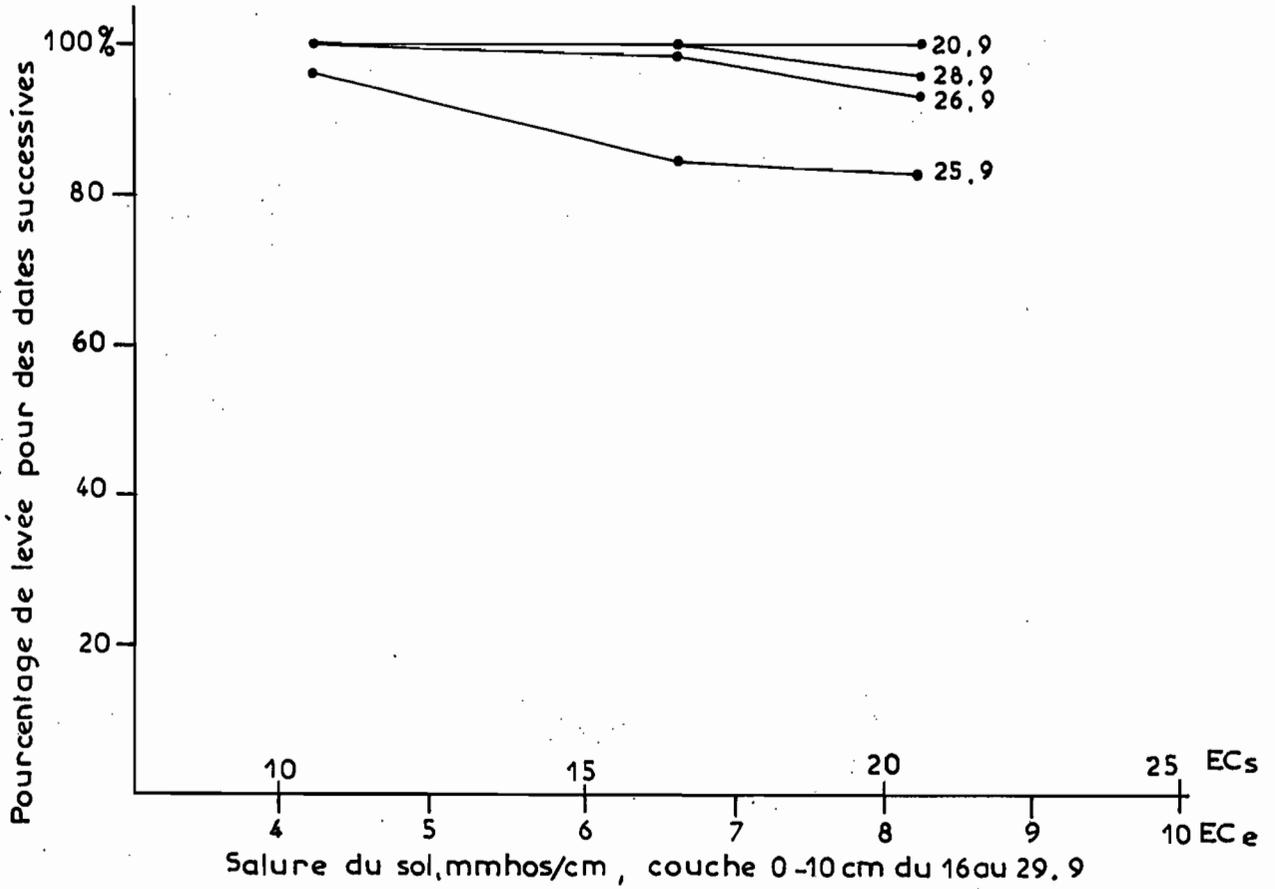
Essai de germination en boîte de Pétri  
Tomates, semé le 3.4.68

Fig II B-f 7

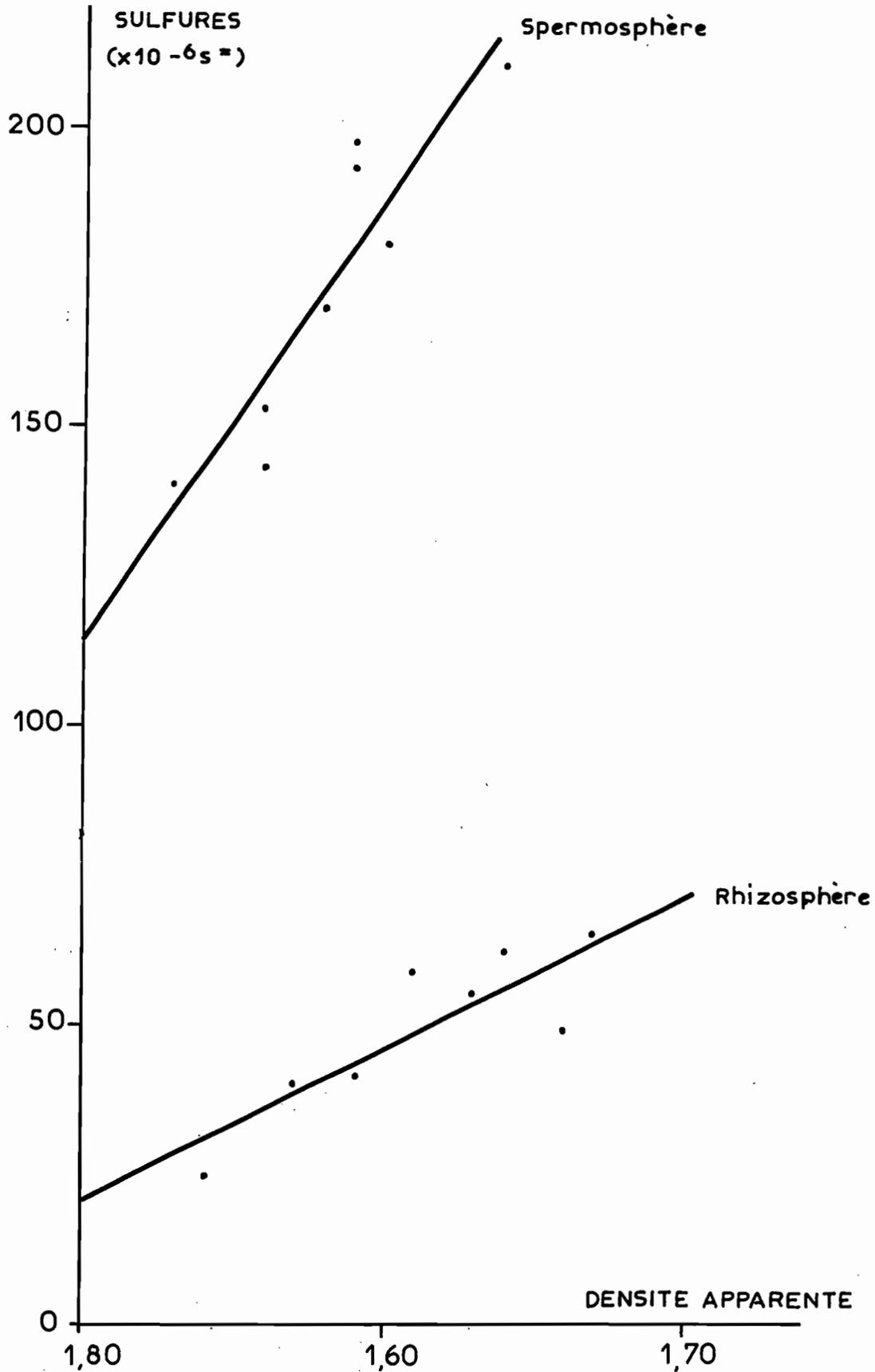


### Essai de germination et de levée en bac

Mais semé le 18.9.68

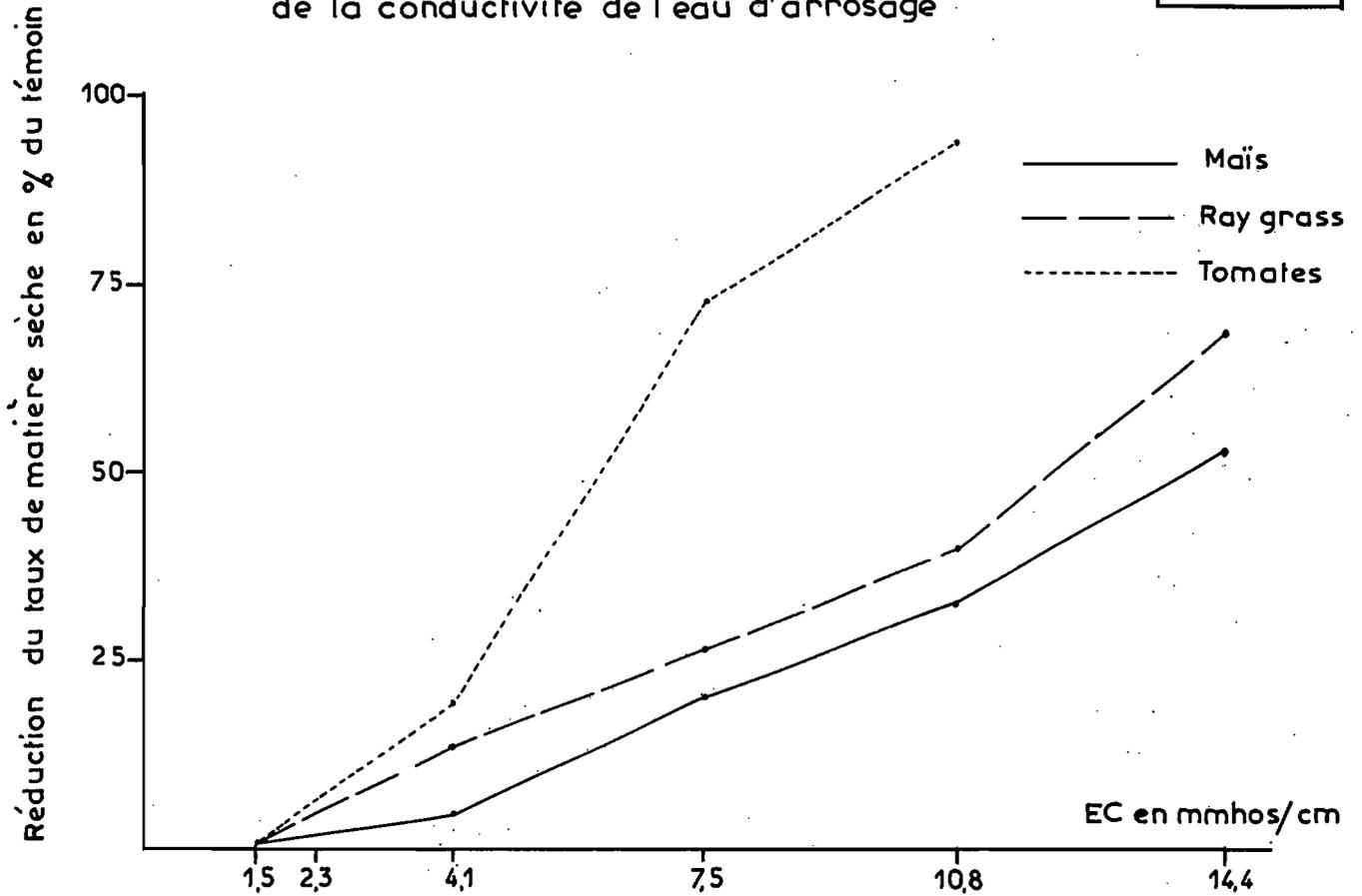


Influence de la densité apparente sur l'accumulation de sulfures dans la spermosphère et dans la rhizosphère d'un maïs .  
(sol salin engorgé de Nakta)



Réduction du taux de croissance en fonction de la conductivité de l'eau d'arrosage

Fig II B-f10



Accumulation du sodium en fonction de la conductivité de l'eau d'arrosage

Fig II B-f11

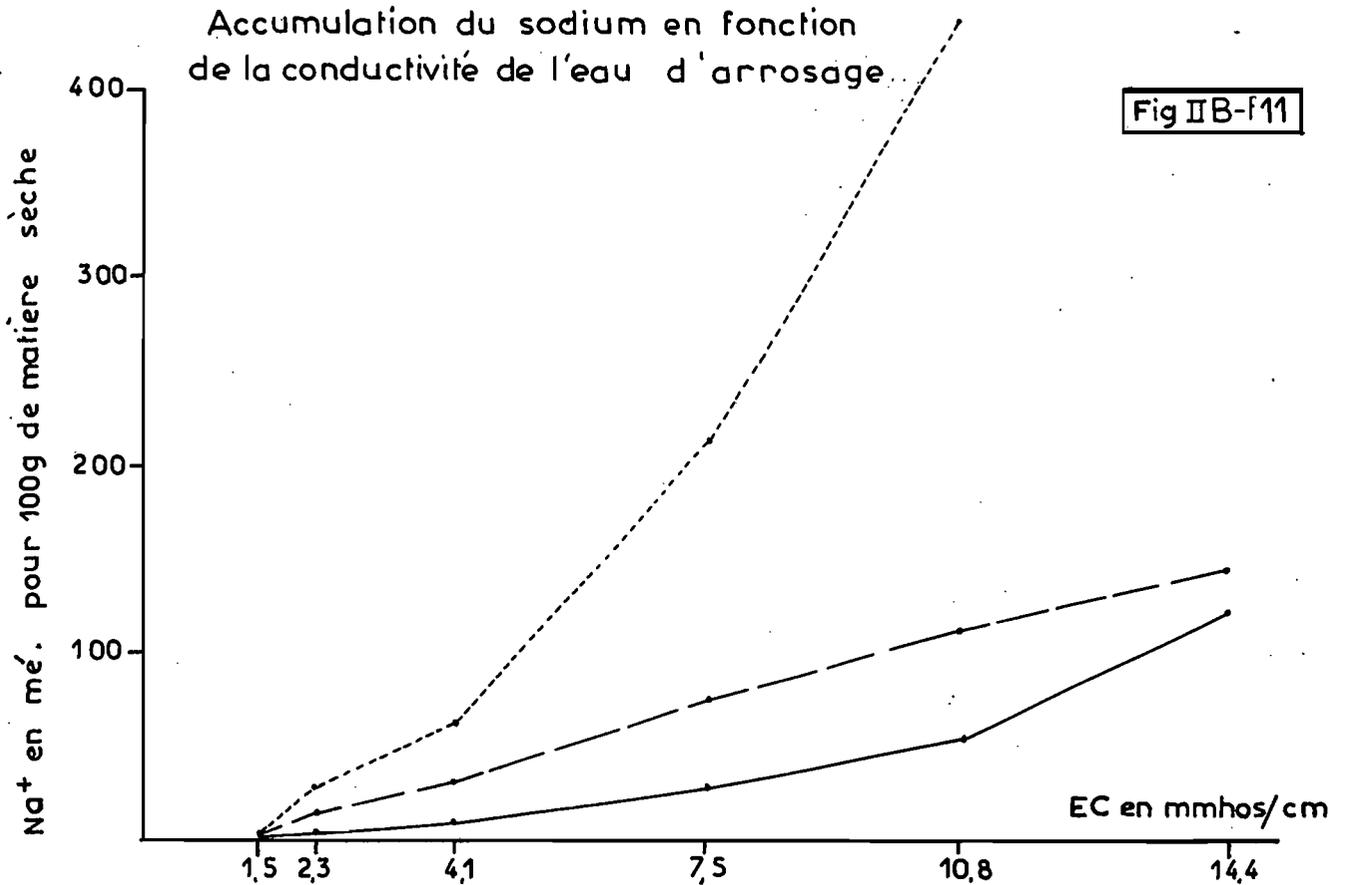
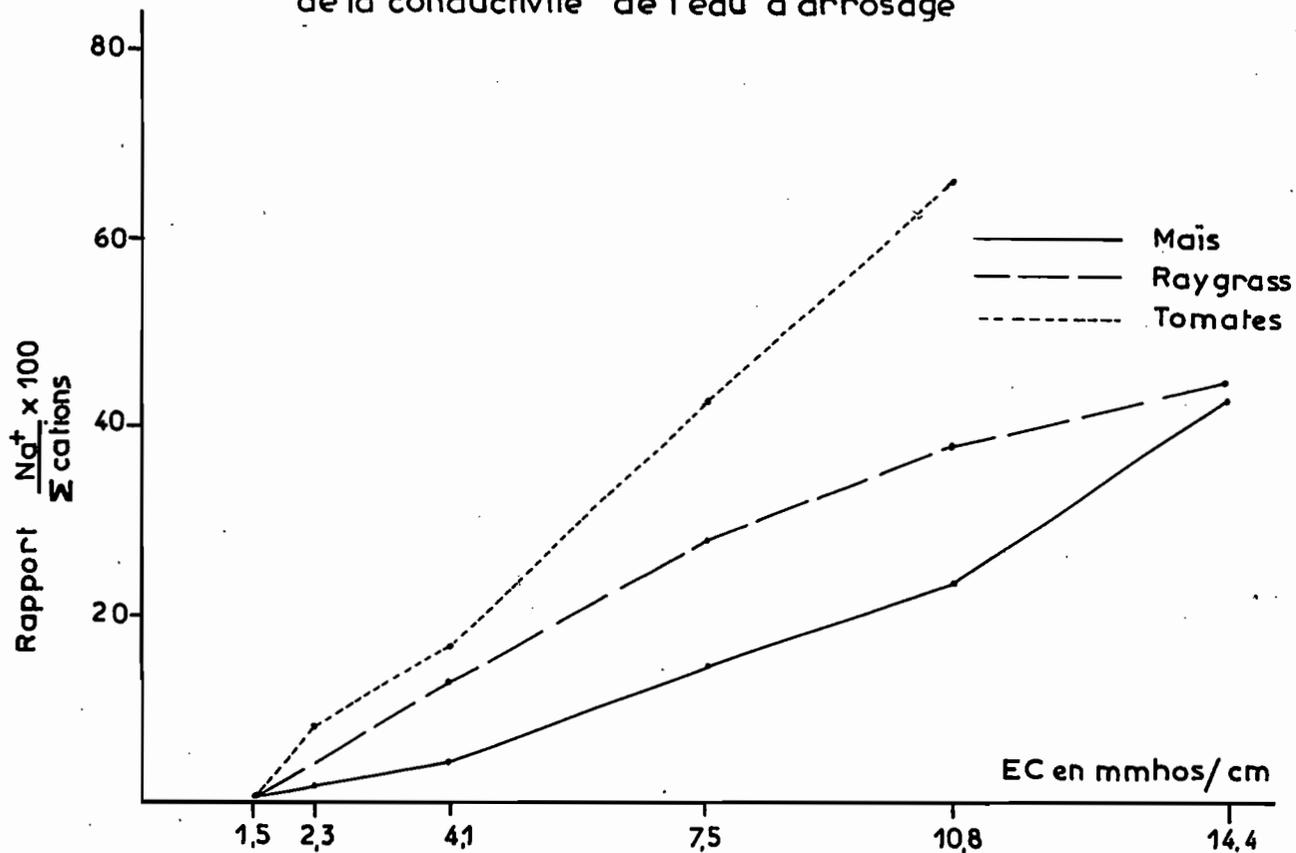


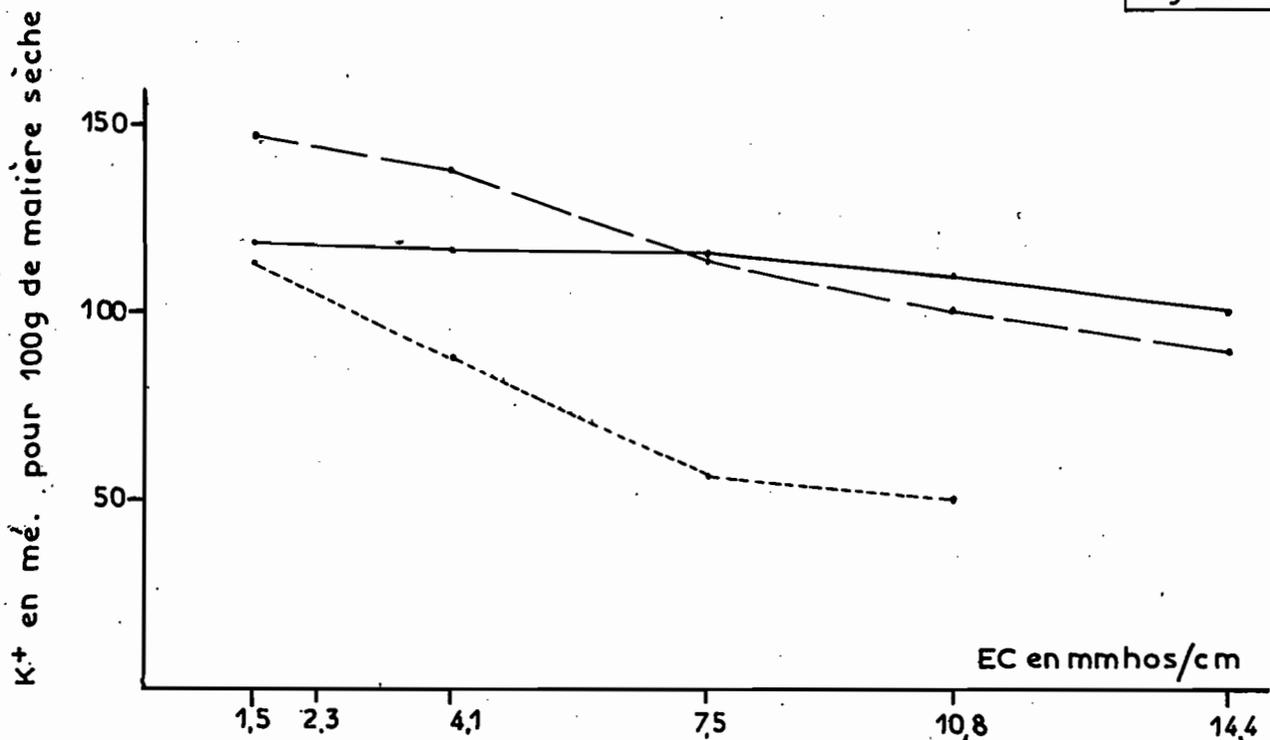
Fig II B-f12

Rapport  $\frac{Na^+}{\Sigma \text{ cations}} \times 100$  dans le végétal en fonction de la conductivité de l'eau d'arrosage



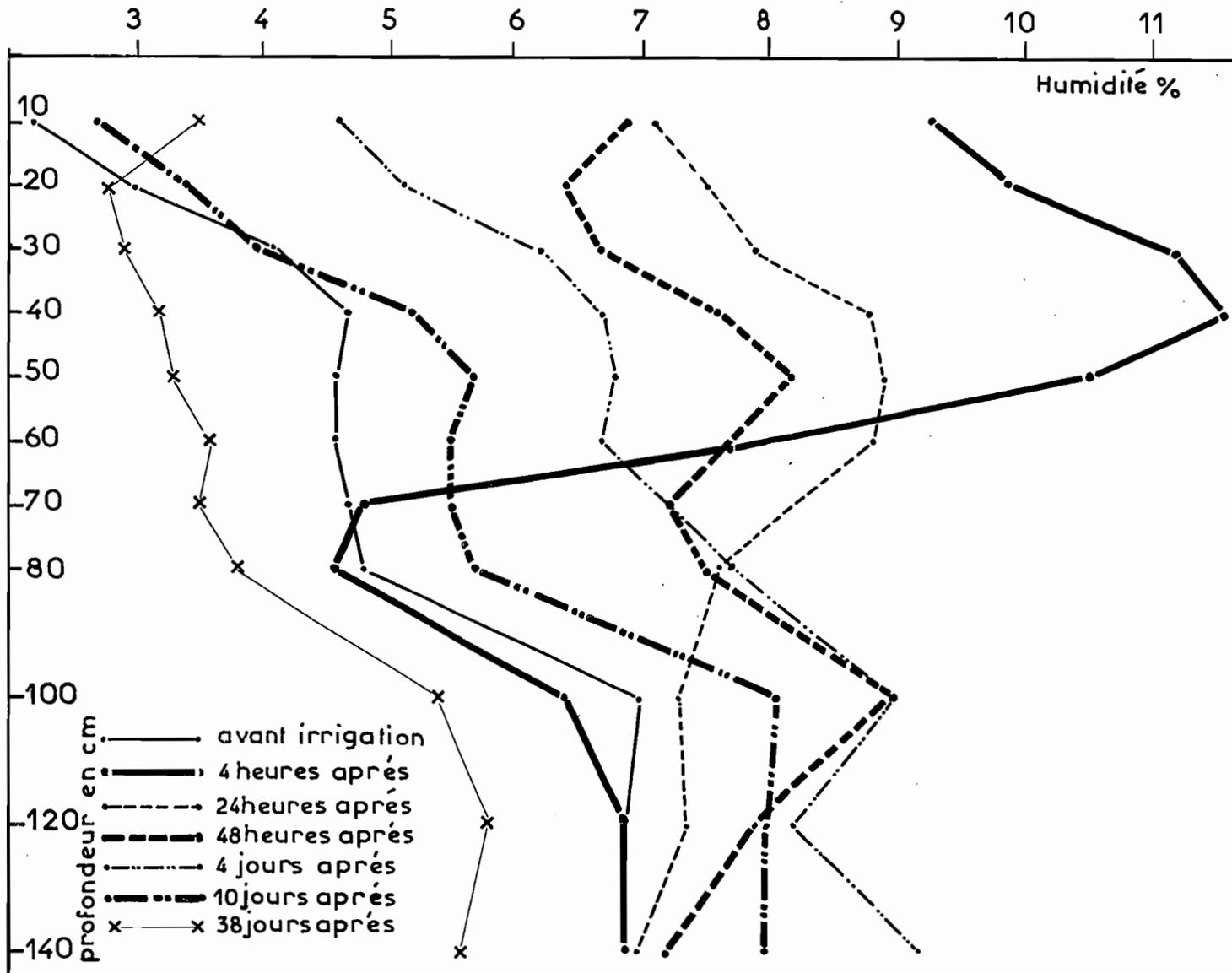
Diminution du potassium dans le végétal en fonction de la conductivité de l'eau d'arrosage

Fig II B-f13



**Ksar Gheriss** — Profils hydriques sous luzerne  
Irrigation du 10-4-67 — Dose 75 mm

Fig II B-f 14



Evolution du stock d'eau en mm sur 140 cm d'épaisseur  
du 10-4 au 18-5-67

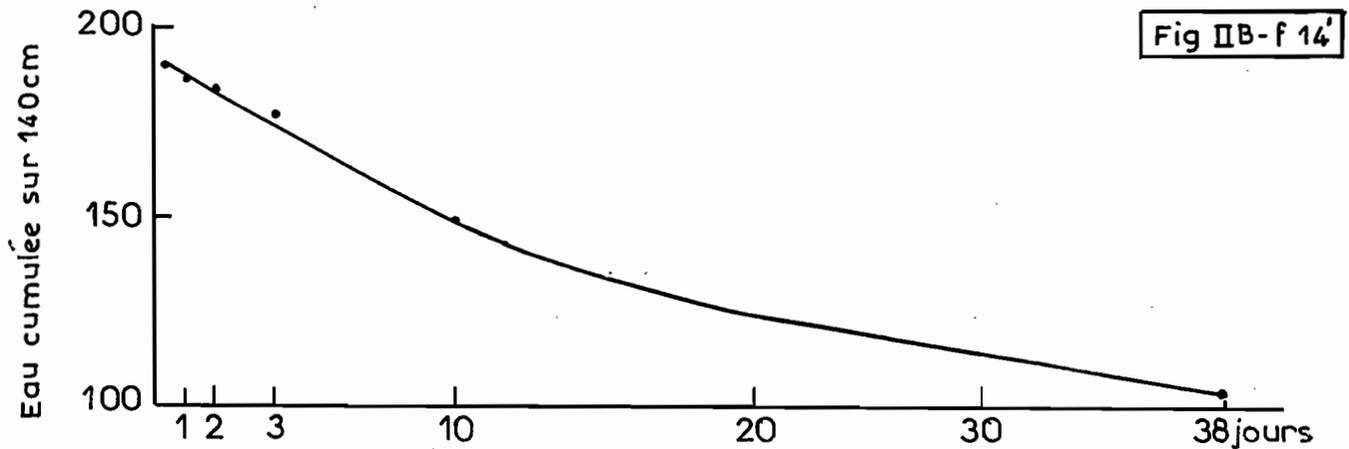
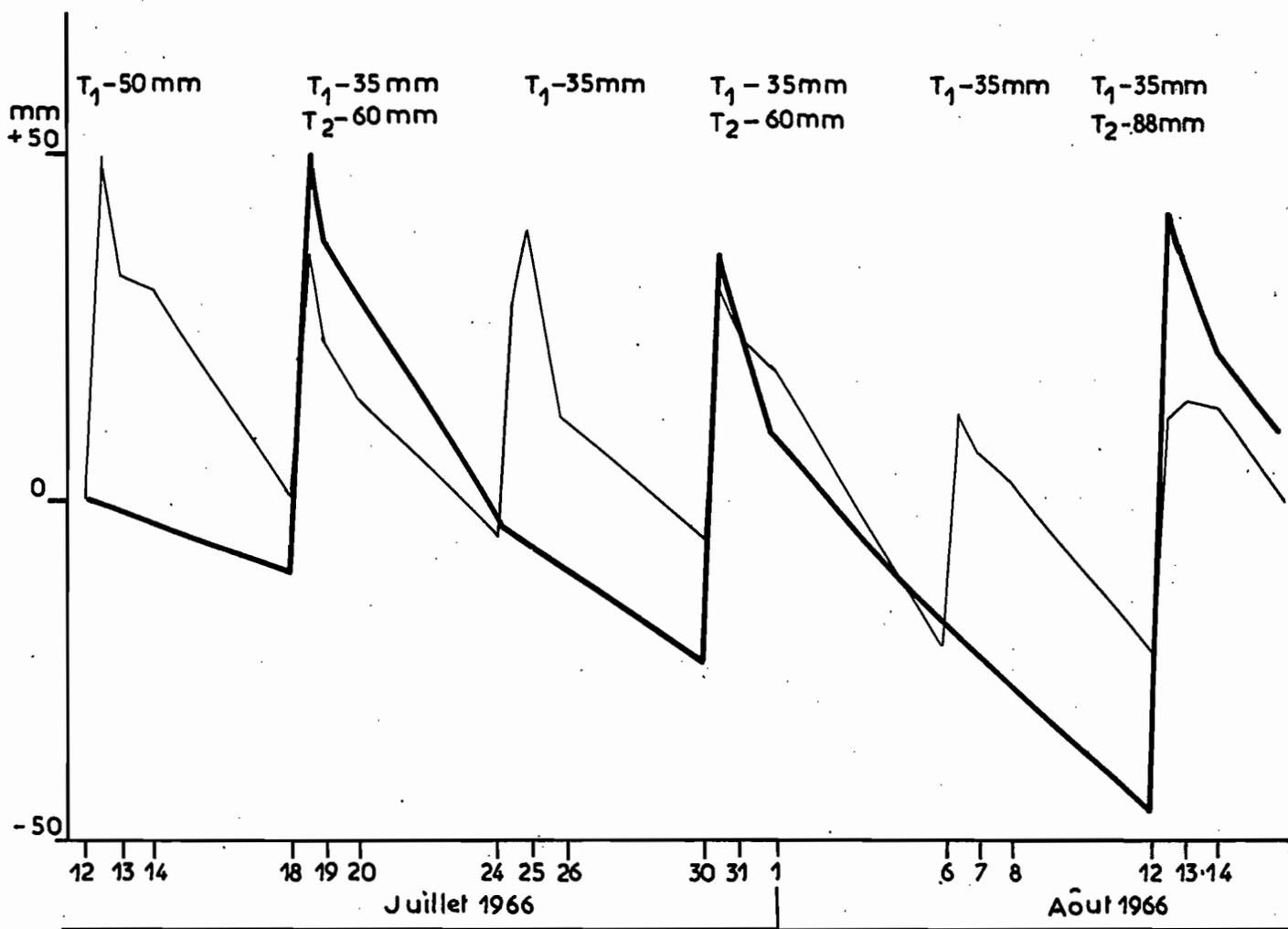


Fig II B-f 14'

— Ksar Gheriss -Essai d'fbp - Maïs —

Evolution du stock d'eau sur 120cm d'épaisseur  
par rapport au niveau initial du 12-7-1966

— T<sub>1</sub> 6 jours  
— T<sub>2</sub> 12 jours



— Ksar Ghèriss — Essai d'fc — Luzerne —

Fig II B-f16

Evolution du stock d'eau sur 220cm d'épaisseur

du 4.6 au 28.8.68

Prélèvements avant irrigation.

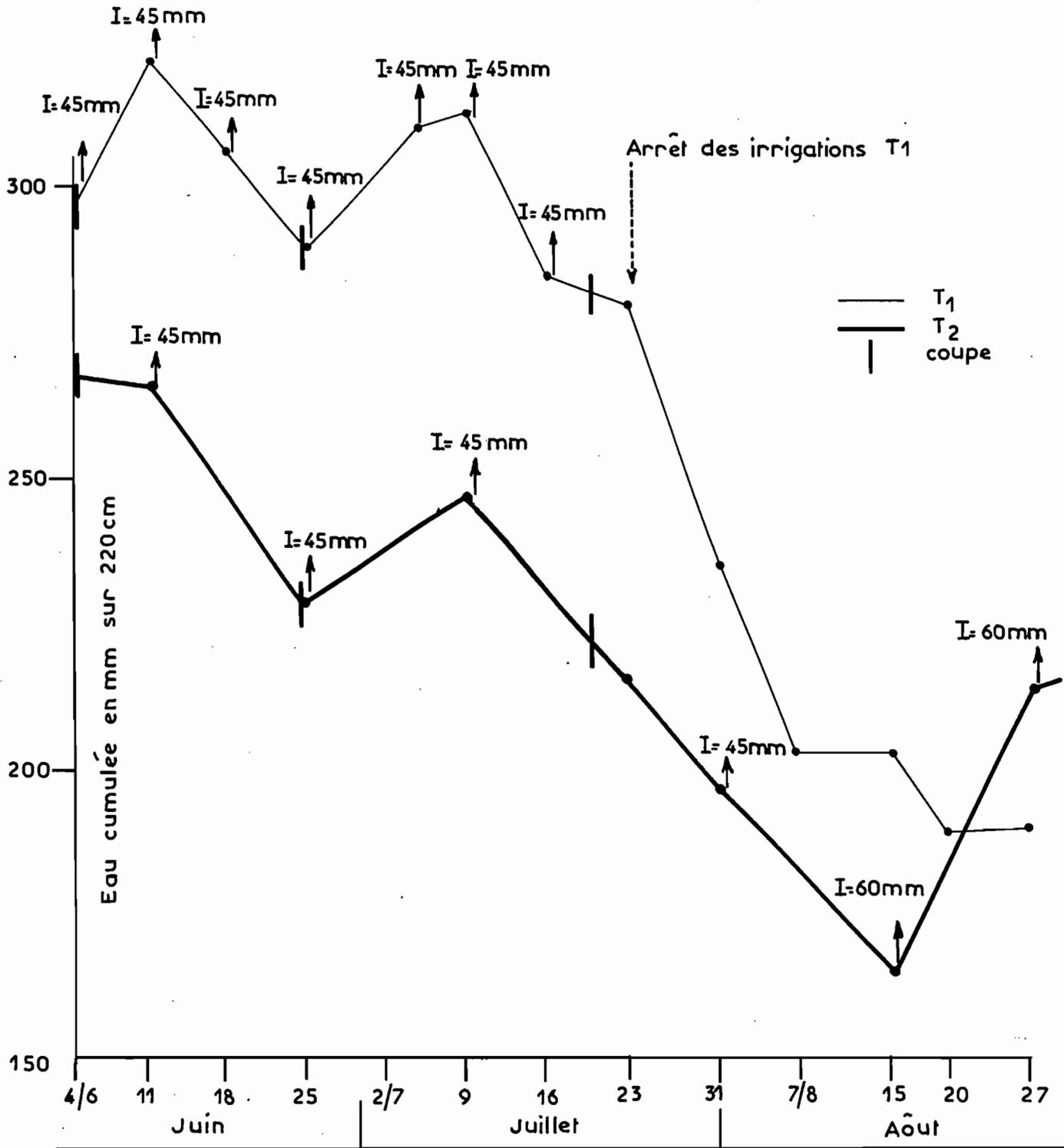
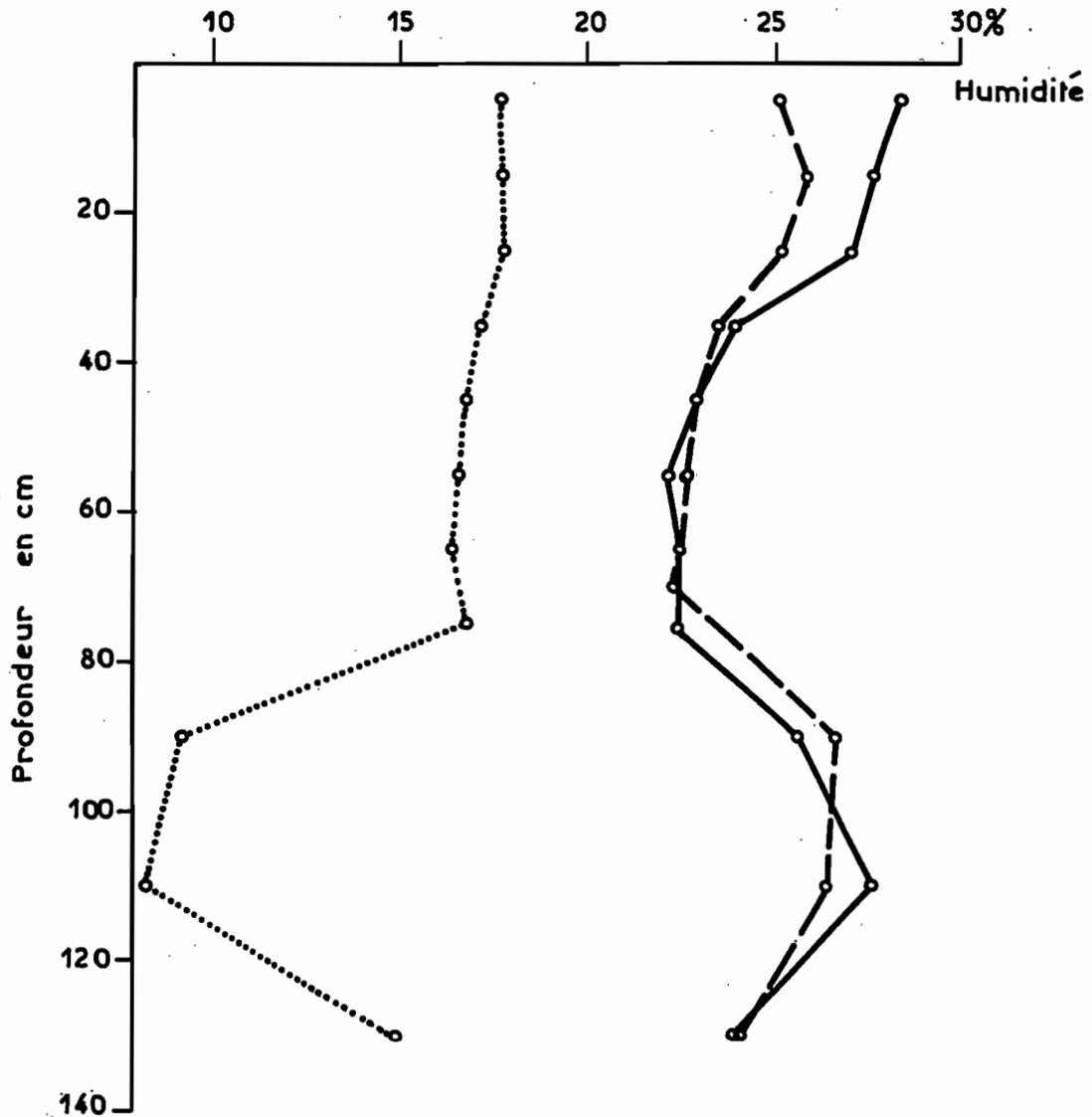


Fig II B-f17

Cherfech - Bilan hydrique - Drain 8 -

Profils hydriques au ressuyage en hiver et en été



- Ressuyage après une pluie d'hiver 3-1-1967
- - - 2 jours après une irrigation d'été 1-7-1966
- ..... Points de flétrissement ( pF = 4,2)

Fig IIB-f18

— Cherfech - Essai DF<sub>1</sub> - Maïs —

Evolution du stock d'eau sur 140cm d'épaisseur  
par rapport au niveau initial du 4-7-66

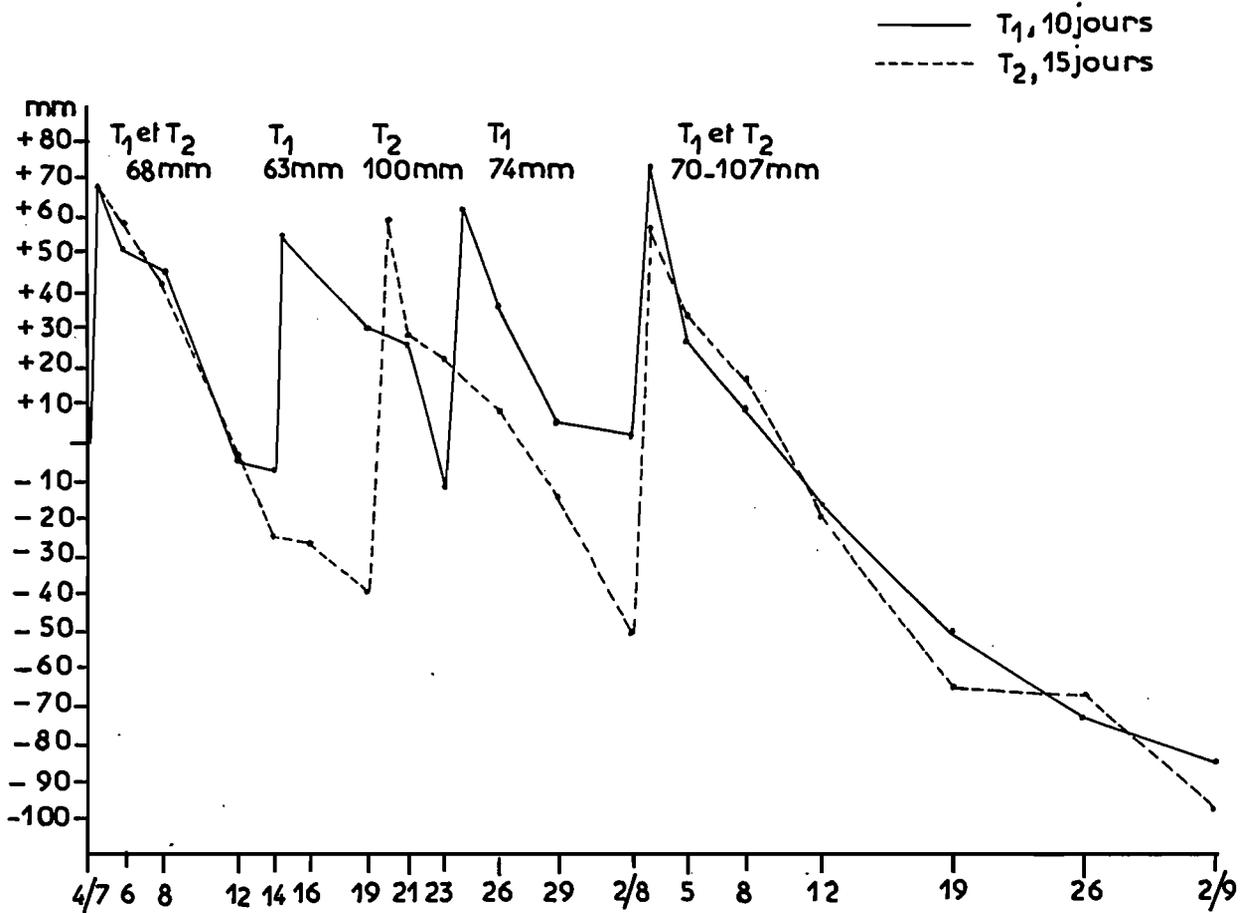
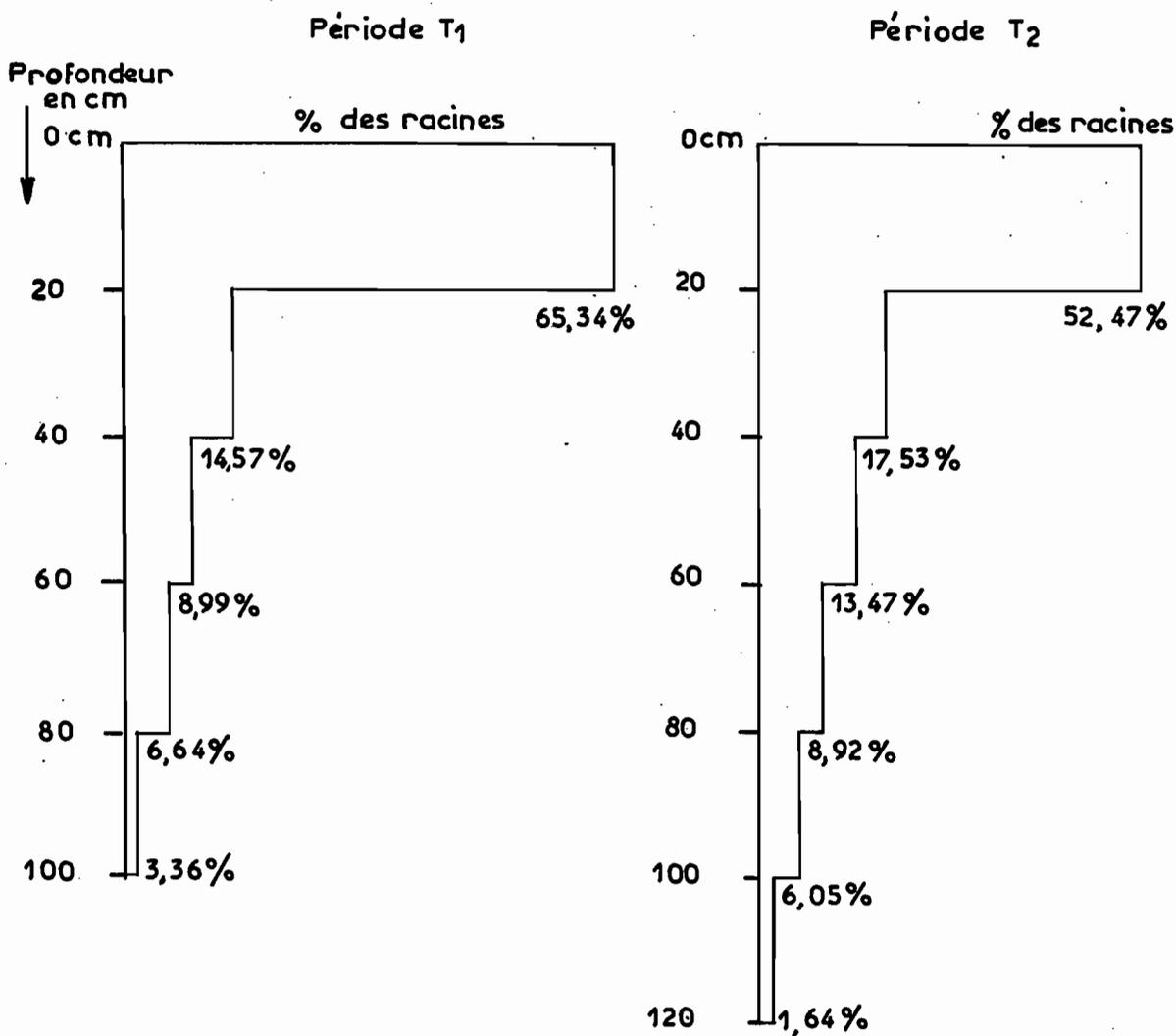


Fig II B-f19

- Cherfèch - Essai DF<sub>1</sub> - Maïs -

Répartition des racines les plus fines (diamètre < 0,8 mm)



— Cherfech — Essai DF<sub>2</sub>—Sorgho fourrager —

Consommation nette

x T<sub>1</sub> D<sub>2</sub>  
o T<sub>2</sub> D<sub>2</sub>

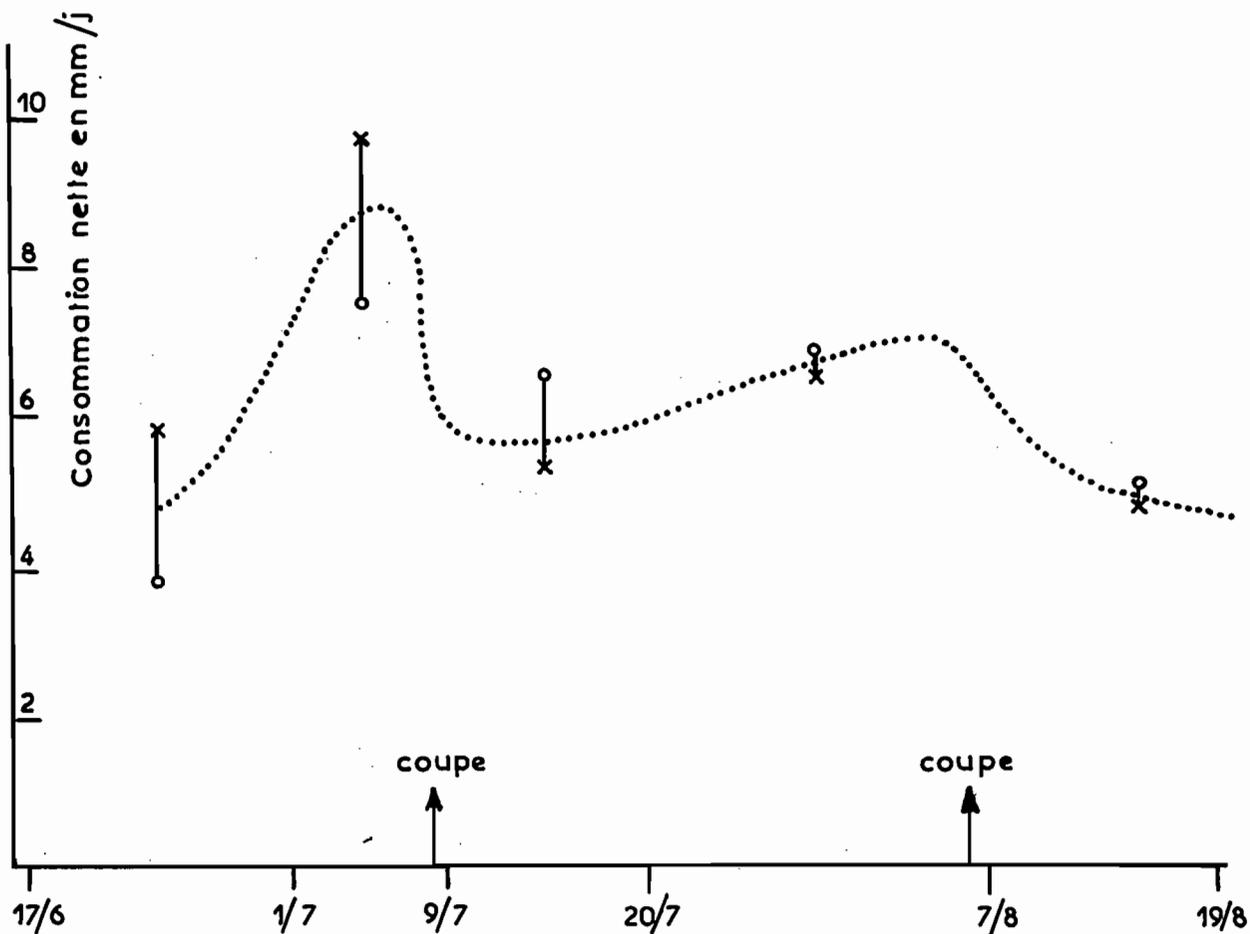
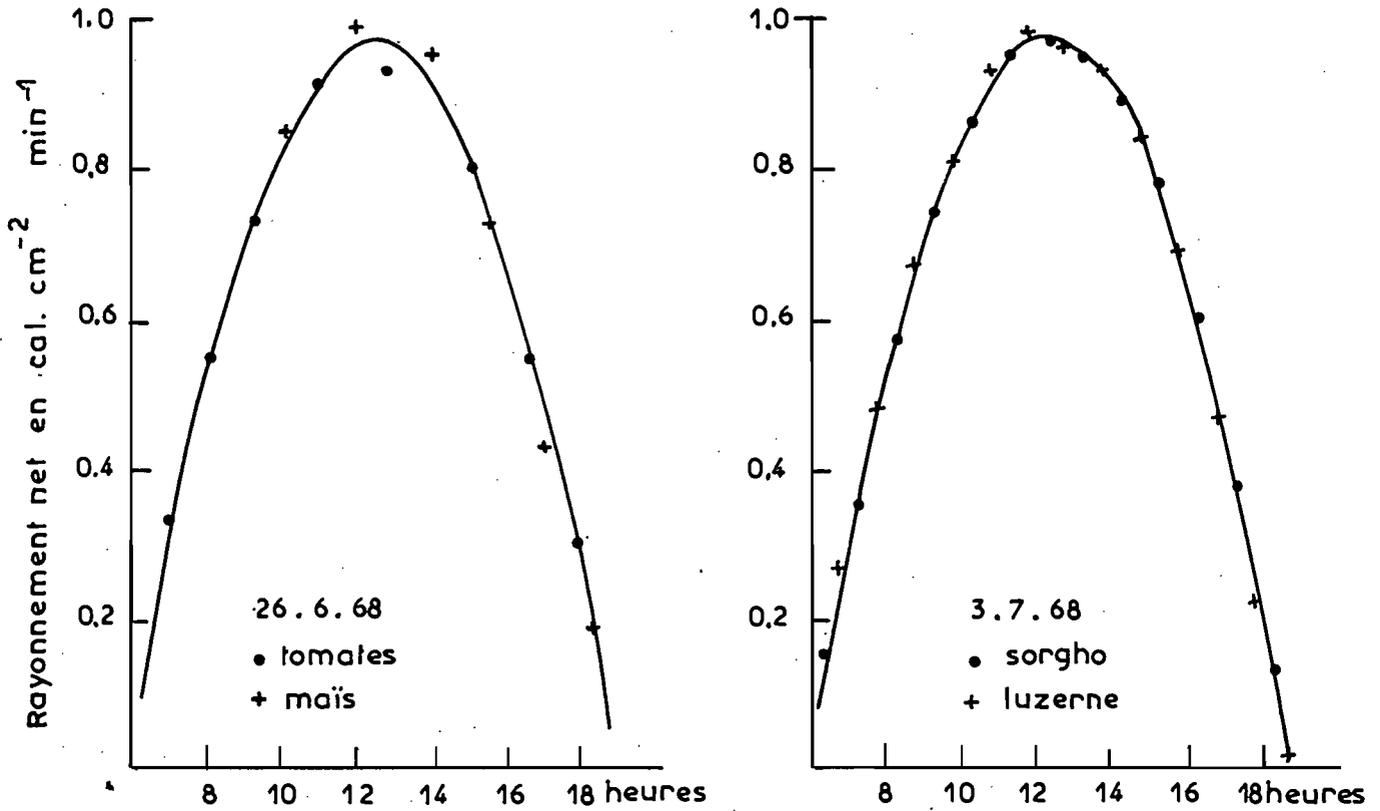


Fig II B-f 21

- Rayonnement net au cours de la journée -



- Diminution du rayonnement net en profondeur -

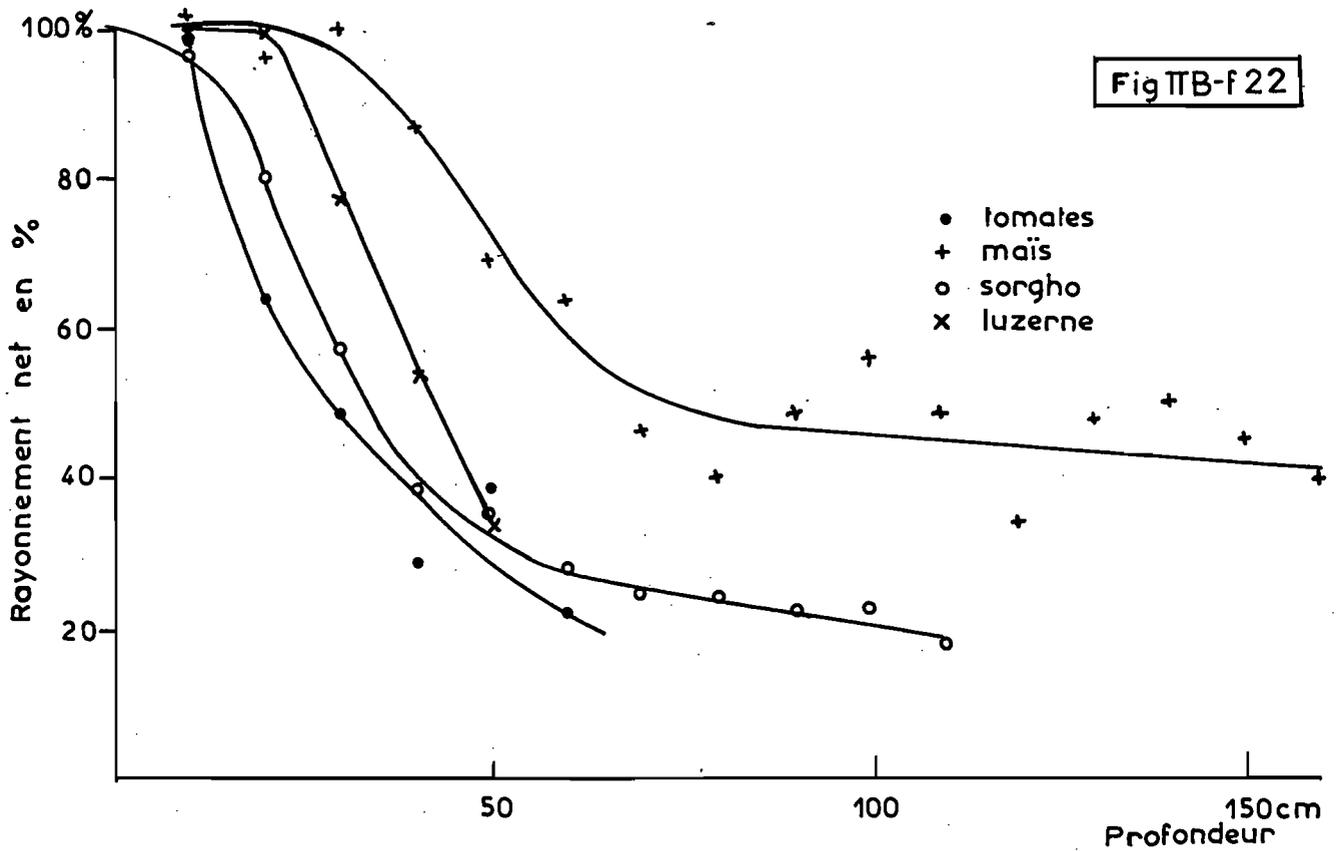


Fig II B-f 22

— Résistance des stomates de tomates —

Irrigation 6.7.68

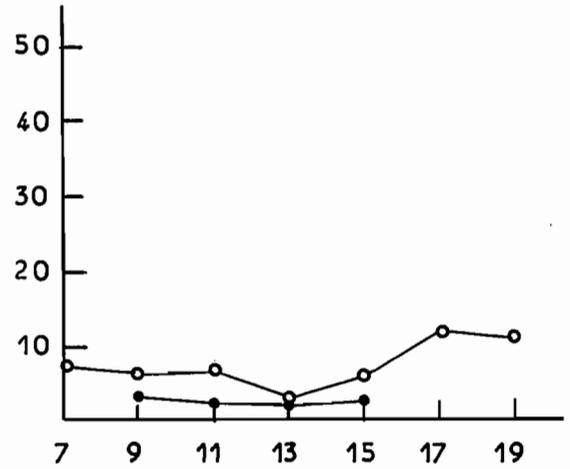
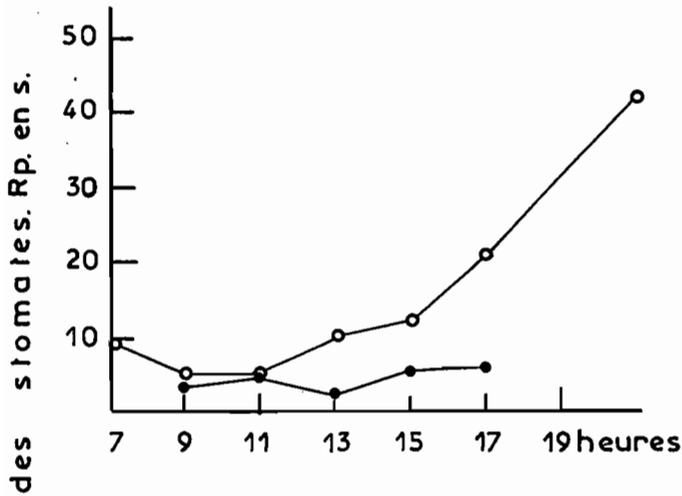
• mesures 8.7.68

○ mesures 12.7.68

Feuilles jeunes

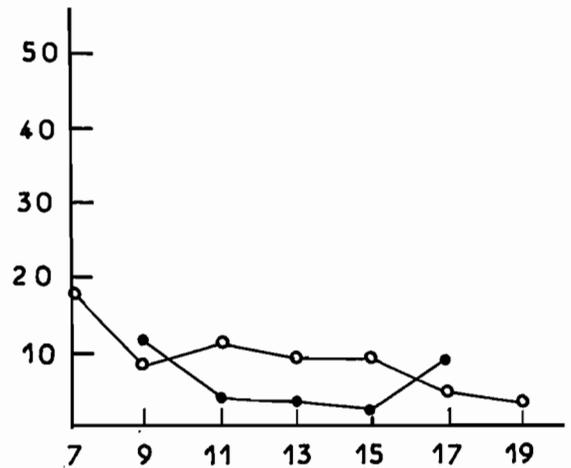
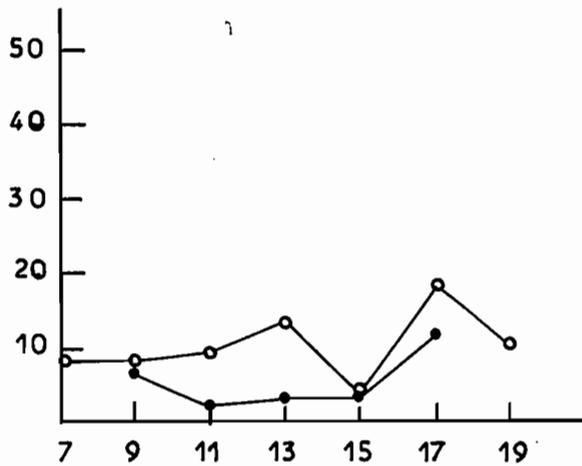
Face supérieure

Face inférieure



Feuilles adultes

Résistance

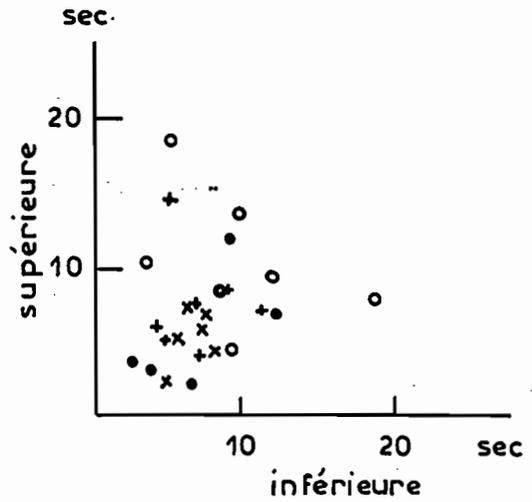
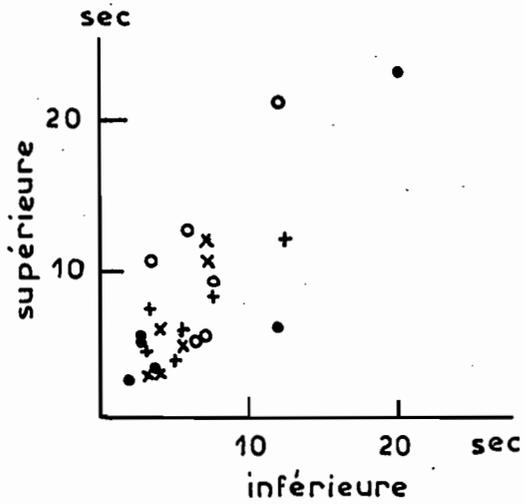


Relation entre la résistance des stomates de la face supérieure et celle de la face inférieures des feuilles

- TOMATES -

Feuilles jeunes

Feuilles adultes



- 8.7.68
- x 10.7.68
- o 12.7.68
- + 15.7.68

- Résistance des stomates de maïs -

Fig II B-f25

Irrigation 4.7.68

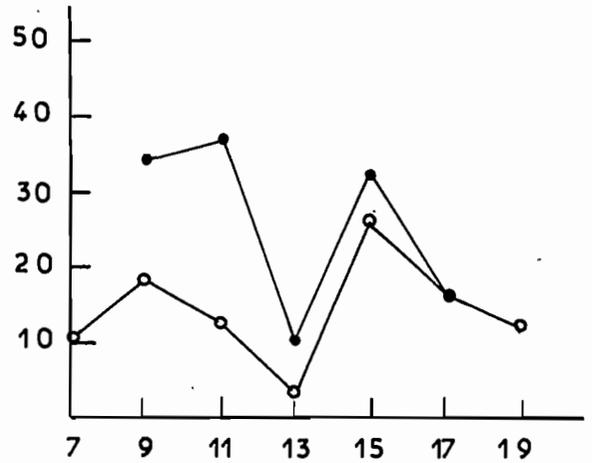
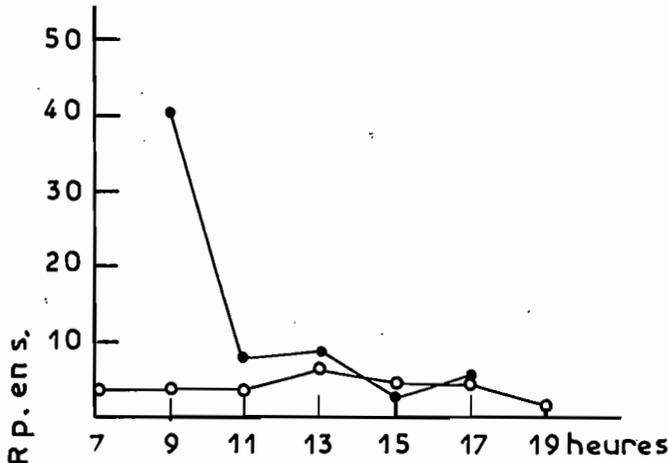
● mesures 8.7.68

○ mesures 12.7.68

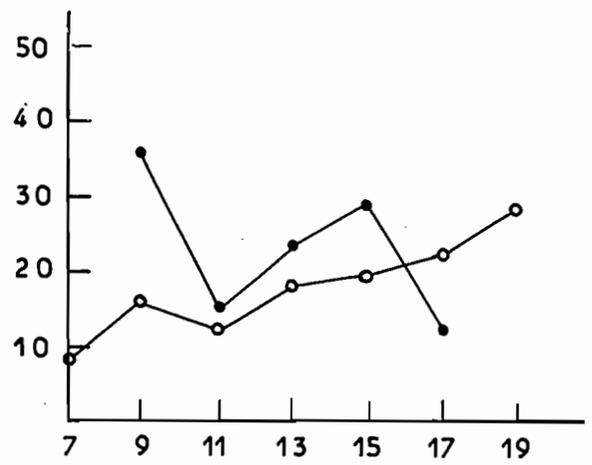
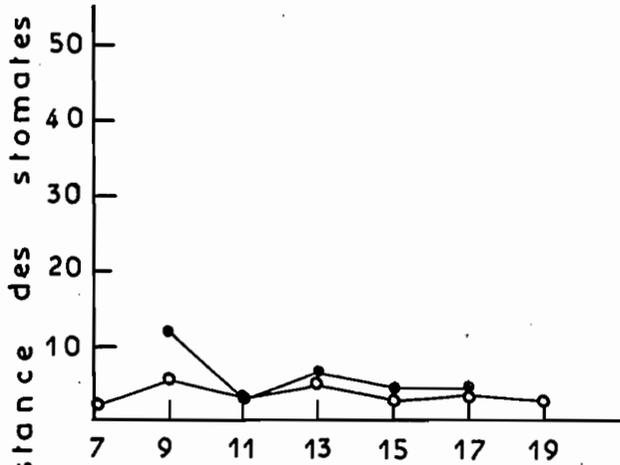
Feuilles jeunes

Face supérieure

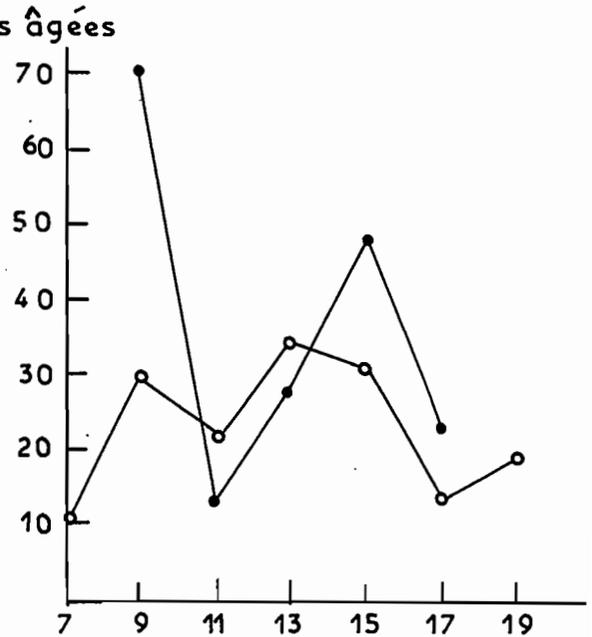
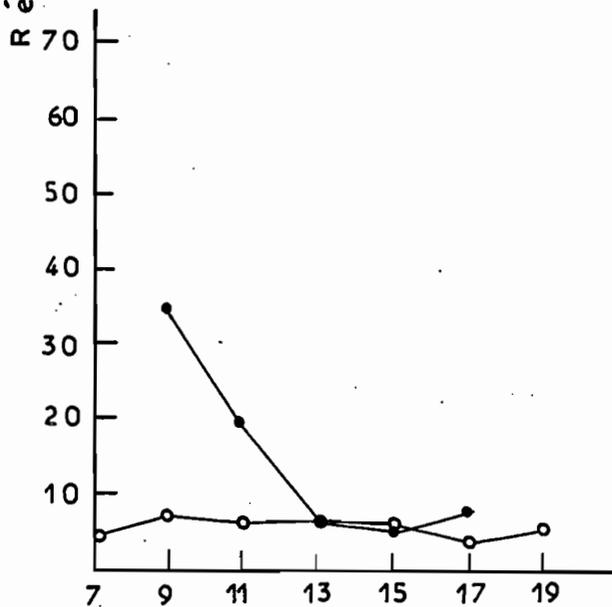
Face inférieure



Feuilles adultes



Feuilles âgées

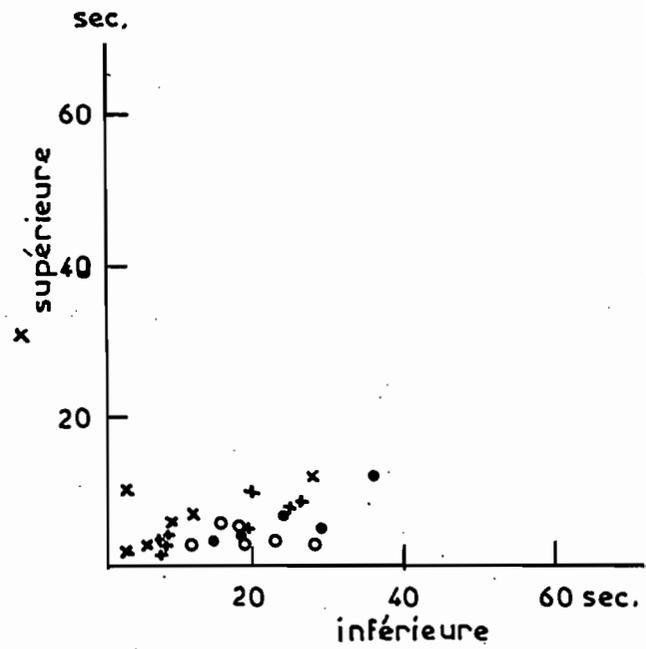
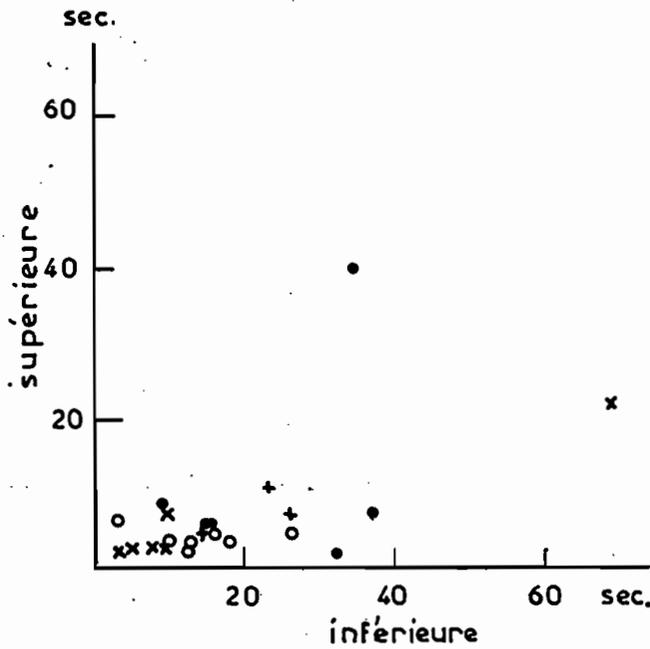


Relation entre la résistance des stomates de la face supérieure et celle de la face inférieure des feuilles

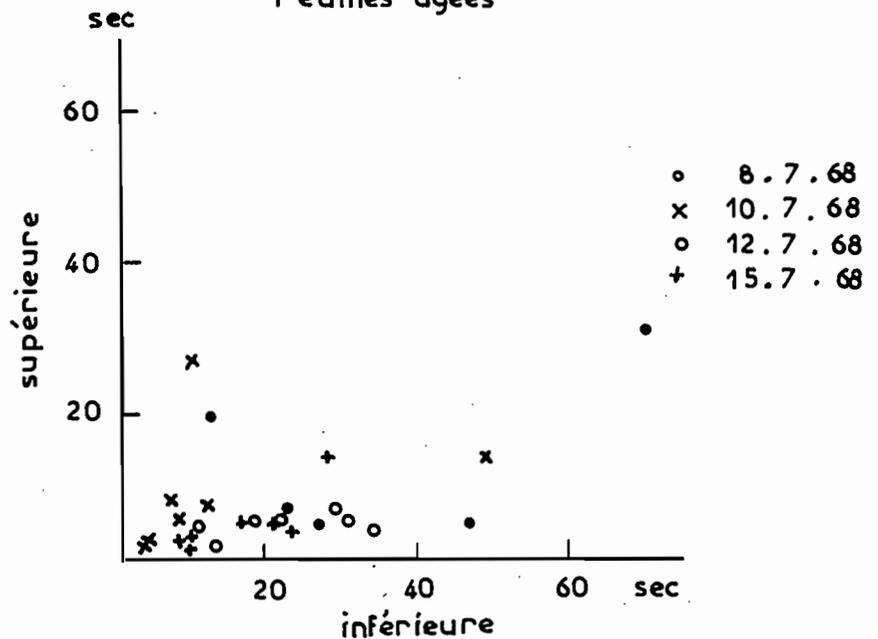
- MAÏS -

Feuilles jeunes

Feuilles adultes

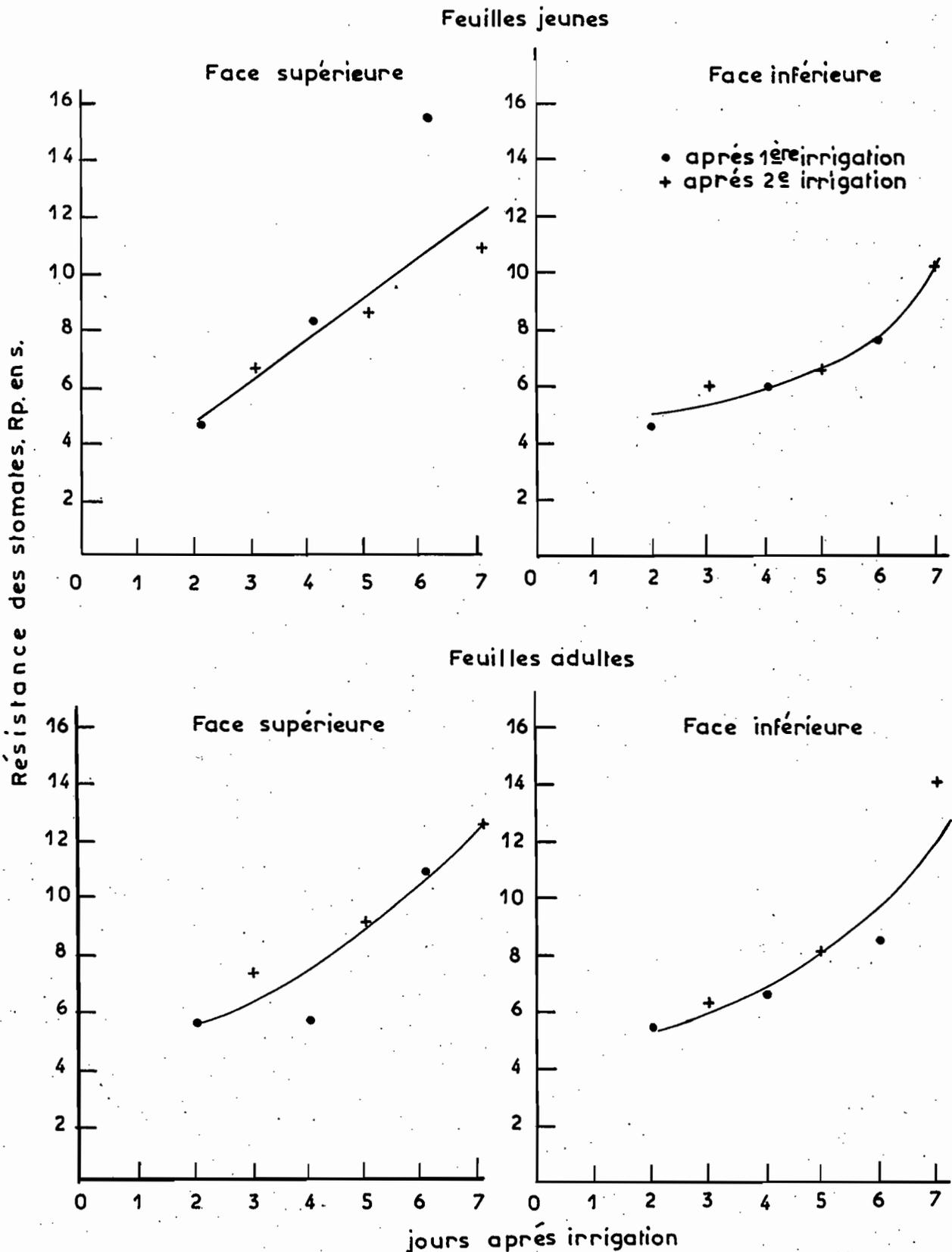


Feuilles âgées



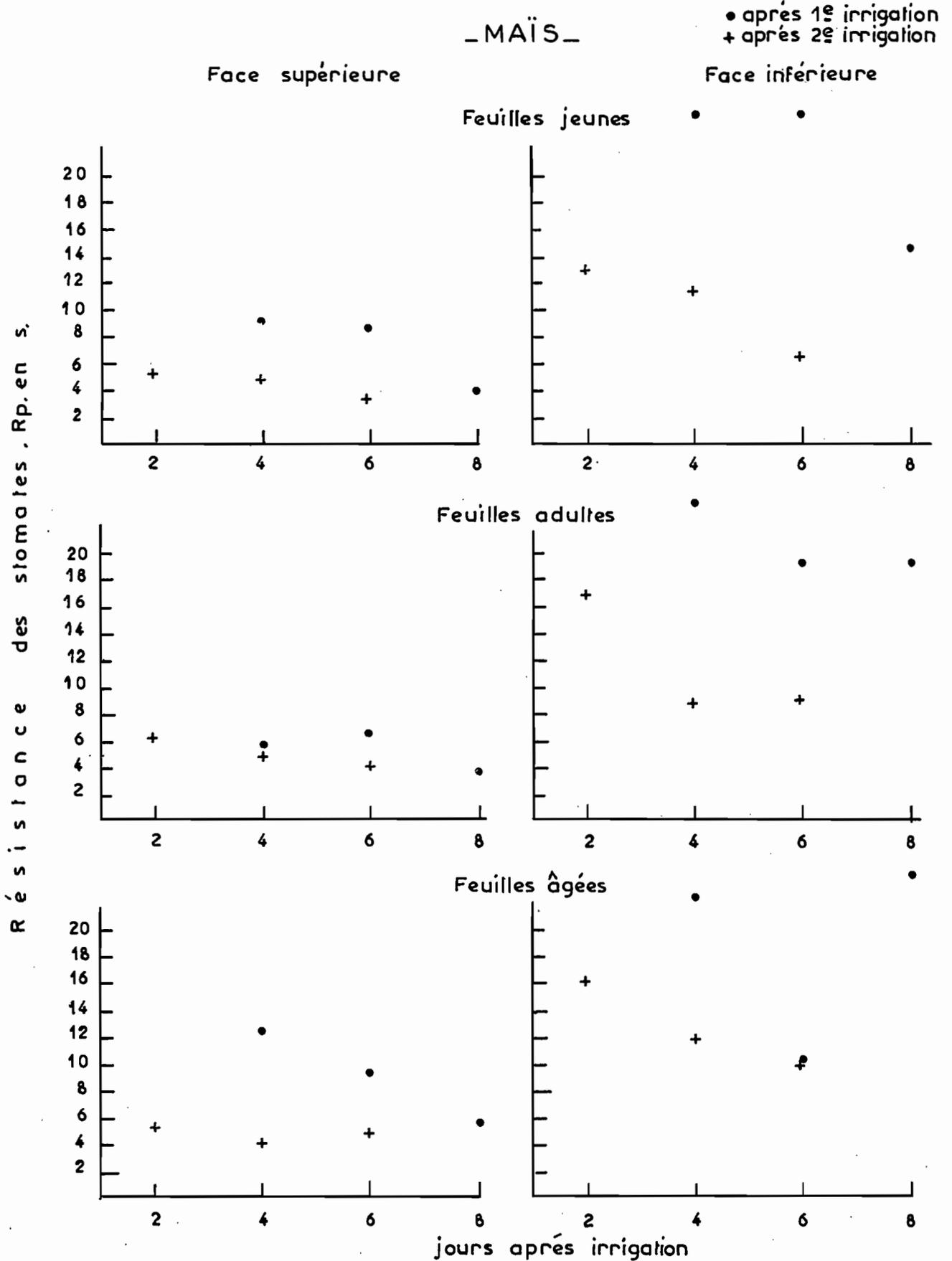
# Relation entre la résistance des stomates et le temps après l'irrigation

## - TOMATES -

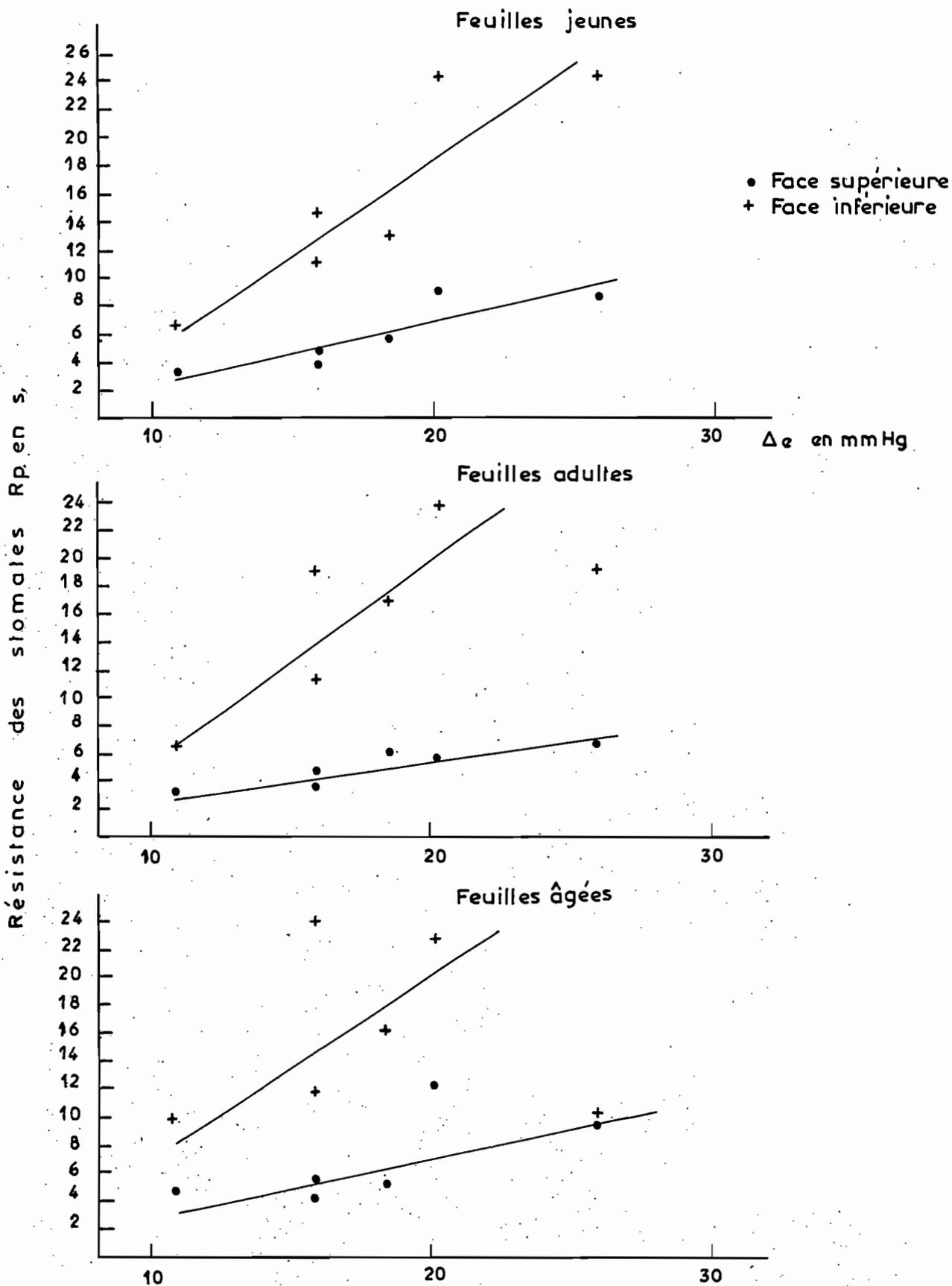


Relation entre la résistance des stomates et le temps après l'irrigation

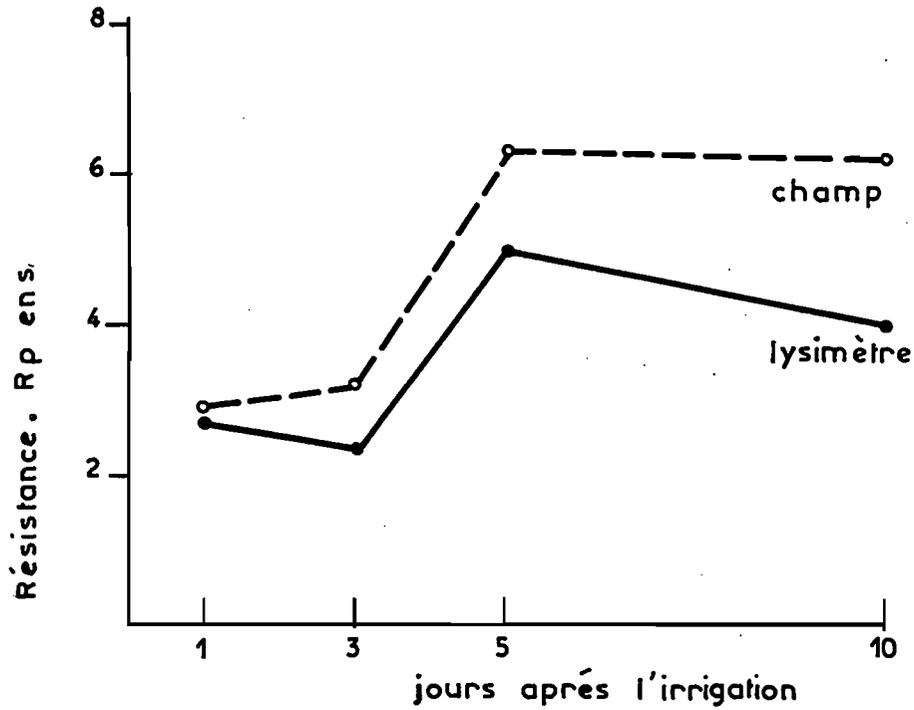
Fig II B-f28



### Relation entre la résistance des stomates du maïs et le déficit de tension de vapeur ( $\Delta e$ )

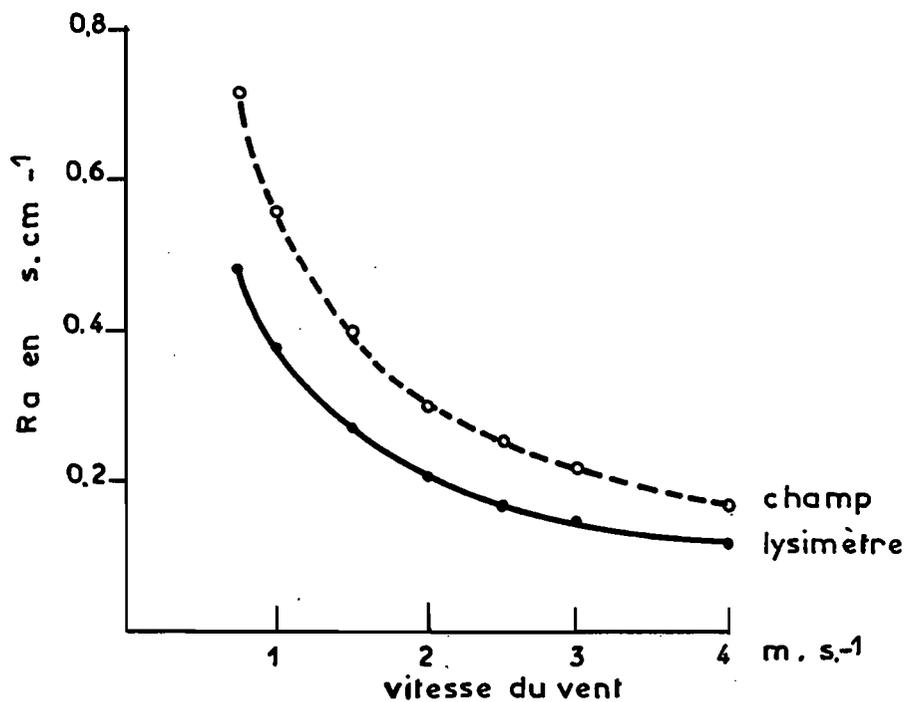


### Augmentation de la résistance stomatique des tomates sur lysimètre et au champ



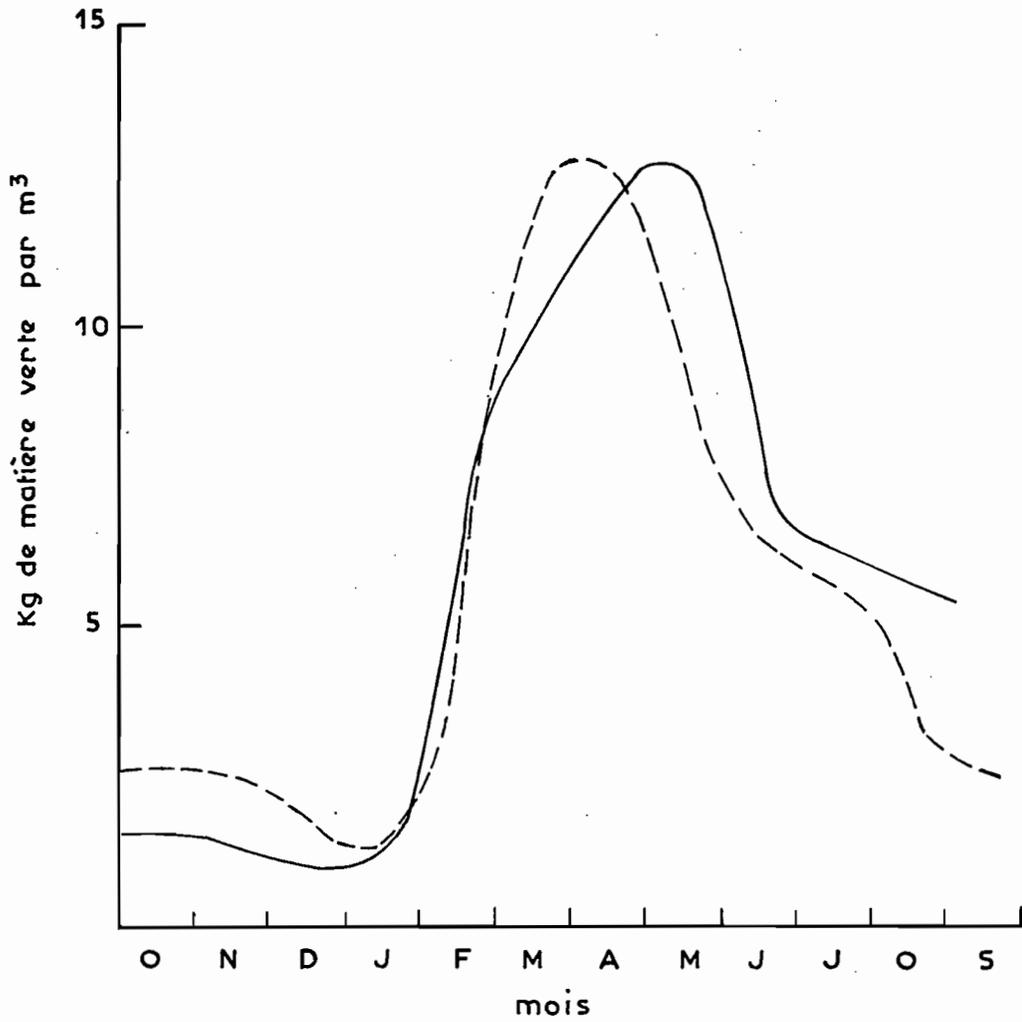
### Influence du vent sur la résistance de la couche laminaire pour un lysimètre et au champ

Fig II B-f 31





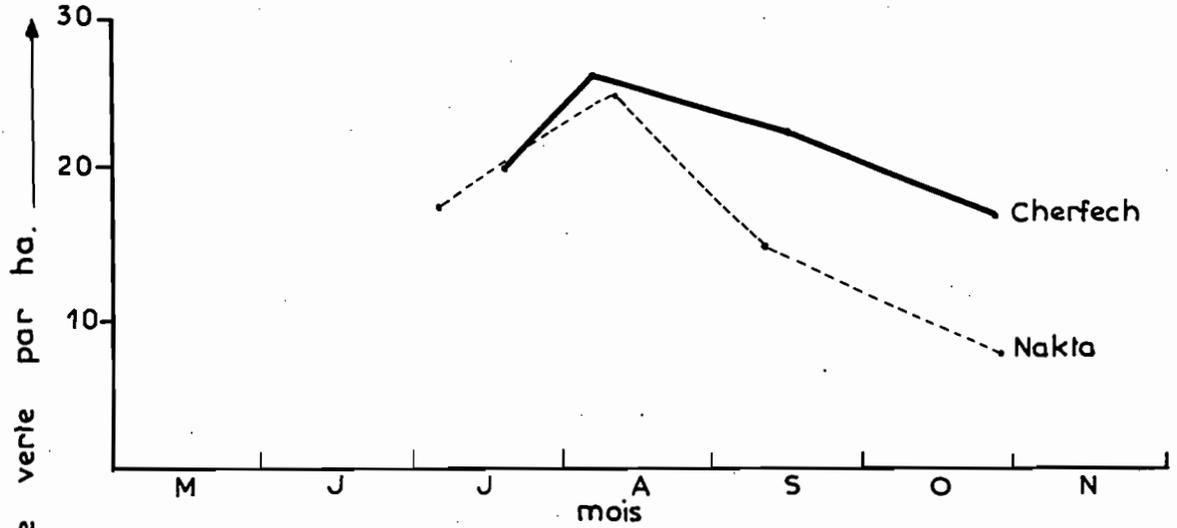
Evolution de la production par mètre cube d'eau



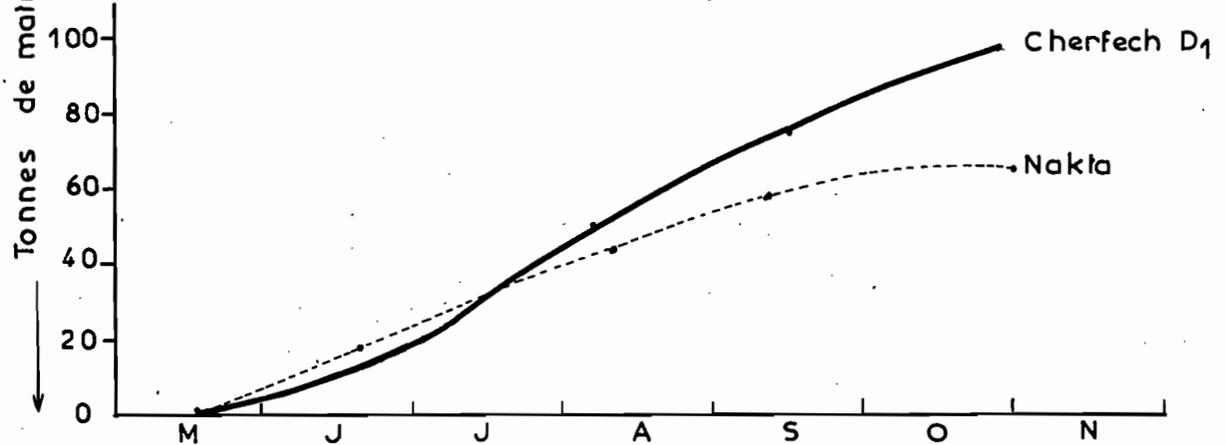
— Cherfech  
- - - Nakta

Sorgho fourrager

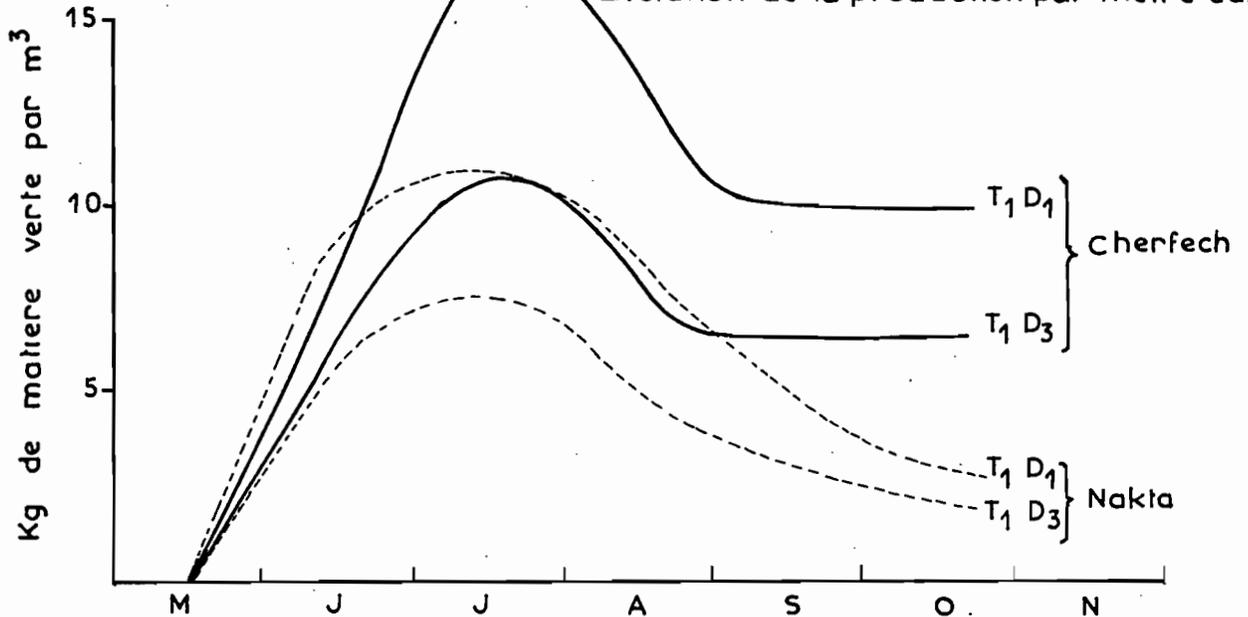
Evolution de la production par coupe



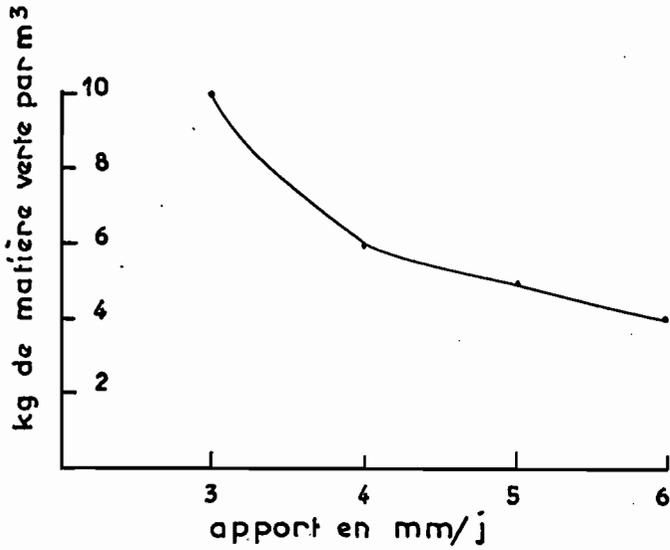
Evolution de la production cumulée



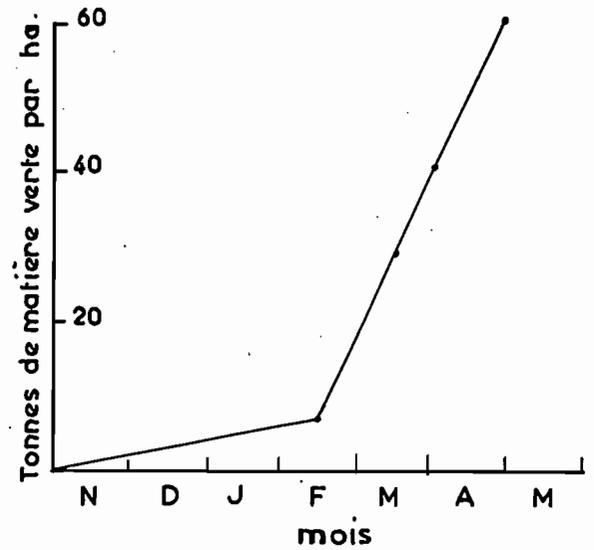
Evolution de la production par mètre cube



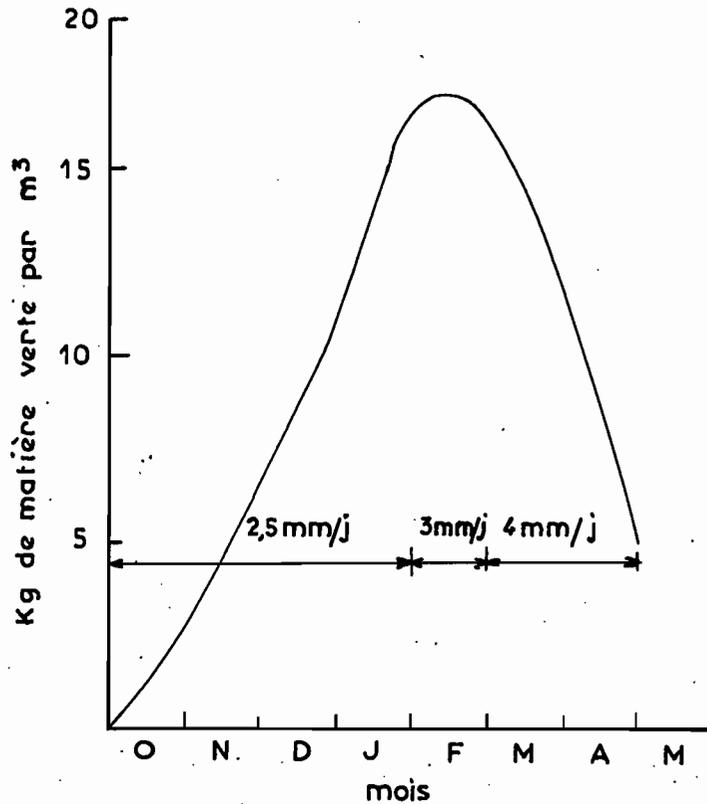
Production par mètre cube d'eau en fonction des apports



Evolution de la production cumulée

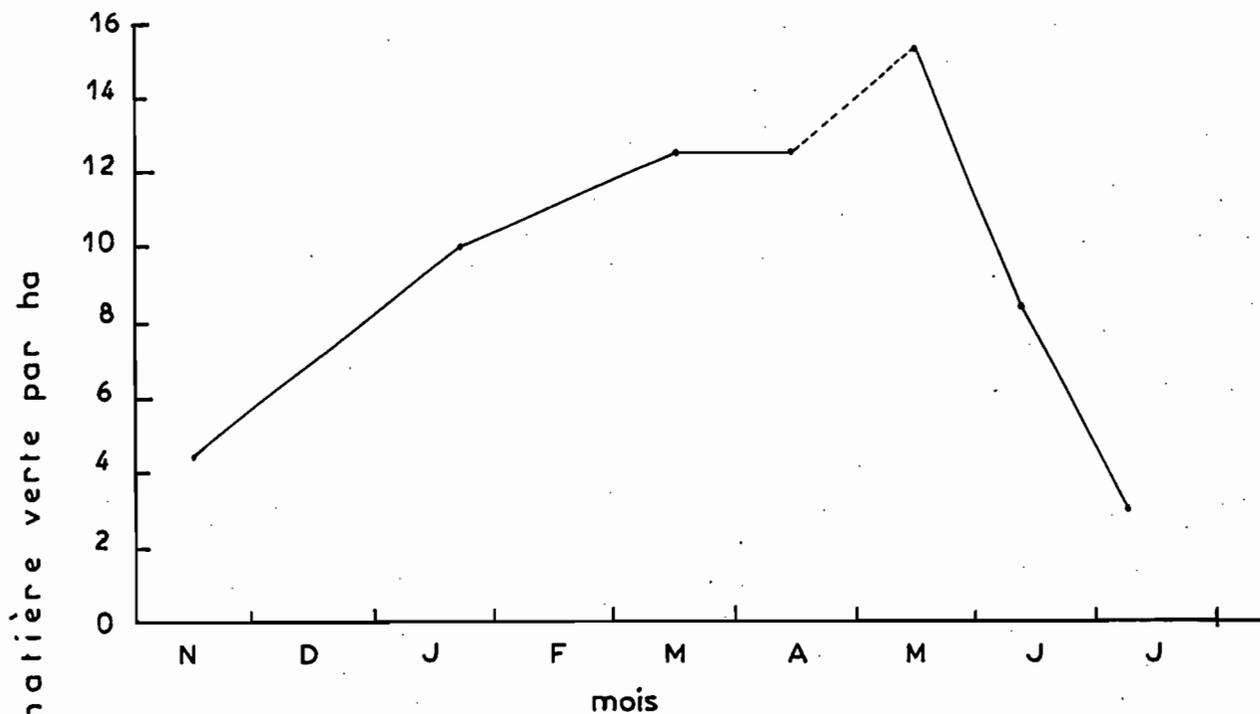


Evolution de la production par mètre cube d'eau

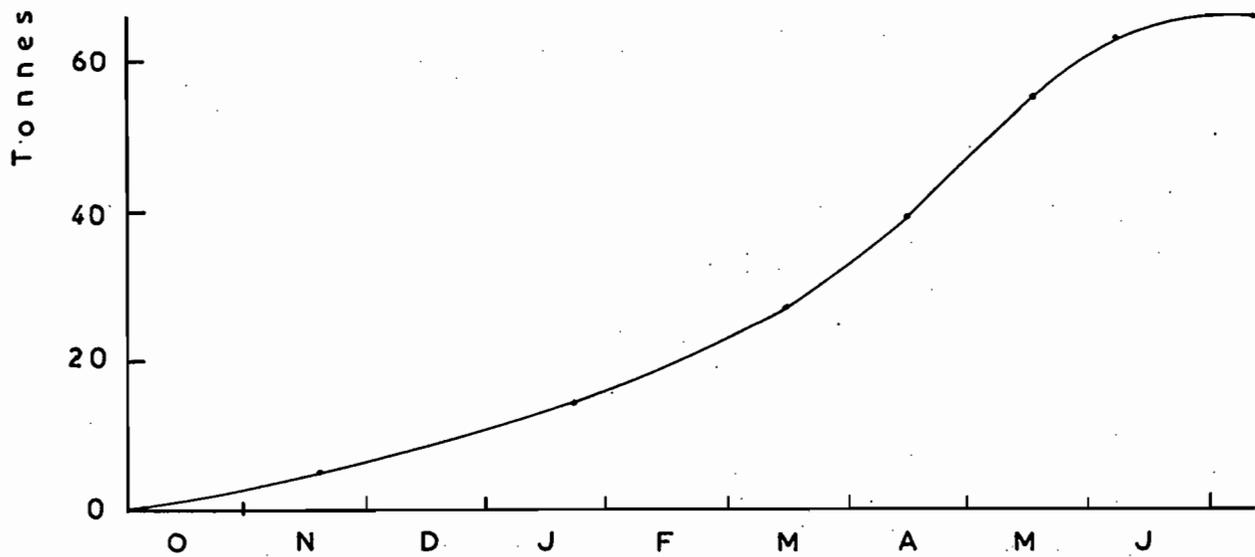


Bersim

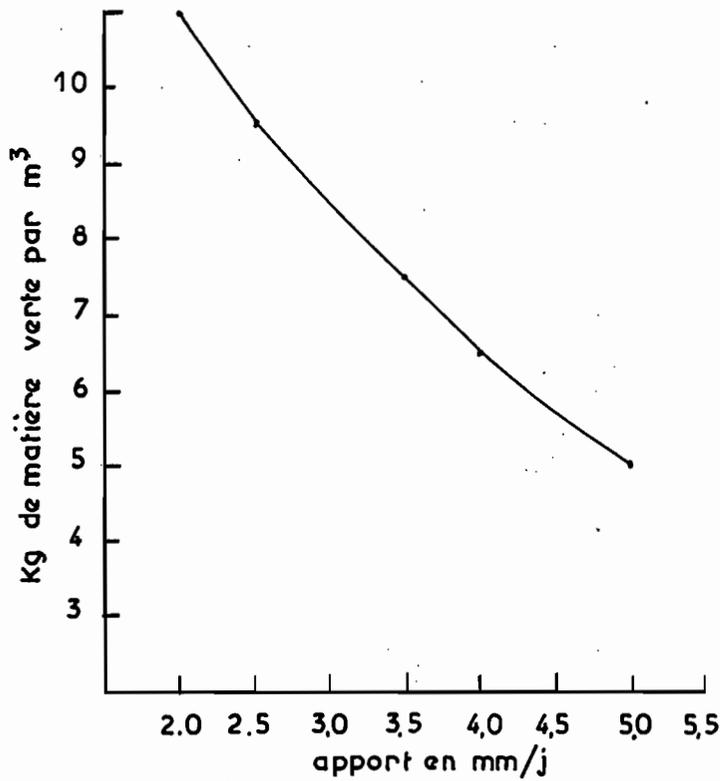
Evolution de la production par coupe



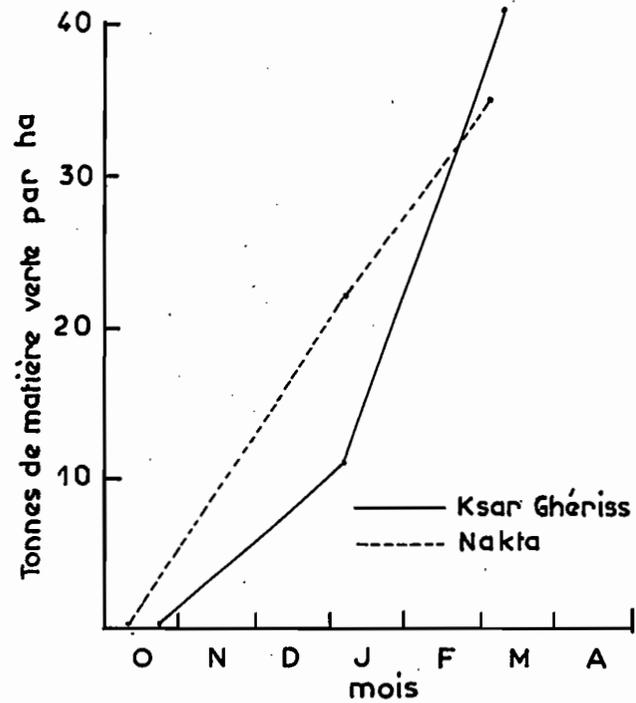
Evolution de la production cumulée



Production par mètre cube d'eau en fonction des apports



Evolution de la production cumulée



Evolution de la production par mètre cube d'eau

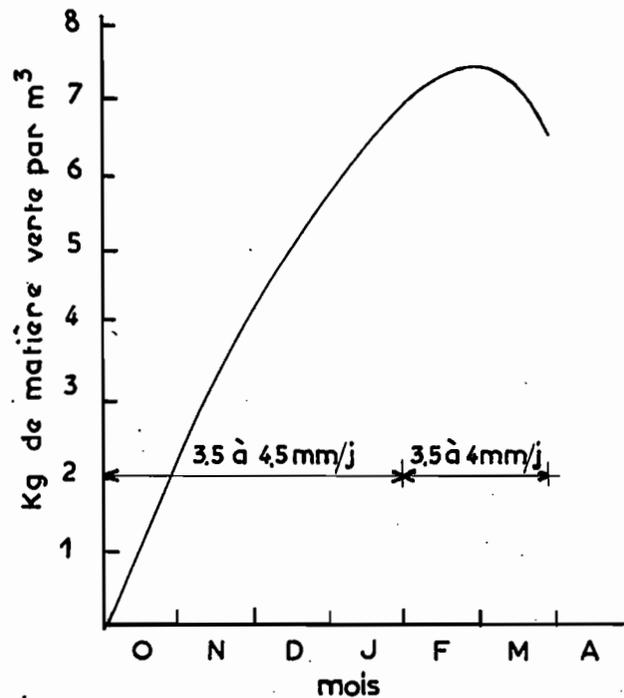
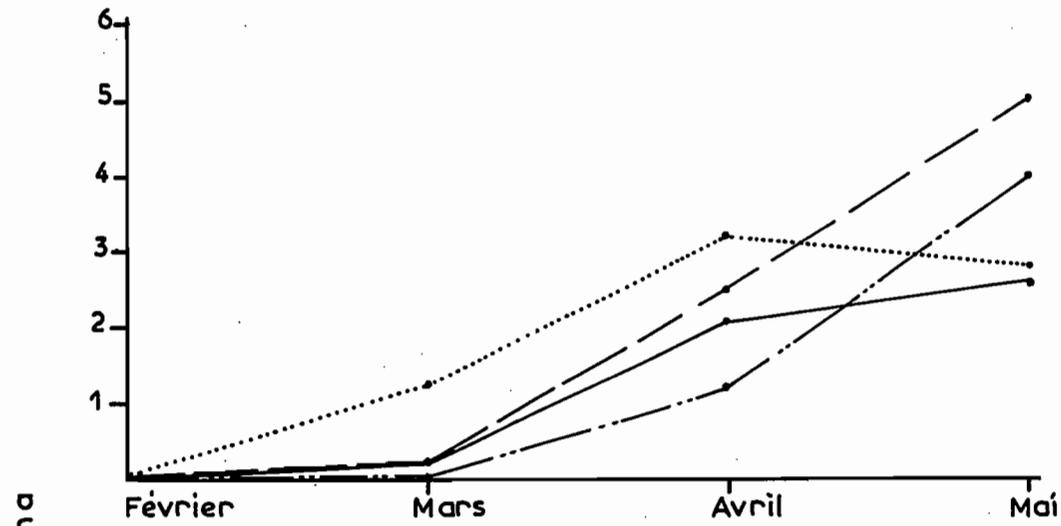
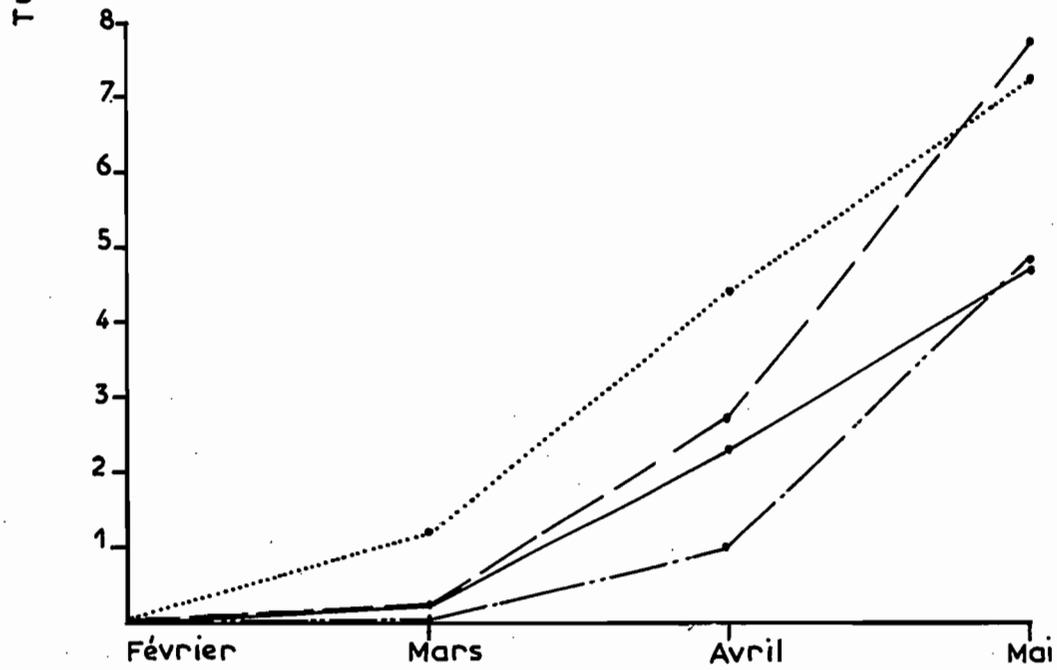


Fig IB-f 38

### Evolution de la production de l'asperge de primeur



### Production cumulée de l'asperge de primeur



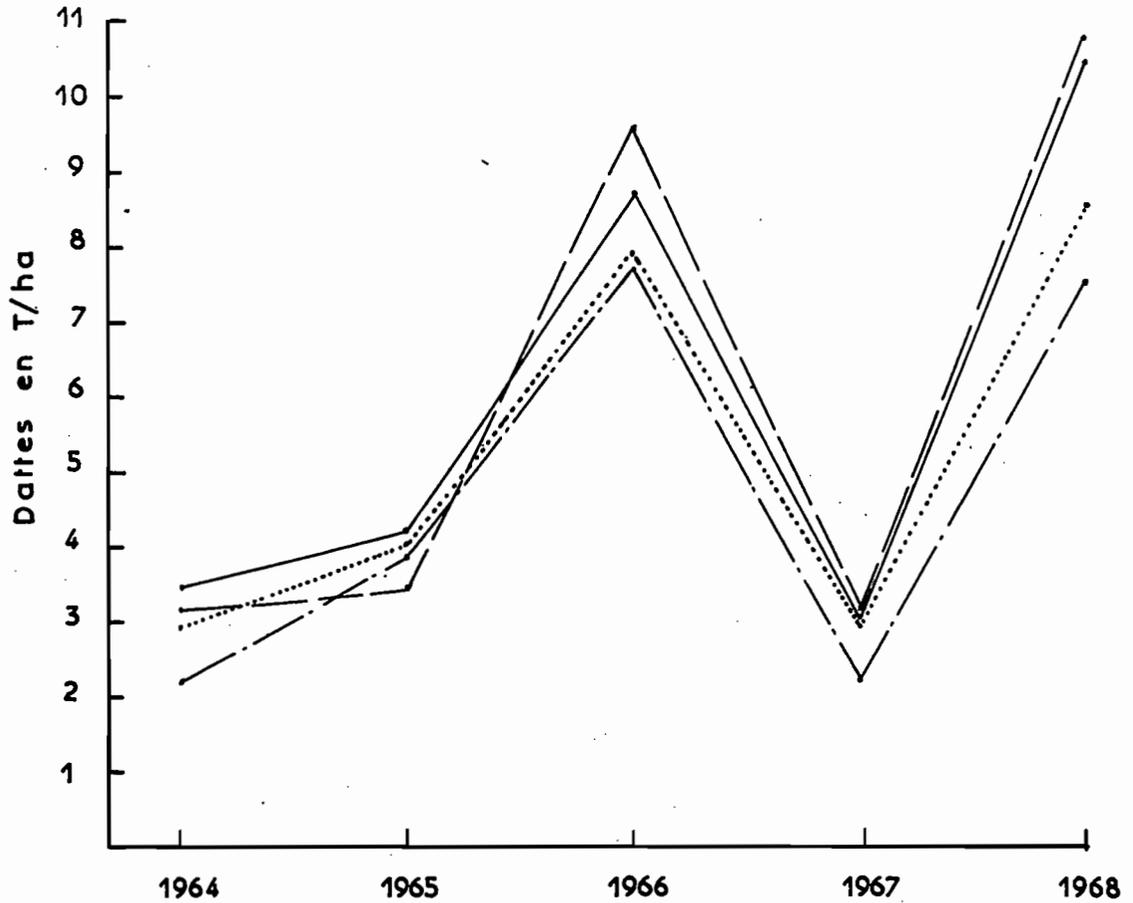
Culture normale — Culture forcée

1968  
1969

—  
---  
- - -  
- - -

Fig II B - f39

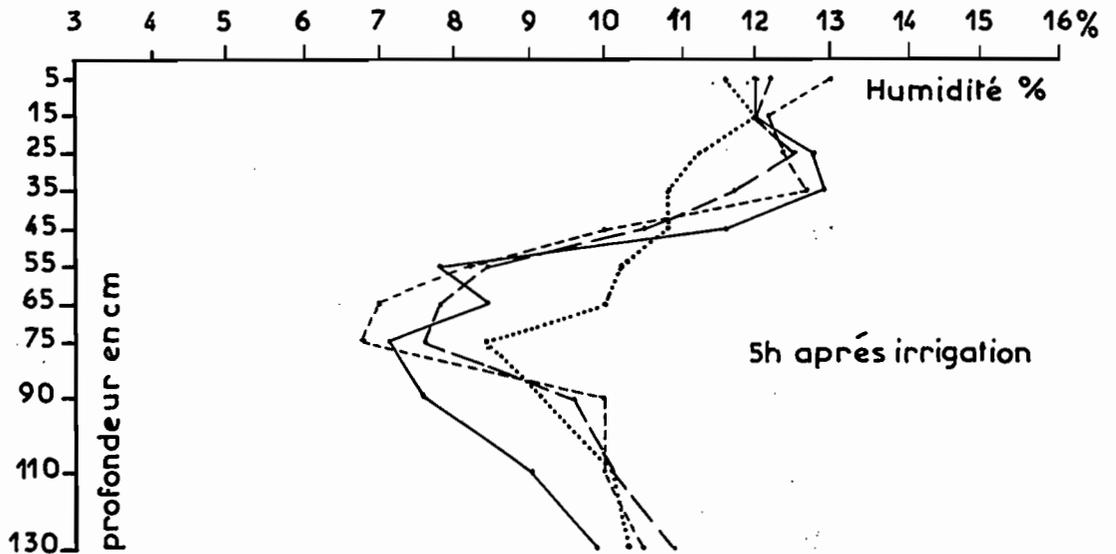
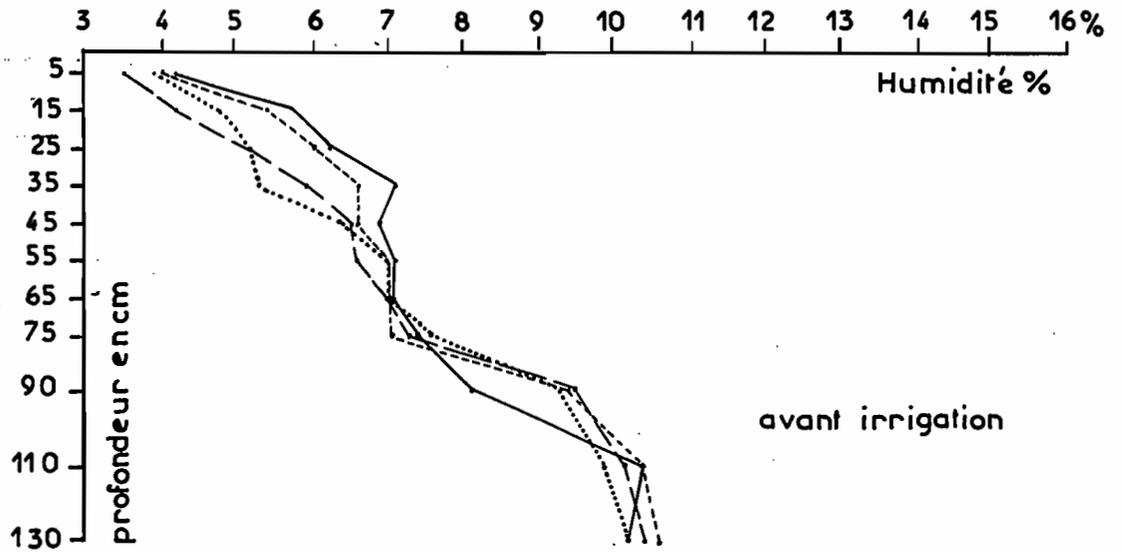
Evolution de la production des dattes à Helba (Tozeur)



— S<sub>0</sub> D<sub>1</sub> sans sous culture , 6,75 mm/j  
- - - S<sub>0</sub> D<sub>2</sub> " " , 10 mm/j  
- . - S<sub>1</sub> D<sub>1</sub> avec sous culture , 6,75 mm/j  
..... S<sub>1</sub> D<sub>2</sub> " " , 10 mm/j



Profils hydriques avant et après irrigation  
Longueur de la planche 68 m — Pente 12‰ — Dose 60 mm

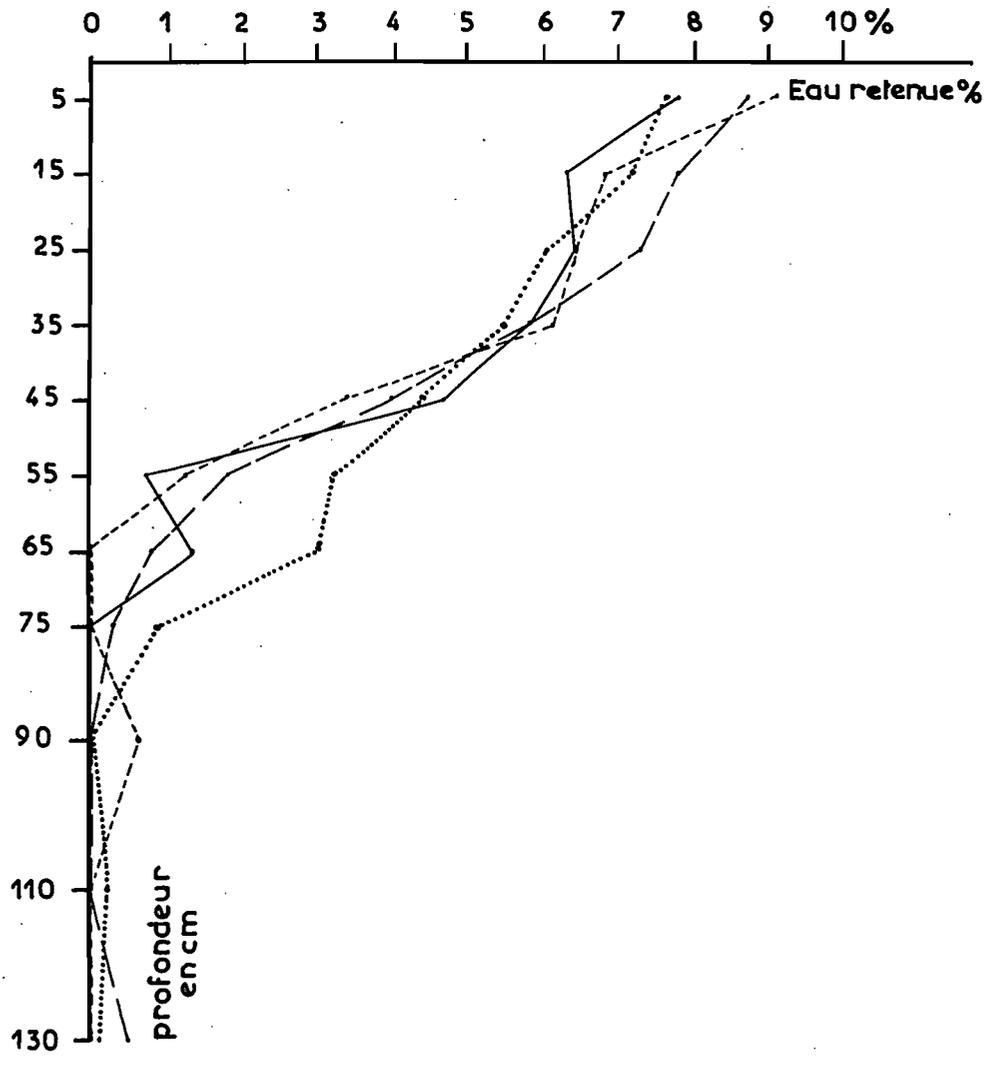


Transversale située à

A	8m
B	26m
C	42m
D	58m

Fig II C-f 2

Eau retenue , 5 heures après irrigation.

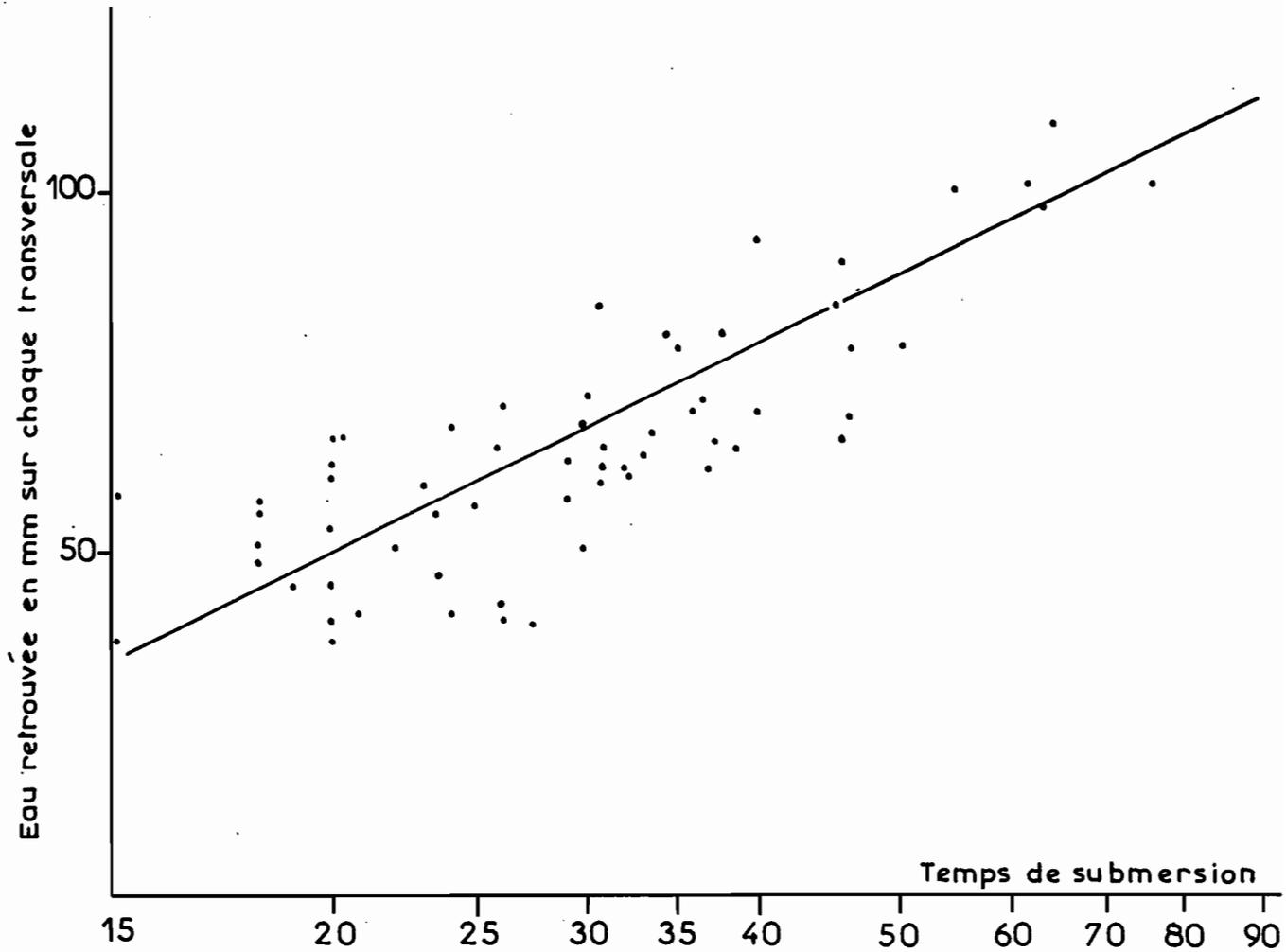


Transversales- Eau retrouvée en mm

- A ————— 57mm
  - B - - - - - 57mm
  - C ————— 65mm
  - D ..... 65mm
- } 61mm

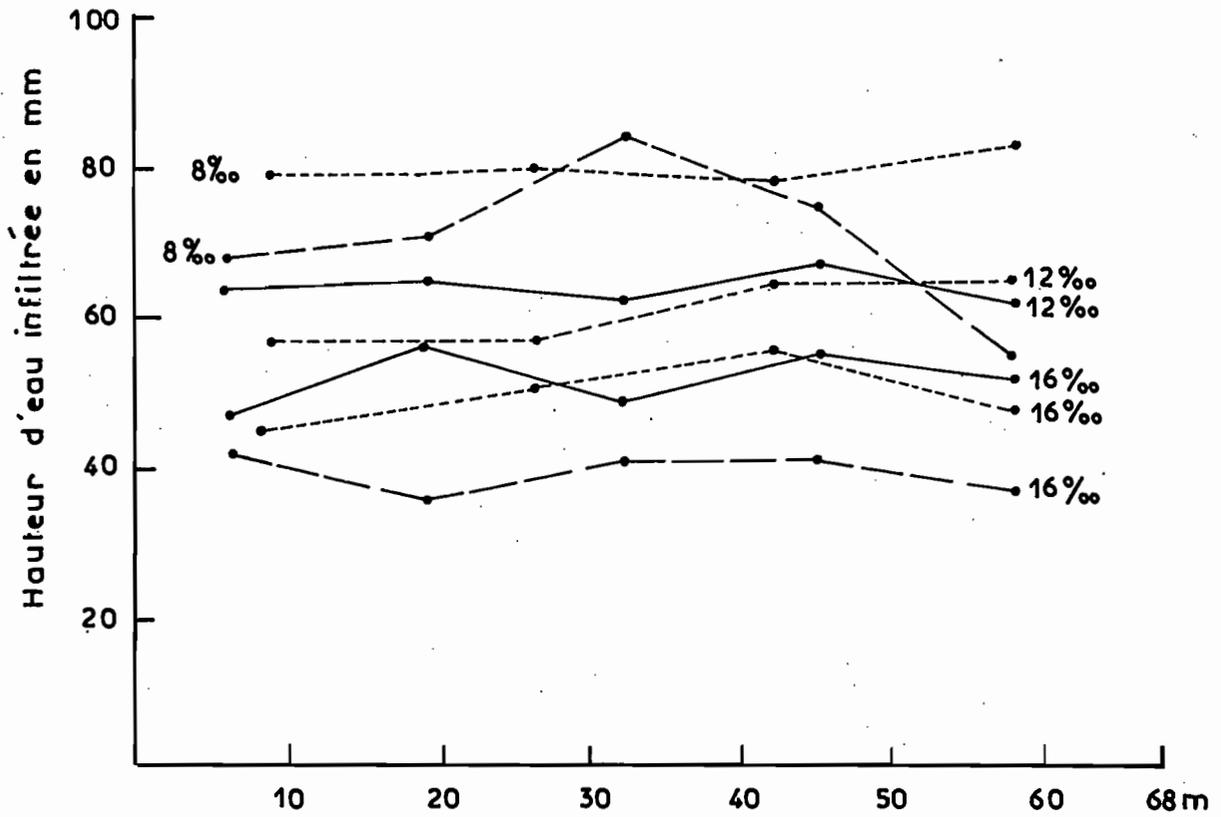
Fig II C-f 3

Relation entre la hauteur d'eau infiltrée  
et le temps de submersion



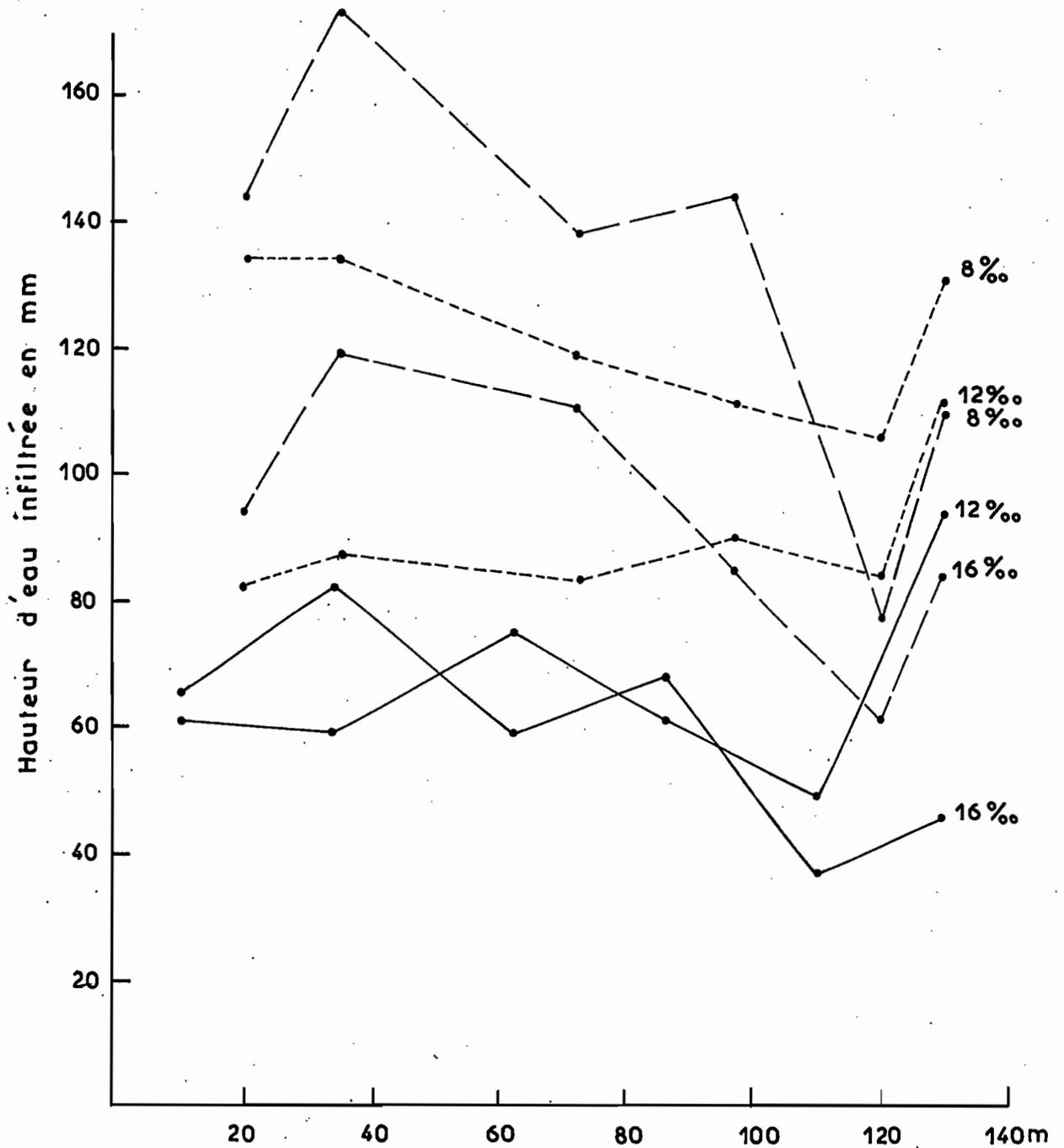
Temps en min.	20	30	40	50	60
Hauteur infiltrée en mm	50	65	77	86	94
Différence par 10min.		15	12	9	8
Vitesse en cm/heure		9.0	7.2	5.4	4.8

Répartition de l'eau pour des pentes différentes  
Planches de 68 m Débit 25l / s / 11 m



Date	Pente‰	Dose en mm	
		apportée	retrouvée
16.1.68	16	60	52
	12	70	64
1.2.68	16	52	39
	8	84	69
17.2.68	16	40	50
	12	60	61
	8	70	80

Répartition de l'eau pour des pentes différentes  
Planches de 140m  
Débit 27l / s / 11m

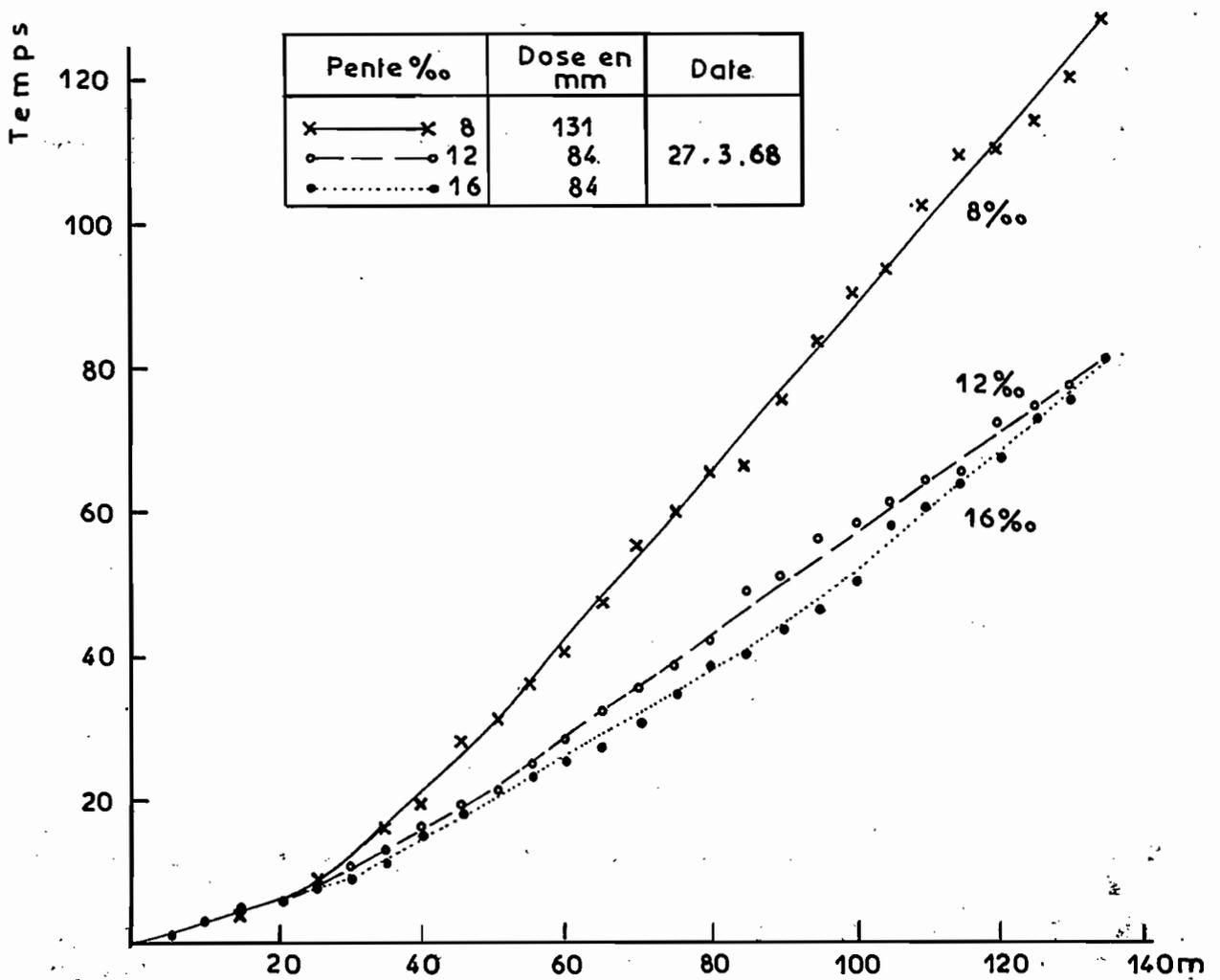
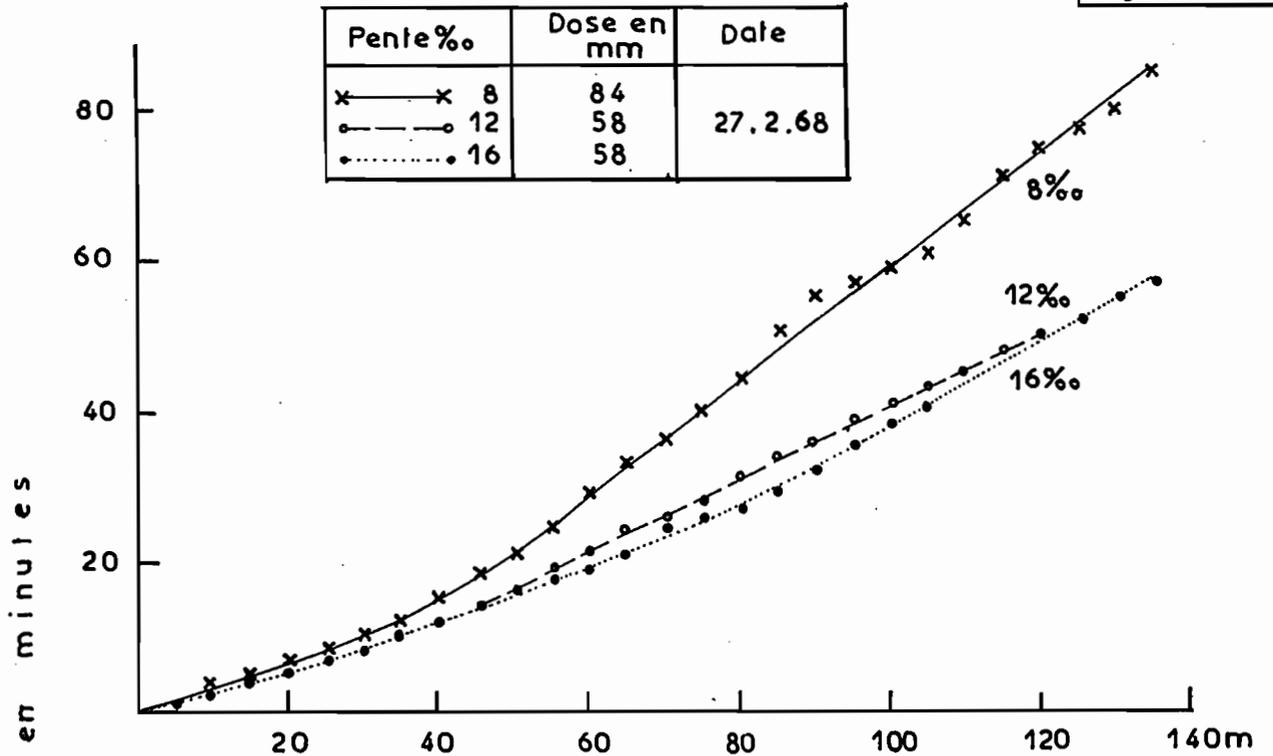


Date	Pente ‰	Dose en mm	
		apportée	retrouvée
27.2.68	16	58	59
	12	58	56
27.3.68	16	84	92
	8	131	101
11.4.68	12	79	89
	8	121	122

### Avancement de l'eau sur planches de 140m

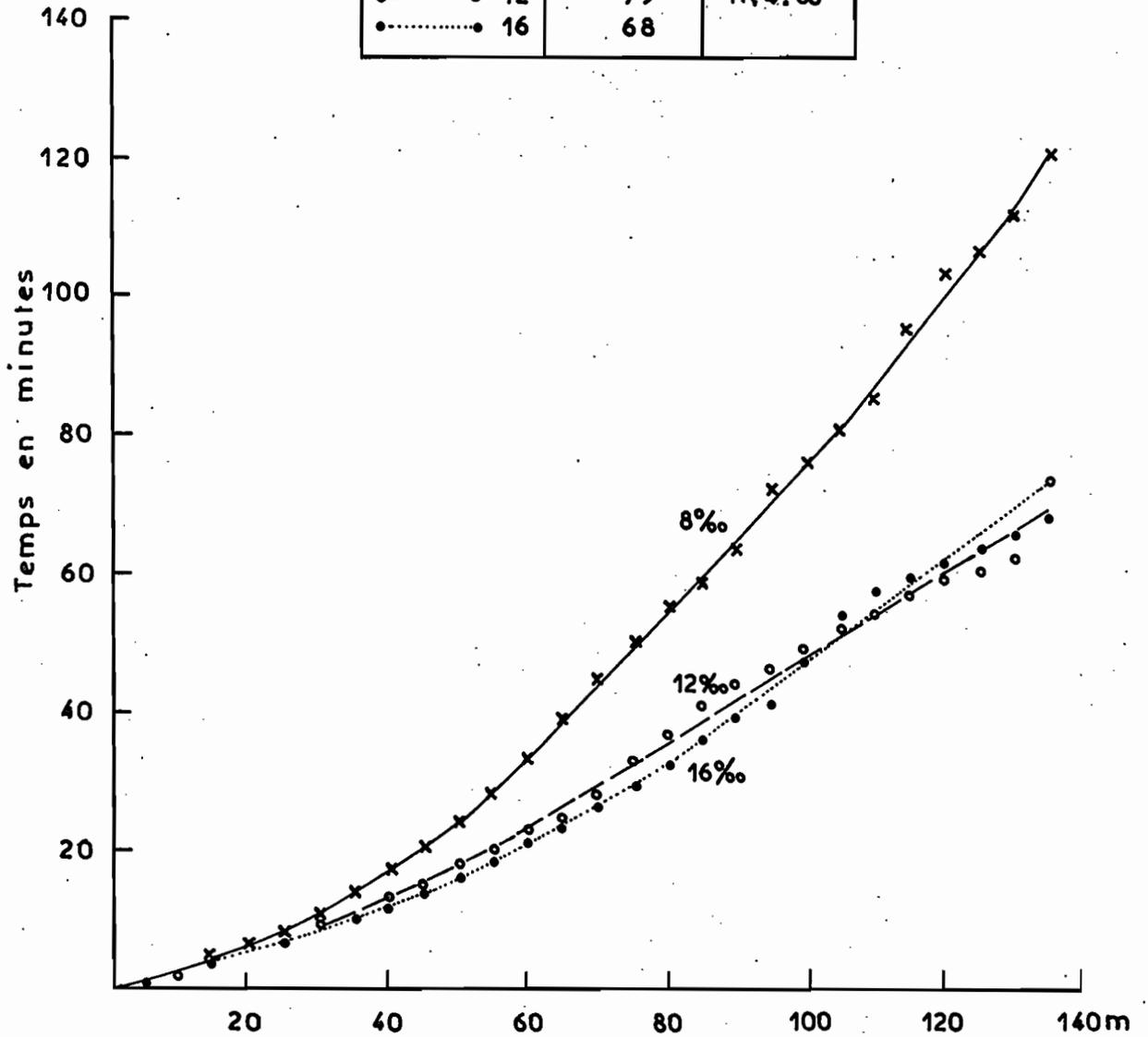
Débit 30/s/12m

Fig IIc-f6

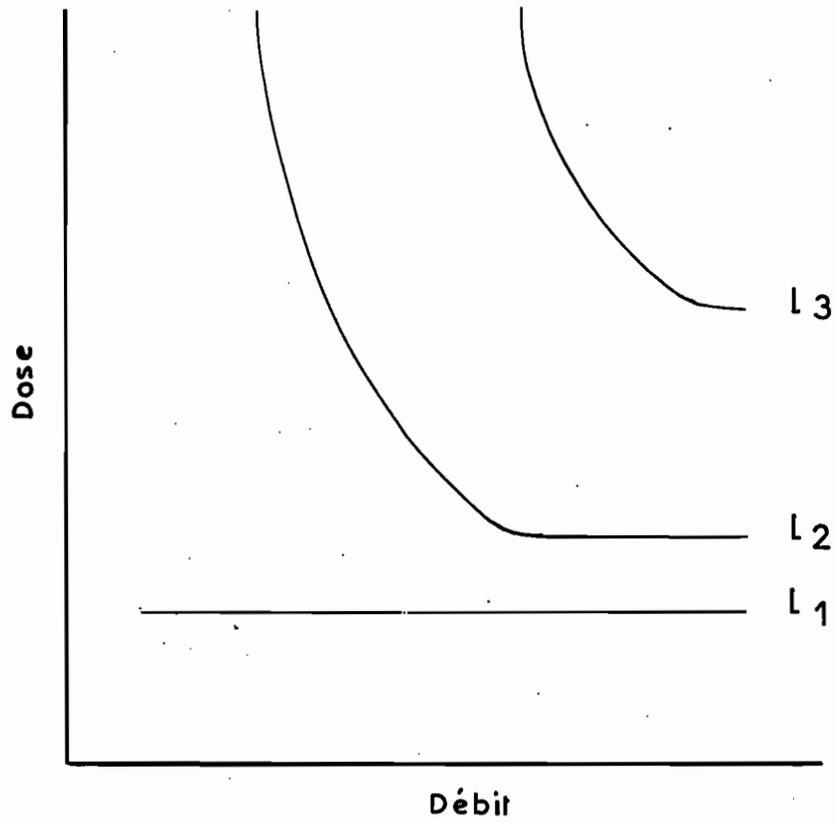


Avancement de l'eau sur planches de 140m  
Débit 30 l/s/12m

Pente ‰	Dose en mm	Date
x — x 8	121	11, 4, 68
o — o 12	79	
• ..... • 16	68	



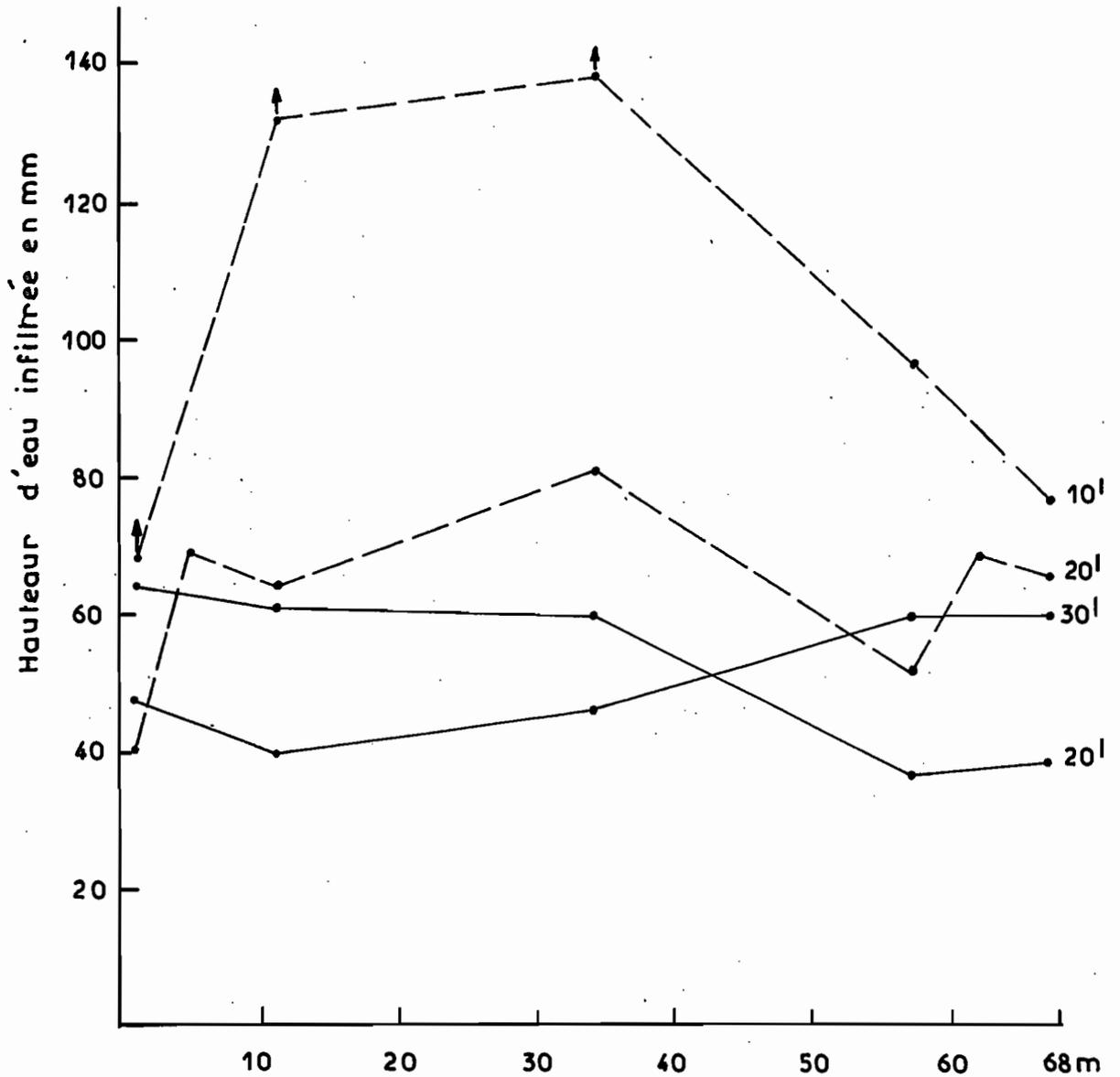
Influence du débit sur la dose en fonction  
de la longueur de l'élément d'irrigation  
( $l_3 > l_2 > l_1$ )



Répartition de l'eau pour des débits différents

Planches de 68m

Pente 6‰

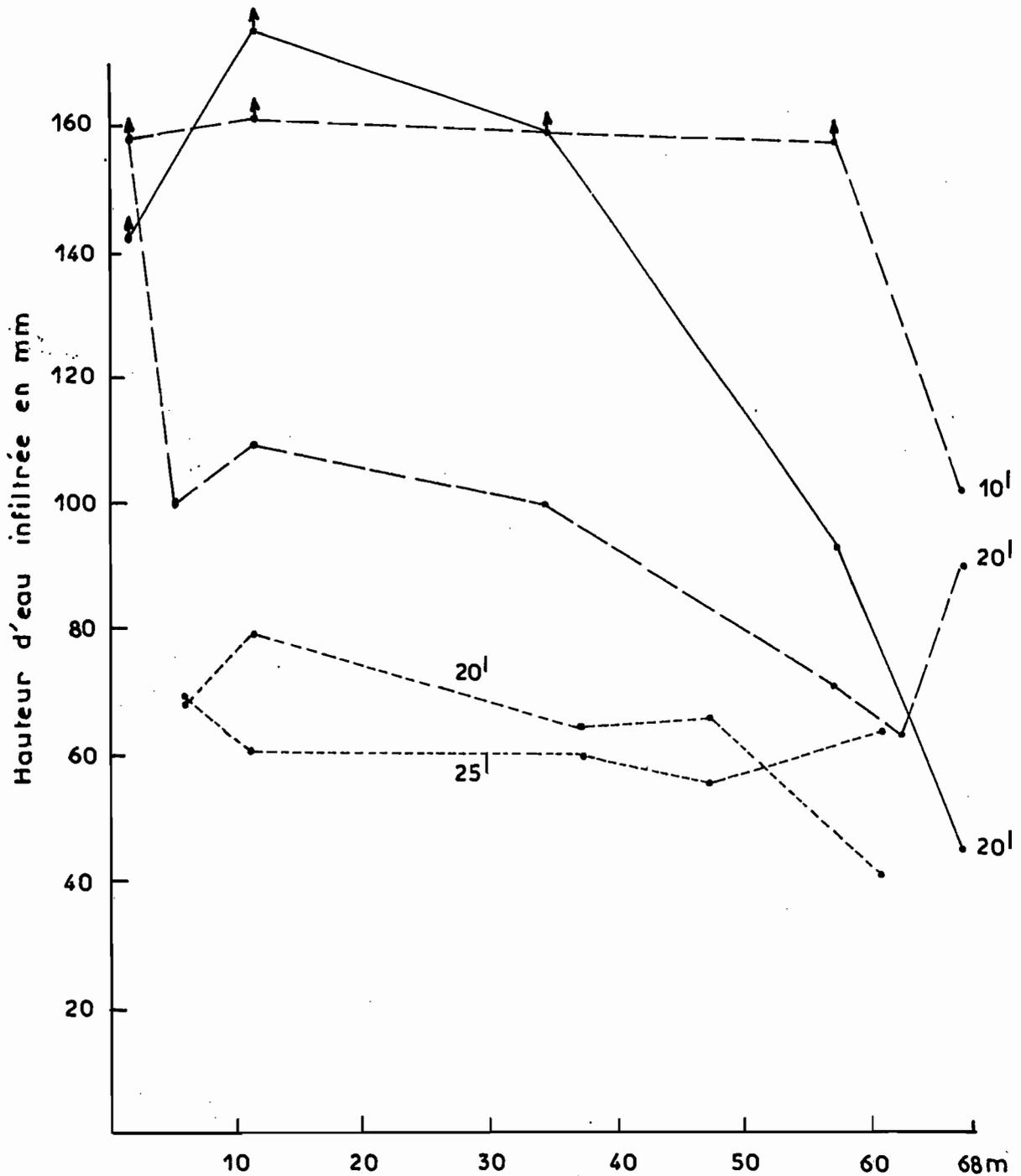


Date	Débit en l/s/12 m	Dose en mm	
		apportée	retrouvée
17.10.67	20	50	53
	30	46	49
	20	53	63
31.10.67	10	101	>102
	20	53	63

Répartition de l'eau pour des débits différents

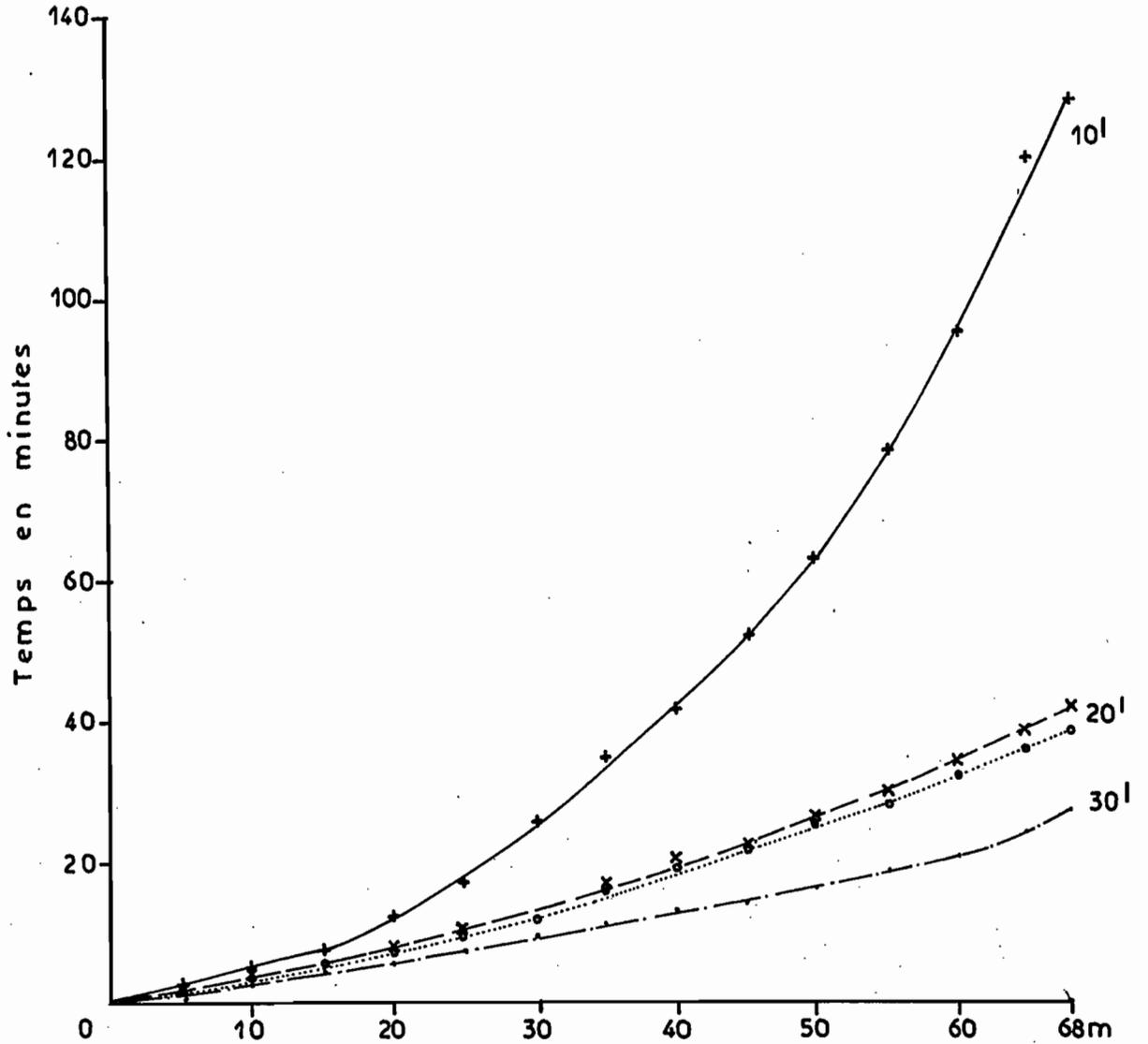
Planches de 68m

Pente 9,5%



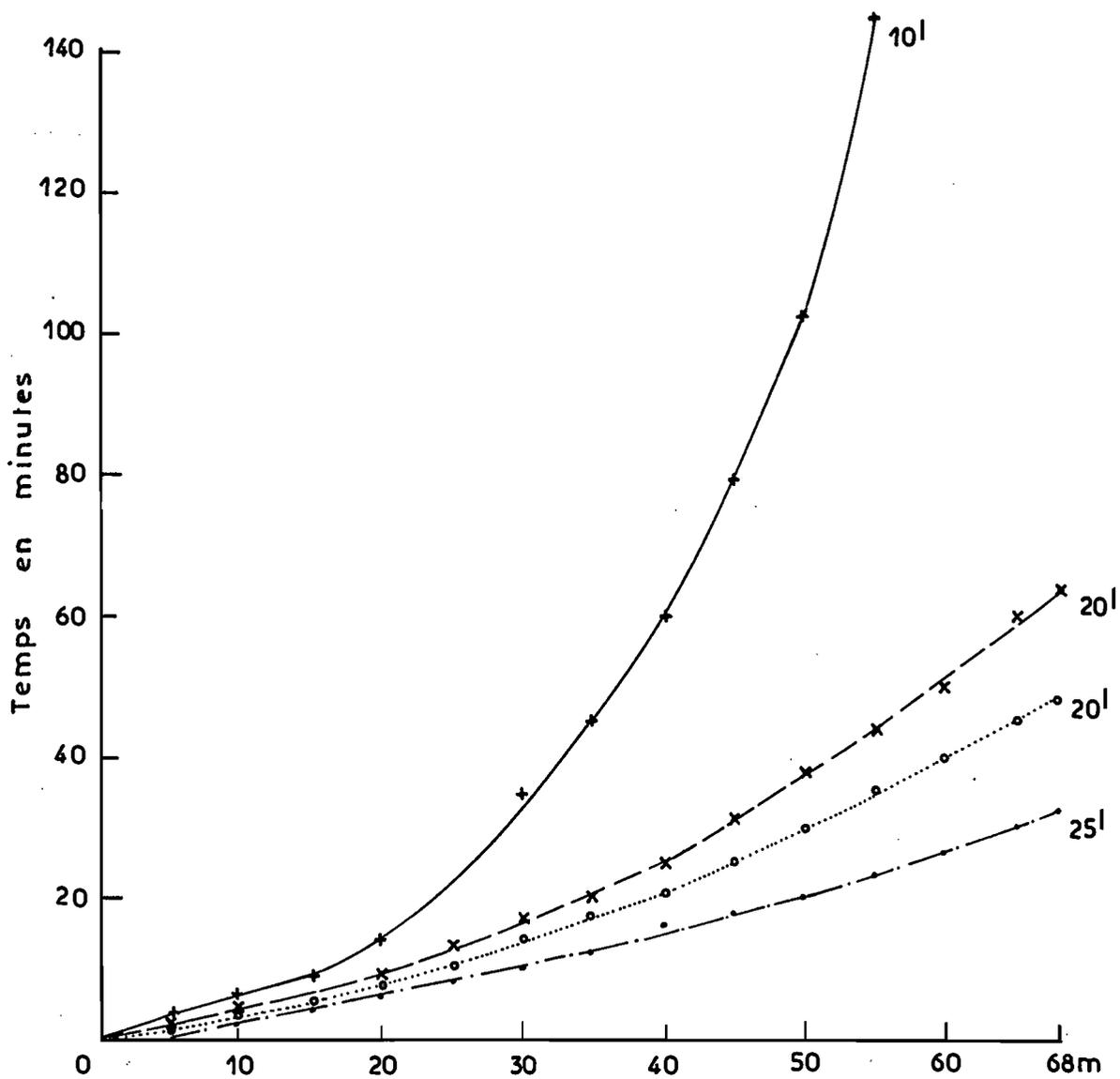
Date	Débit en l/s/12m	Dose en mm	
		apportée	retrouvée
— 22.9.67	20	159	> 123
- - - 14.11.67	10	270	> 148
. . . 29.11.67	20	92	89
	25	53	62

### Avancement de l'eau sur planches de 68m Pente 6‰



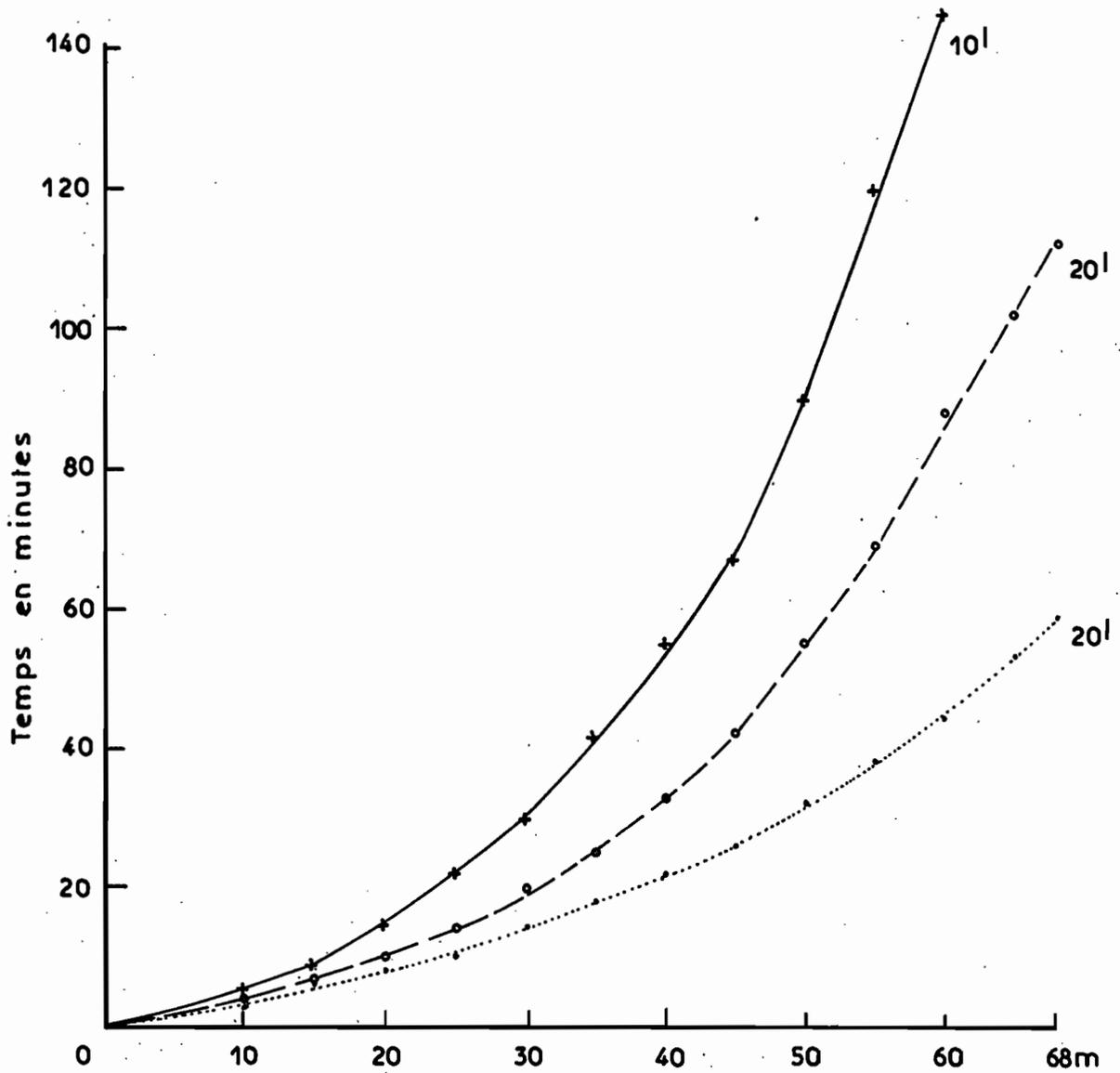
Débit en l/s/12m	Dose en mm	Date
+ 10	101	31.10.67
x 20	50	17.10.67
o 20	53	31.10.67
o 30	46	17.10.67

Avancement de l'eau sur planches de 68m  
Pente 9,5‰



Débit en l/s/12m	Dose en mm	Date
+ — + 10	270	14.11.67
x — x 20	92	14.11.67
o ..... o -	67,5	29.11.67
—•—•— 25	52,5	29.11.67

Avancement de l'eau sur planches de 68m  
22.9.67

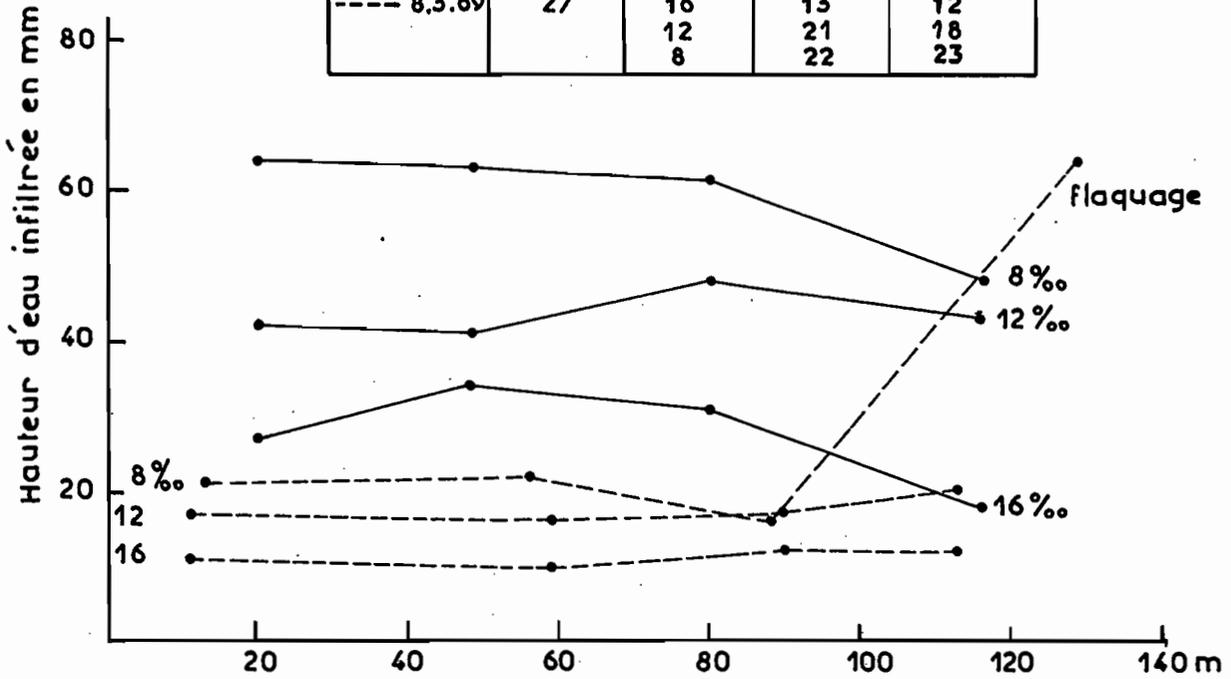


Débit en l/s/12m	Dose en mm	Pente ‰	Luzerne
+-----+	260	9,5	20cm
o-----o	159	9,5	20cm
.....•	87	6	coupée

Répartition de l'eau pour des pentes différentes

Billons de 132 m

Date	Débit en l/s/8m	Pente‰	Dose en mm	
			apportée	retrouvée
7.2.69	30	16	29	28
		12	48	44
		8	64	59
8.3.69	27	16	13	12
		12	21	18
		8	22	23
		8	22	23

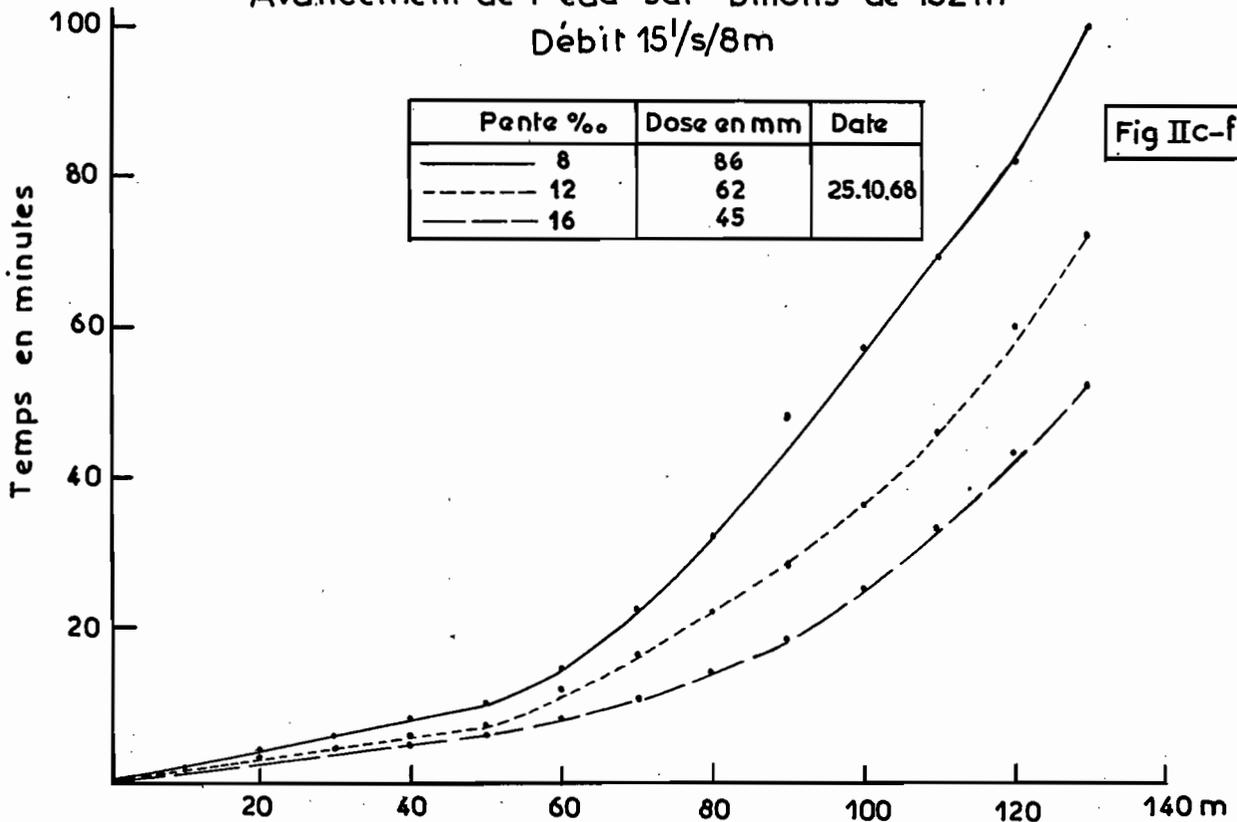


Avancement de l'eau sur billons de 132 m

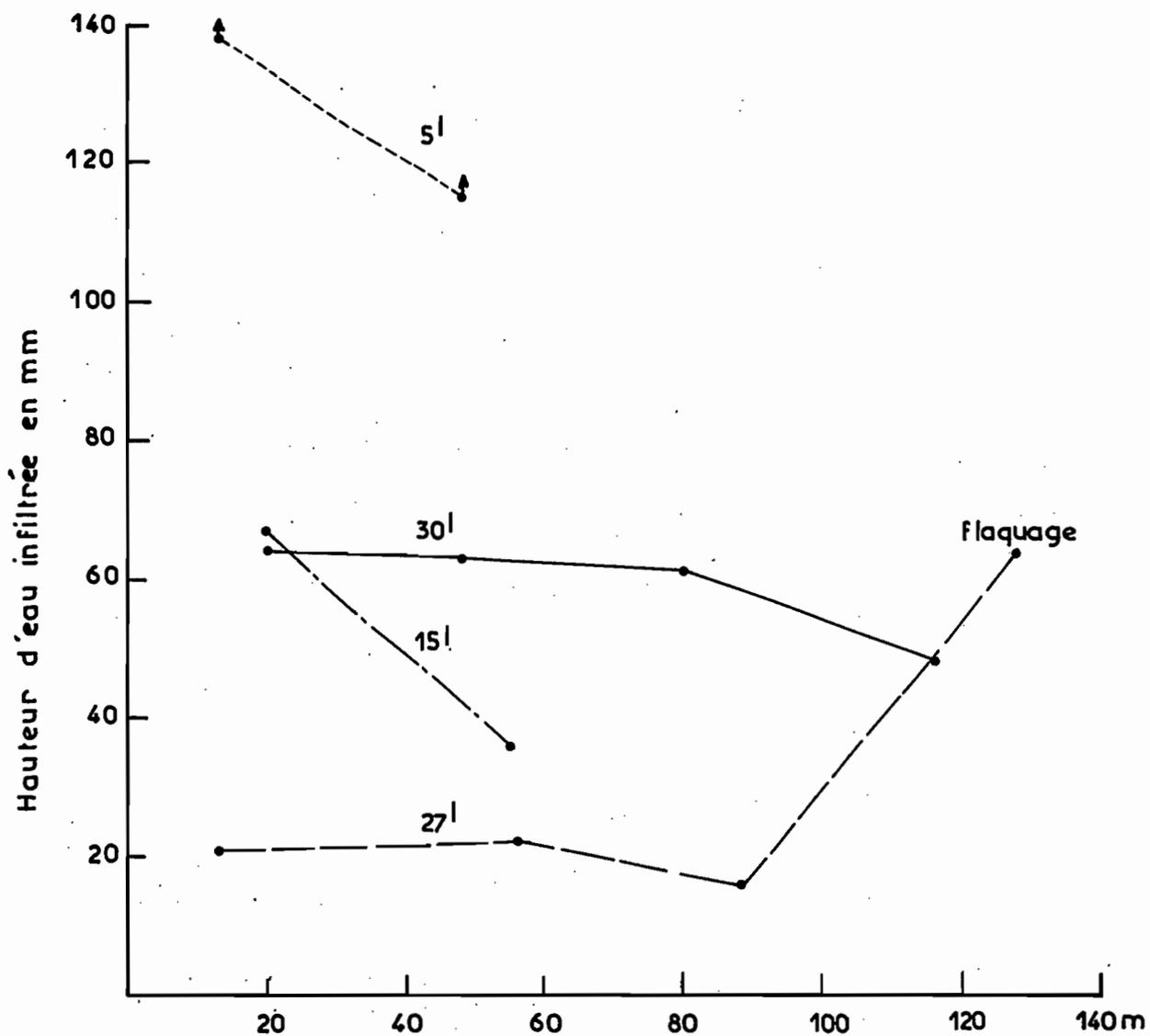
Débit 15 l/s/8m

Pente ‰	Dose en mm	Date
8	86	25.10.68
12	62	
16	45	

Fig IIc-f 15

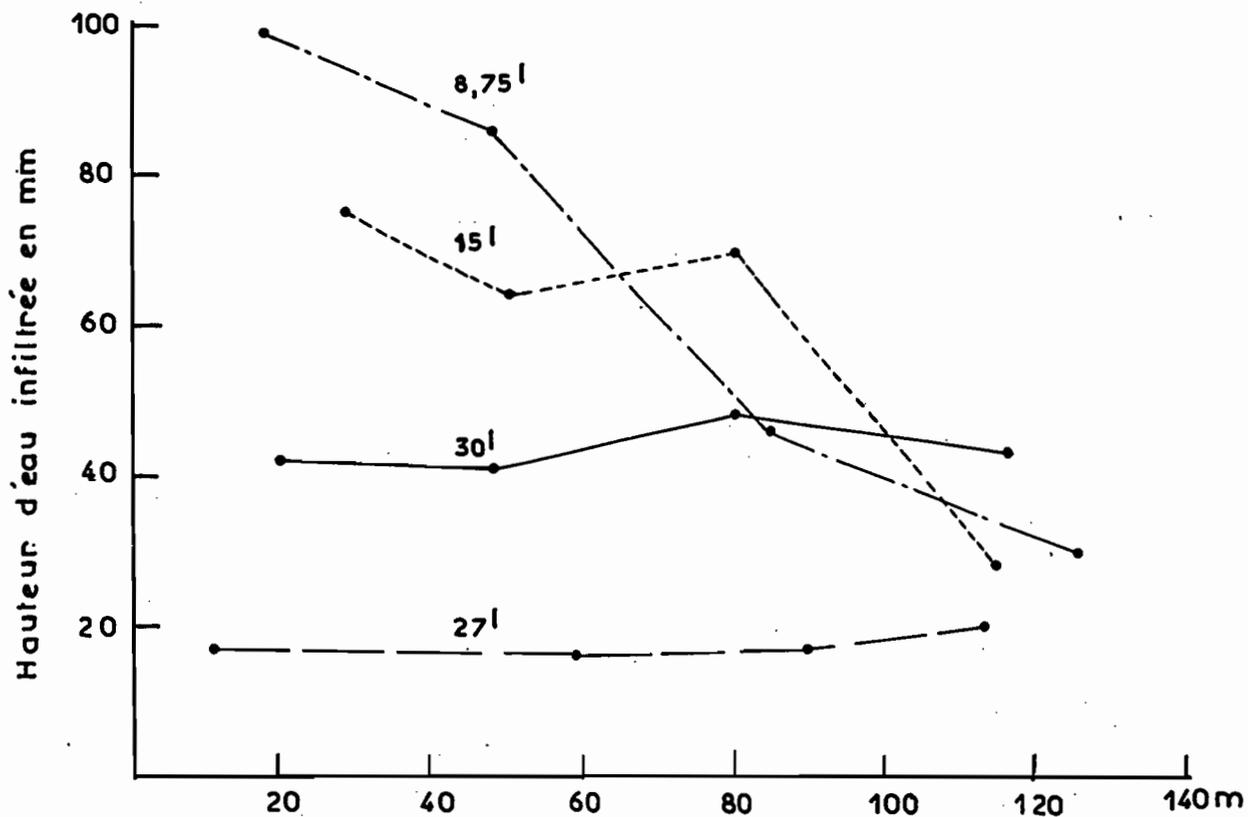


Répartition de l'eau pour des débits différents  
Billons de 132m Pente 8‰



Date	Débit en l / s / 8m	Dose en mm		Observation
		apportée	retrouvée	
11.12.68	5	131	> 126	l'eau n'a pas dépassé 60m
11.12.68	15	56	52	
7.2.69	30	64	59	
8.3.69	27	22	23	

Répartition de l'eau pour des débits différents  
 Billons de 132m Pente 12‰

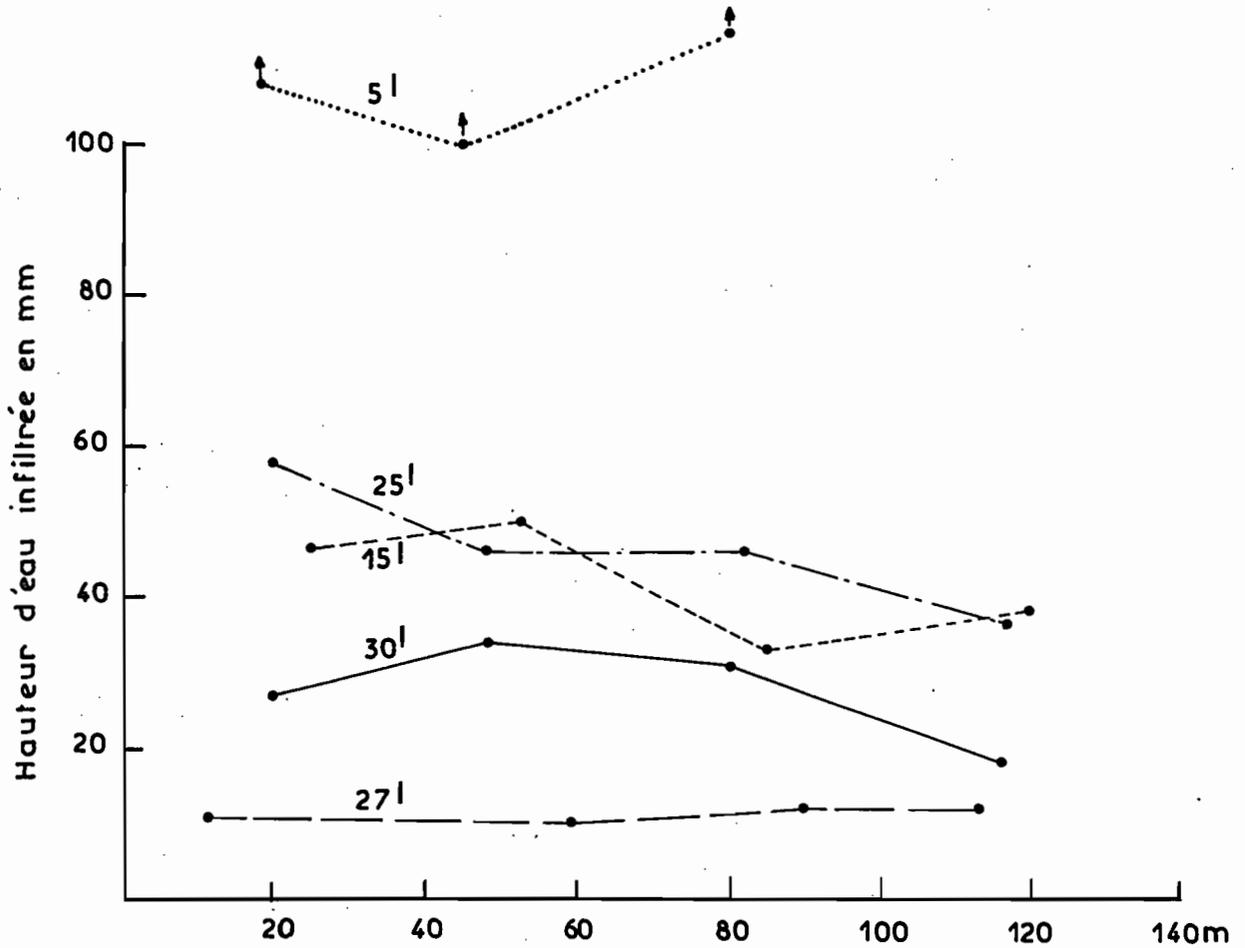


Date	Débit en l/s/8m	Dose en mm	
		apportée	retrouvée
25.10.68	15	62	59
11.12.68	8,75	-	66
7.2.69	30	48	44
8.3.69	27	21	18

Répartition de l'eau pour des débits différents

Billons de 132m

Pente 16‰

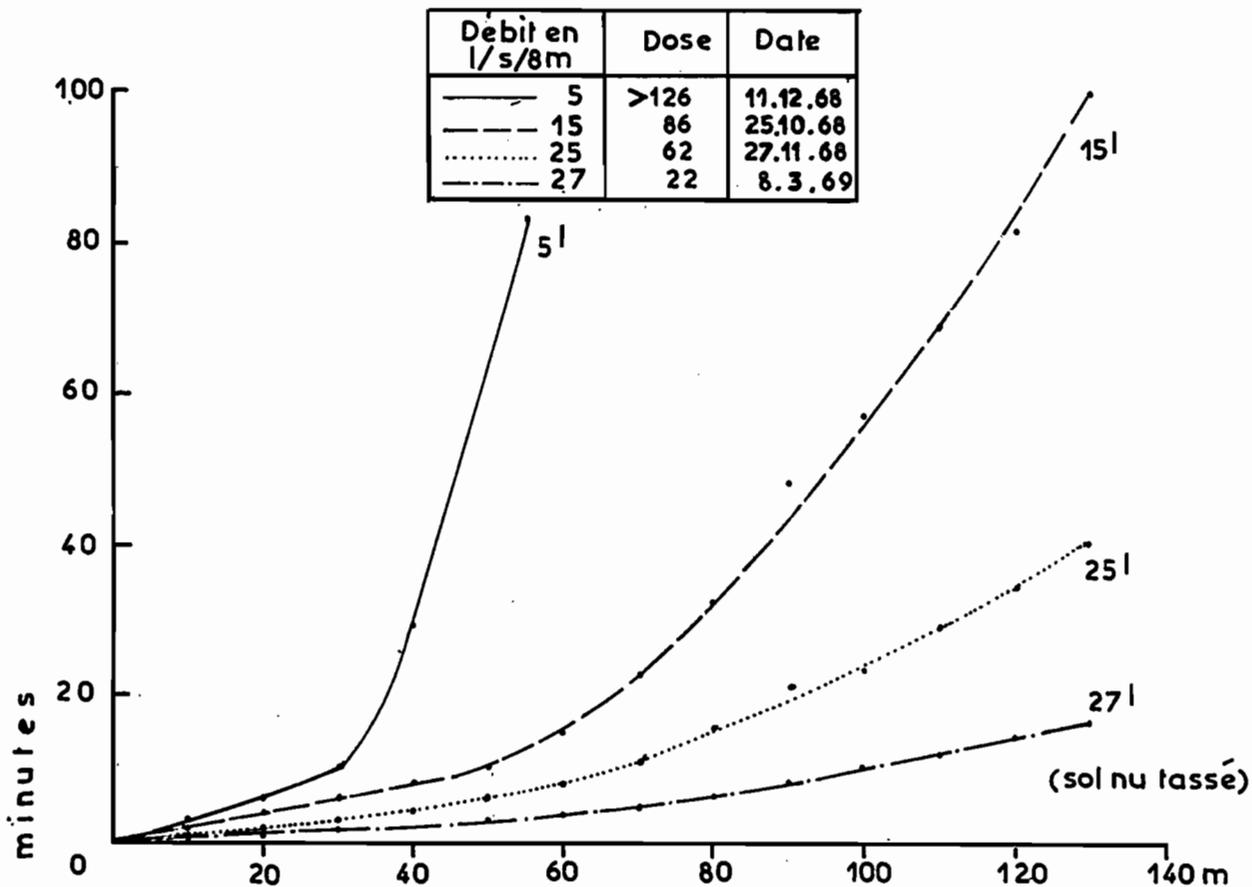


Date	Débit en l/s/8m	Dose en mm		Observations
		apportée	retrouvée	
----- 11.11.68	15	35	42	l'eau n'a pas dépassé 90 m
----- 27.11.68	25	41	47	
..... 11.12.68	5	113	> 108	
----- 7. 2.69	30	29	28	
----- 8. 3.69	27	13	12	

### Avancement de l'eau sur billons de 132m

Fig IIc-f19

Pente 8‰



Pente 12‰

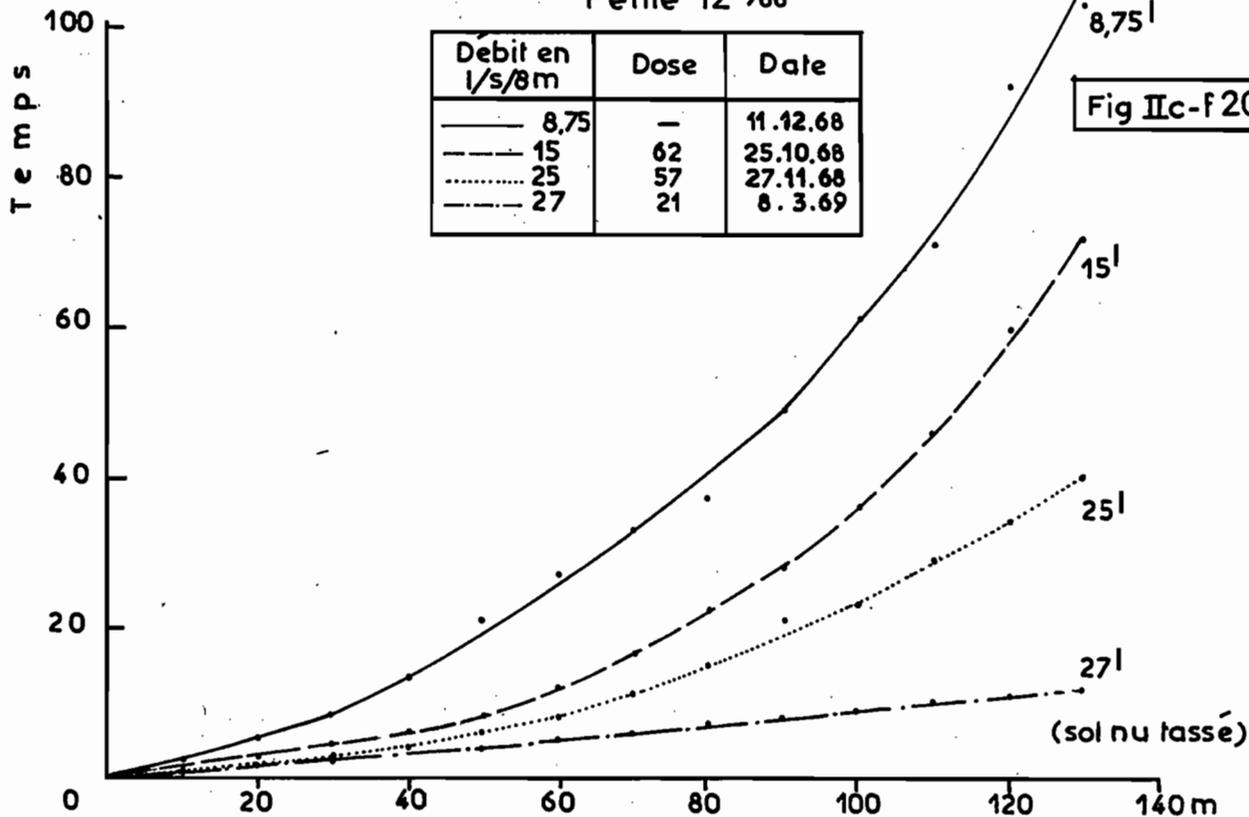
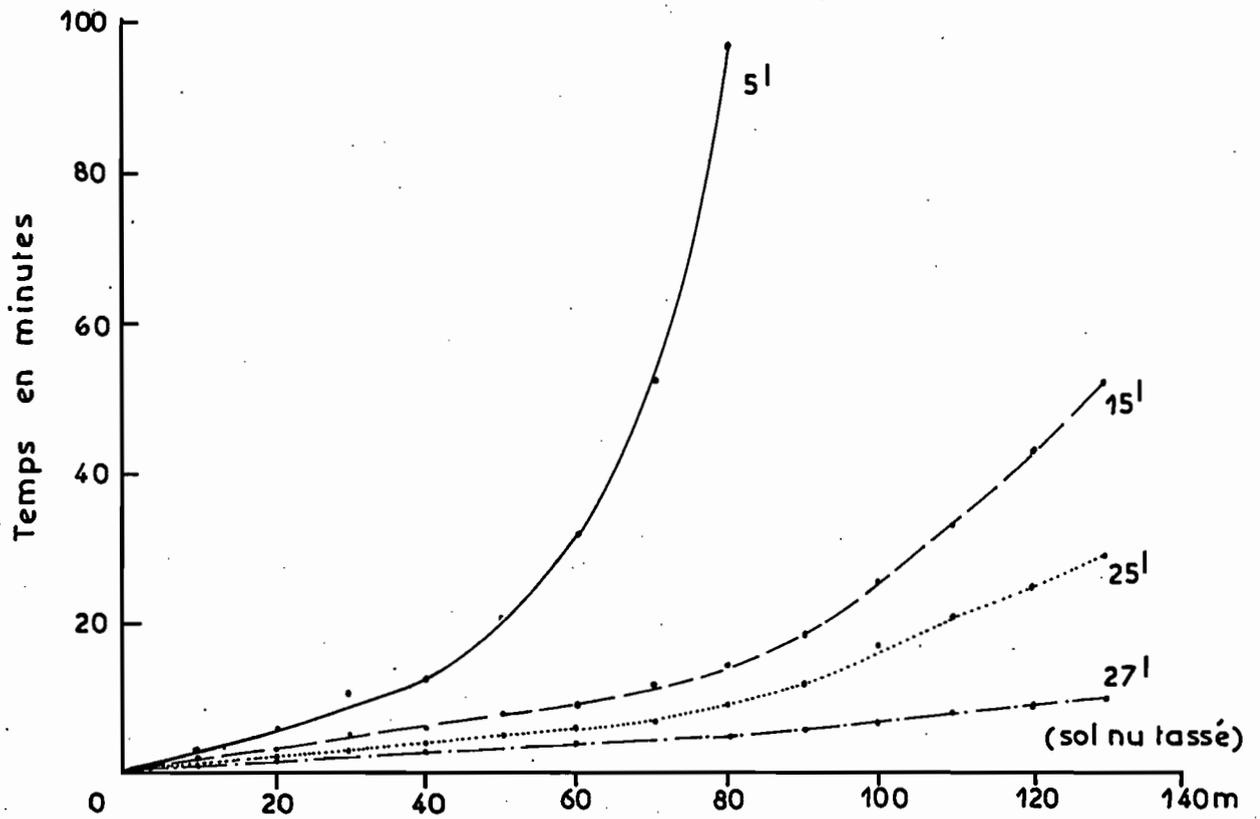


Fig IIc-f20

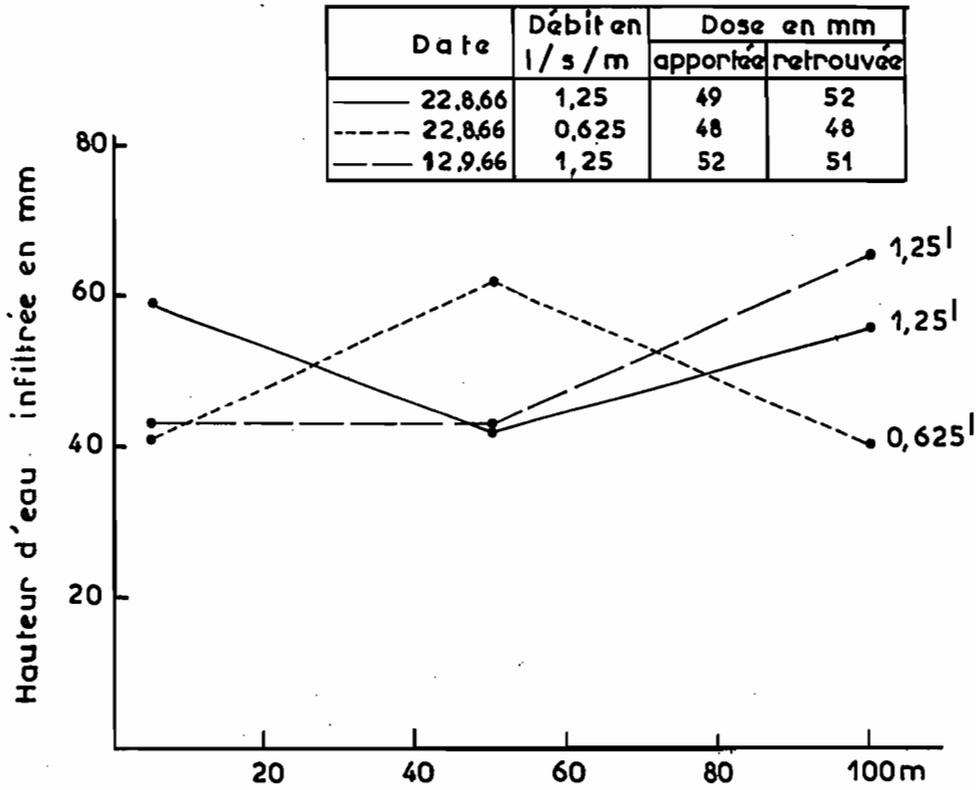
Avancement de l'eau sur billons de 132 m  
Pente 16‰



Débit en l/s/8m	Dose en mm	Date
5	113	11.12.68
15	45	25.10.68
25	41	27.11.68
27	13	8. 3.69

Répartition de l'eau pour des débits différents  
Planches de 105m  
Pente 2‰

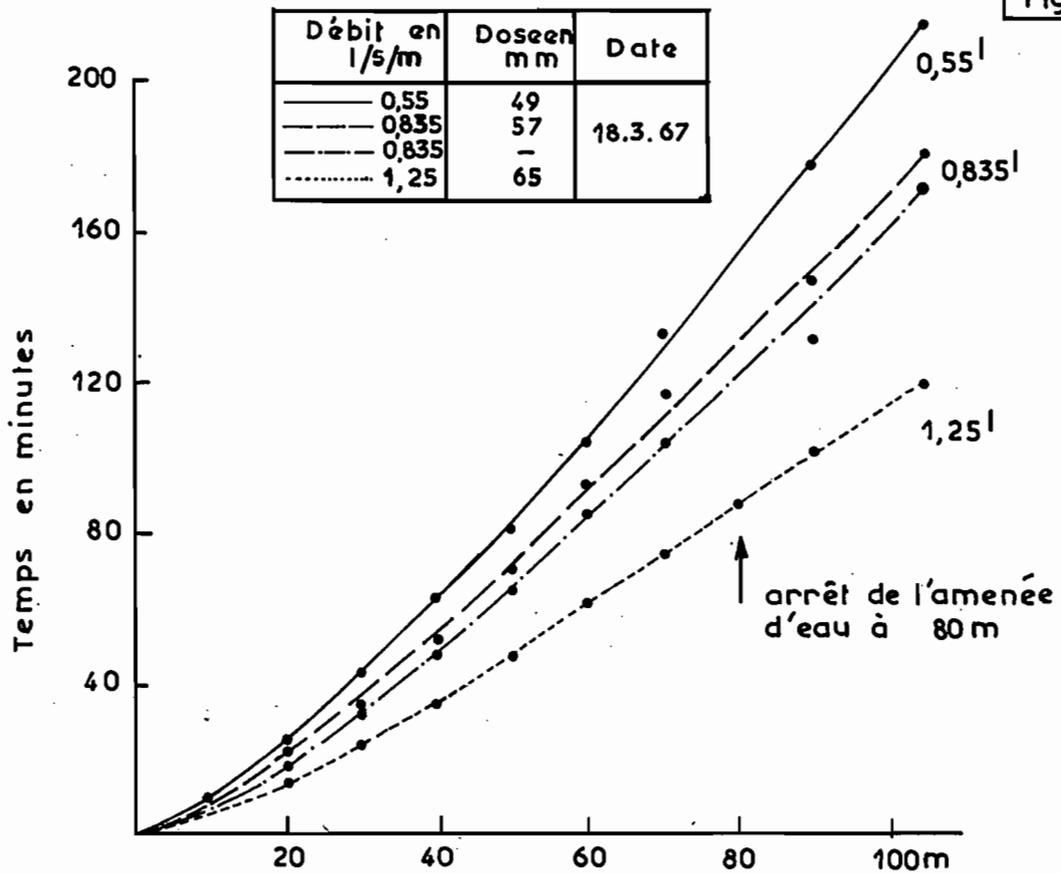
Fig IIc-f22



Avancement de l'eau sur planches de 105m

Pente 2‰

Fig IIc-f23



Répartition de l'eau pour des débits différents

Billons de 110m

Pente 2‰

Date	Débit en l/s/m	Dose en mm	
		apportée	retrouvée (3 jours après irrigation)
5.7.68	2,5	106	55
15.7.68	1,25	105	71

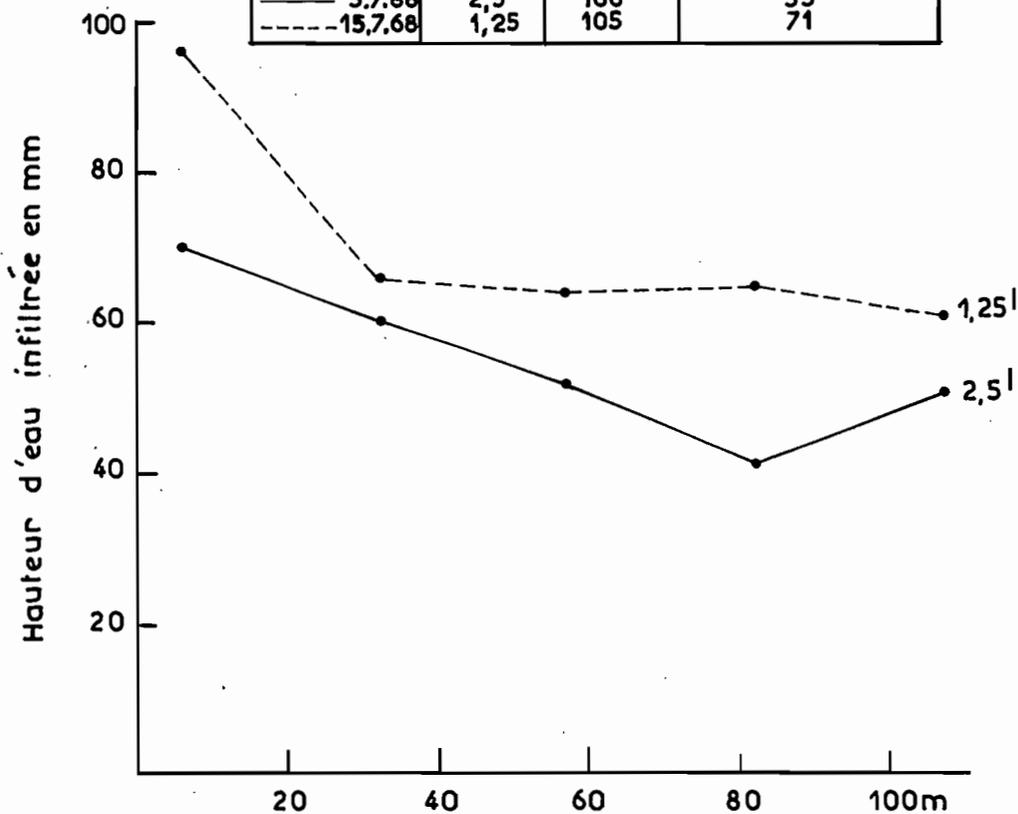
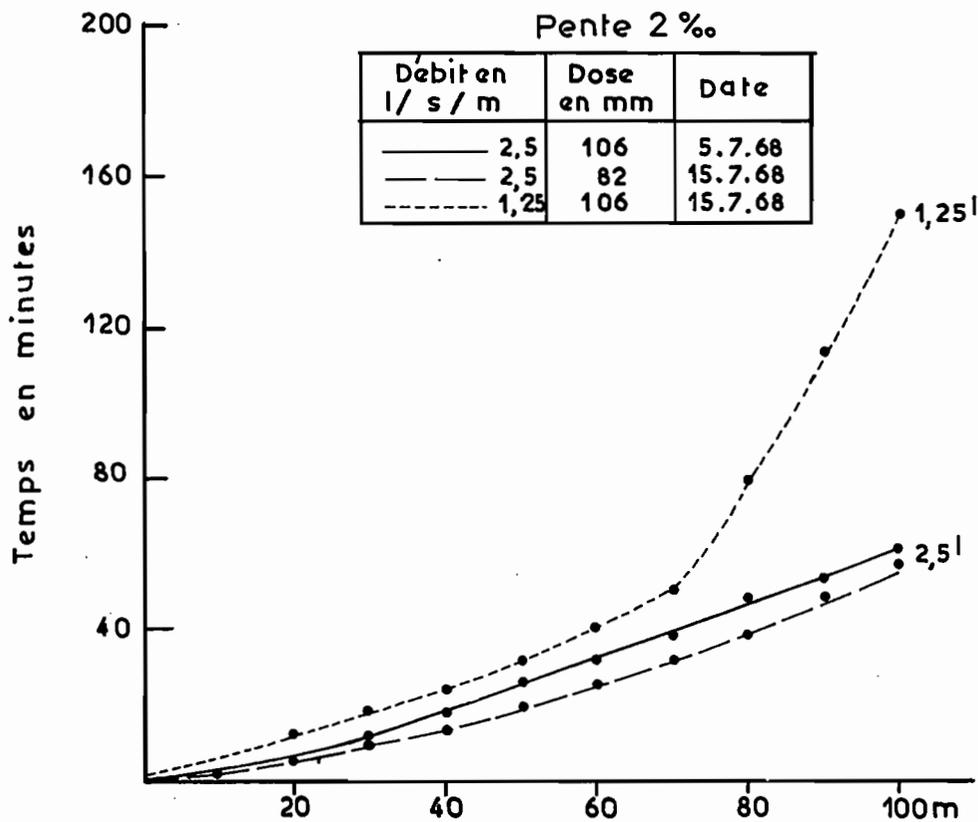


Fig II C-f25

Avancement de l'eau sur billons de 110m

Pente 2‰

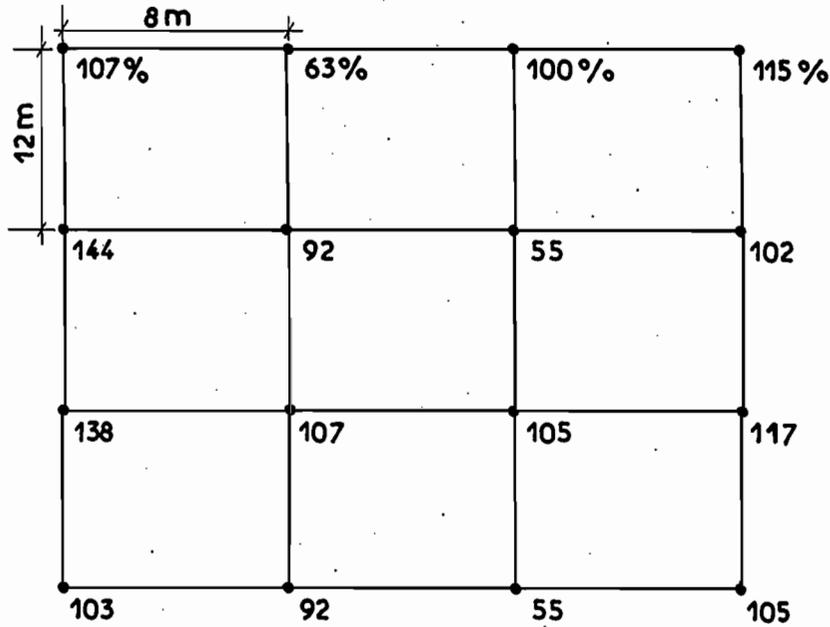
Débit en l/s/m	Dose en mm	Date
2,5	106	5.7.68
2,5	82	15.7.68
1,25	106	15.7.68



### Répartition de l'eau dans la partie centrale

Vitesse du vent 2 m/s. Asperseurs à 8 m sur 12 m.

Dose apportée 50 mm. Pluviomètre - partie centrale 38 mm



Vitesse du vent 5 à 8 m/s. Asperseurs à 6 m sur 12 m

Dose apportée 70 mm. Pluviomètre - partie centrale 49 mm

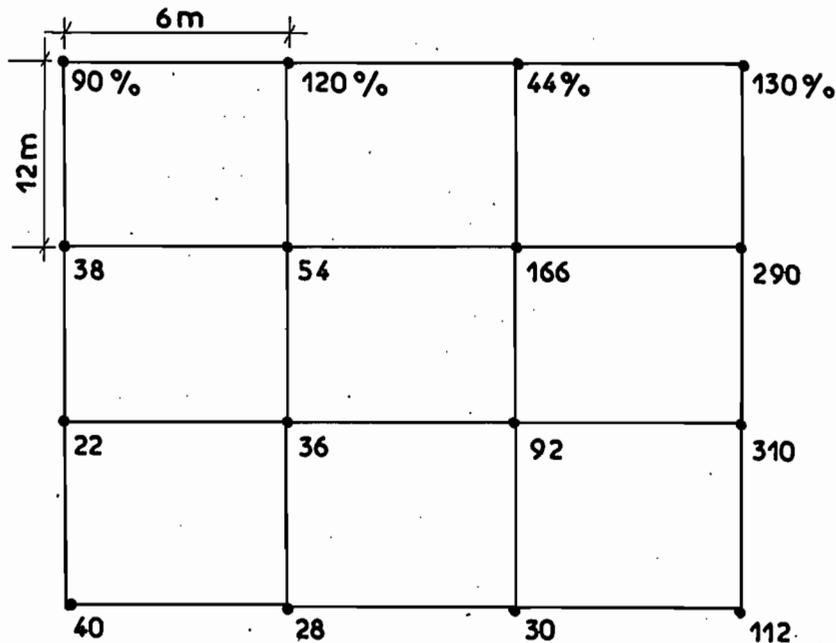
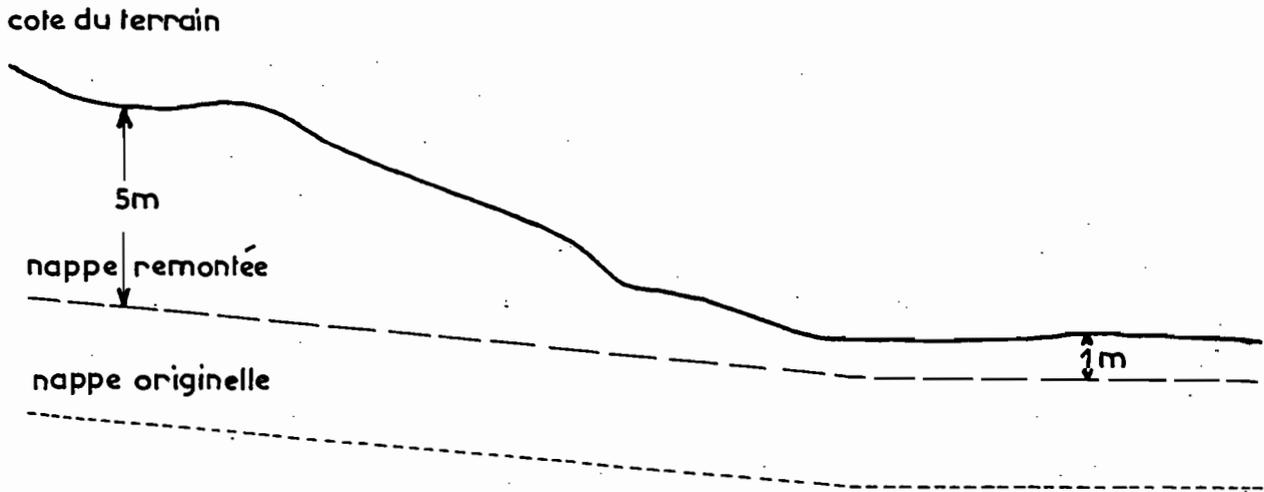
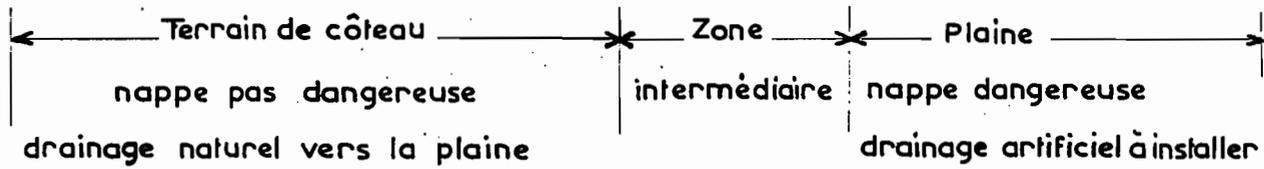


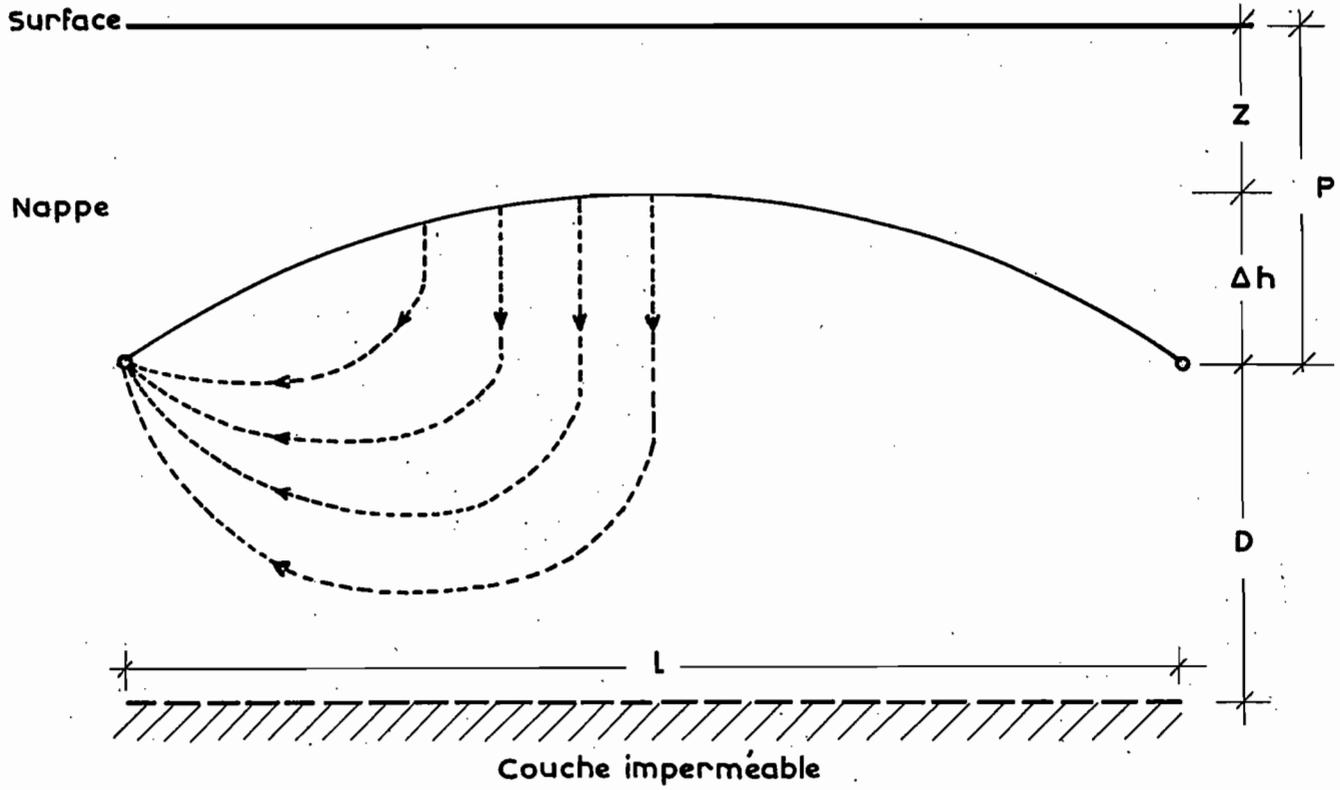
Fig IIc-f27

### Remontée de la nappe dans un périmètre irrigué et conséquence pour le drainage.



### Calcul de l'espacement des drains

$$l^2 = \frac{8 K d \times \Delta h}{s}$$



$$l^2 = \frac{4 K \times \Delta h^2}{s}$$

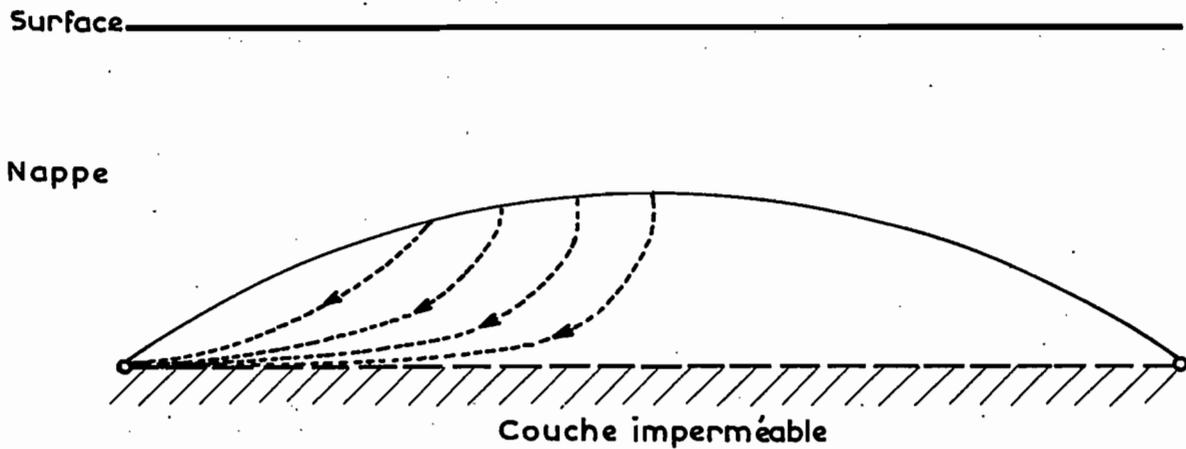
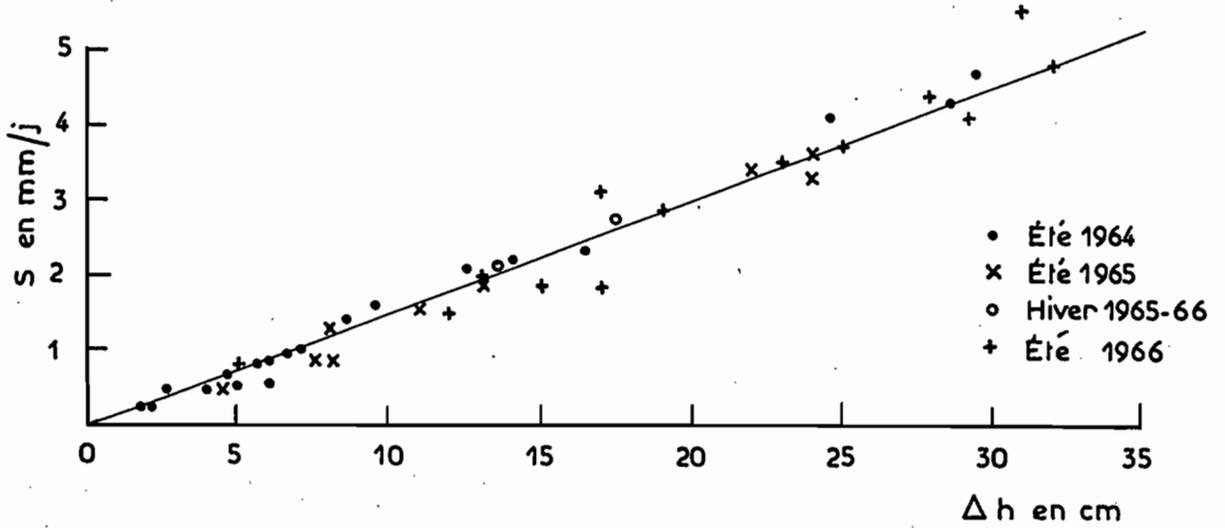


Fig IIc - f 29

Cherfech - Parcelle "Bilan"



Evolution de la nappe au cours de l'été 1966

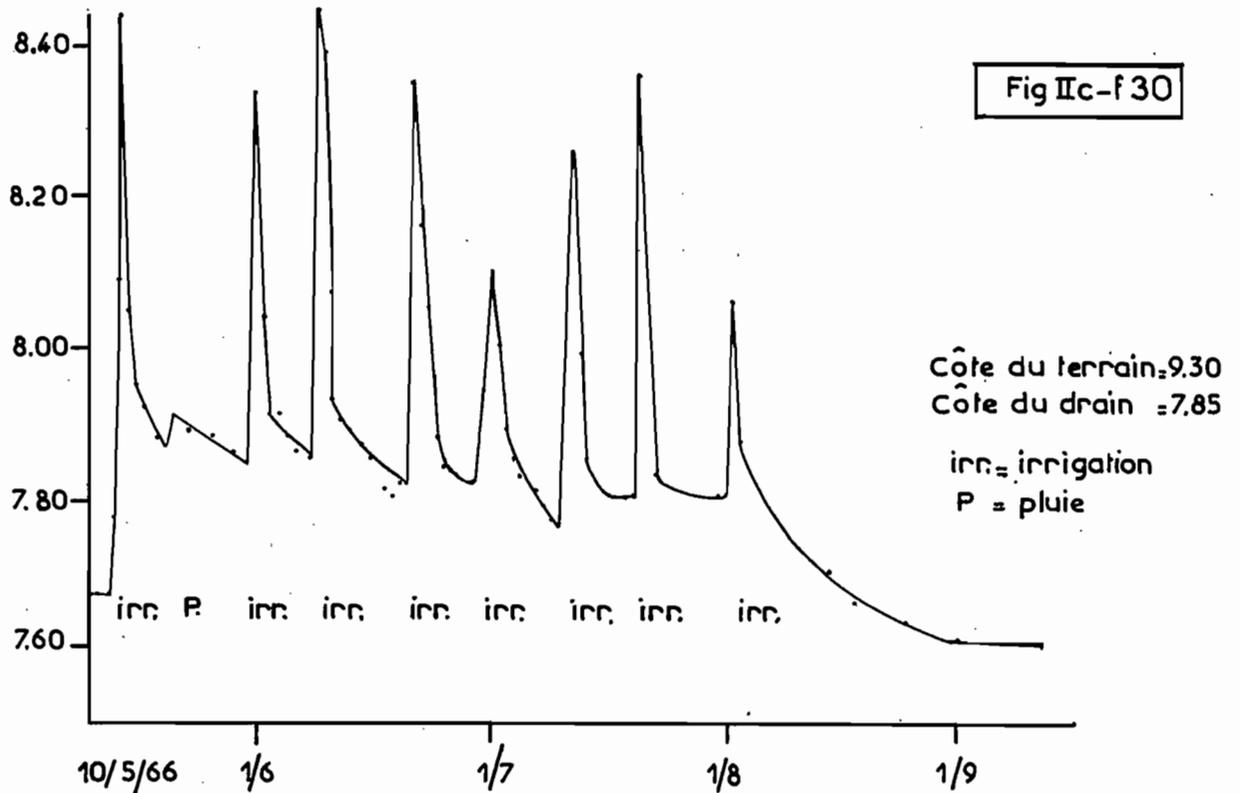
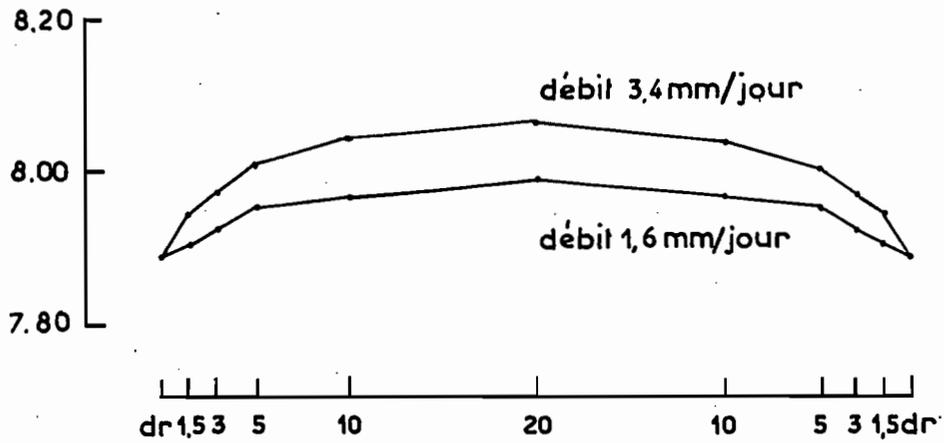


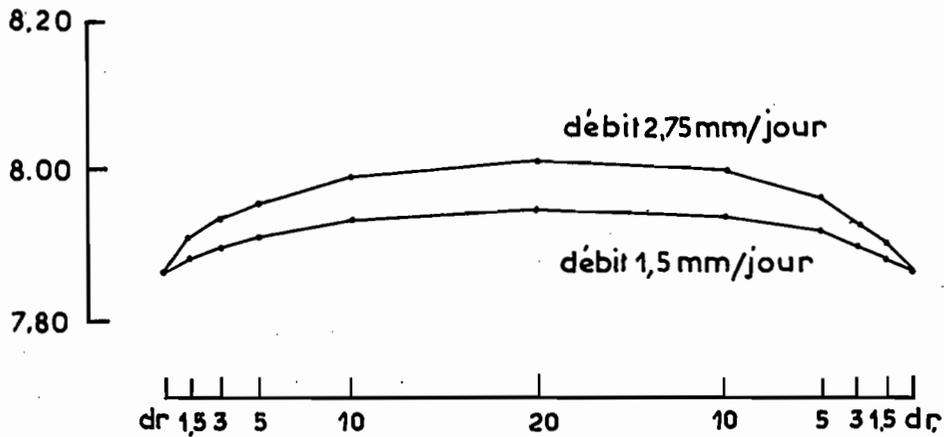
Fig IIc - f 30

### Cherfech - Parcelle "Bilan" Profil de la nappe

Moyenne des drains 7, 8 et 9



Moyenne des drains 11, 12 et 13



Tozeur — Parcelle — "Bilan"

Evolution de la nappe au cours de 1967 . Côte du terrain 18.35

