

(B) DDC. 22. 63

ETUDE HYDRO-AGRICOLE DU BASSIN DU FLEUVE SENEGLAL

Organisation des nations unies pour
l'alimentation et l'agriculture

Rapport de Mission

S.J. de Raad*

octobre 1969

Institut International pour l'Amélioration et la Mise en valeur
des Terres, Wageningen, Hollande

11403

Table des matières

Résumé	
Introduction	1
1. Aperçu récapitulatif	3
1.1 Les sols	3
1.2 La salinité et les conséquences d'un dessalement	4
1.3 Le dessalement par drainage "superficiel"	7
1.4 Les sols sulphatés acides	8
2. Le casier expérimental de drainage et de dessalement de la SAED à Boundoum Ouest	9
2.1 Remarques générales	9
2.2 Le dispositif expérimental	11
2.3 Protocole des essais	16
2.3.1 Partie pédologique	16
2.3.2 Partie "eaux de surface"	19
2.3.3 Partie "eaux souterraines"- drainage	19
2.4 Les amendements chimiques	20
2.5 Les essais de dessalement par lessivage de surface à Boundoum Ouest	21
3. Le casier expérimental de Richard-Toll	23
3.1 Remarques générales	23
3.2 Le fonctionnement des drains	26
3.2.1 Le fonctionnement des drains enterrés	26
3.2.2 Les fossés à ciel ouvert	27
3.3 Le mouvement vertical des eaux	28
3.3.1 La percolation en profondeur	28
3.3.2 Le mouvement vertical d'eau comme mesuré par la sonde à neutrons	30
3.3.3 La vitesse d'infiltration des sols	31
3.3.4 Les quantités de percolation	32
3.4 Estimation de l'espacement des fossés à ciel ouvert	33
3.4.1 La perméabilité horizontale	33
3.4.2 Le calcul de l'espacement	36
3.4.3 La transmissibilité et la porosité effective calculées à l'aide des résultats des essais de drainage	36

Annexe 1

Calcul des espacements des drains ou des fossés

Annexe 2

Dispositif expérimental au casier expérimental à Boundoum Ouest

Annexe 3

Calendrier des essais au casier expérimental à Boundoum Ouest

Annexe 4

Calendrier des mises en eau et mesure de l'essai de dessalement
"superficiel" à Boundoum Ouest



Résumé

1. Aperçu récapitulatif; basé sur des rapports existants et des discussions avec l'équipe sur place

Les sols du delta sont d'une texture fine. En surface on trouve des argiles gonflantes, peu perméables en état mouillé. Les argiles reposent fréquemment sur une couche de sable fin plus perméable permettant un drainage profond.

La plupart des sols est salée. La salure est d'une origine marine. Les sols salés contiennent un relativement grand pourcentage de sodium et de magnésium échangeable et ils ne contiennent pas de chaux. Ils doivent donc être classés comme des sols "salés à alcali".

L'évolution vers un sol "non salé à alcali" dans le cours du lessivage est bien probable.

Le pH des sols du delta est dans l'ordre de 6. Pour la riziculture on est intéressé principalement à la diminution de la teneur en sel et pas tellement à une structure favorable du sol.

Les expériences faites dans le delta et en Casamance montrent qu'un système simple de submersion et de vidange, sans prévoir un certain drainage en profondeur, n'a pas un grand effet dessalant.

Les sols dans le delta sont en principe des sols sulphatés, plus ou moins, acides.

Nous croyons qu'on n'a pas à craindre une nouvelle acidification d'importance dans les couches supérieures du sol à la suite de l'installation d'un système de drainage profond.

2. Casier expérimental de drainage et de dessalement de la SAED à Boundoum Ouest

Le projet d'un casier expérimental de dessalement et de drainage, grand de 70 ha, a été mis au point pendant notre mission.

Le but de ce casier est d'obtenir des renseignements sur le dessalement des sols argileux salés, ayant une couche de sable fin à faible profondeur, au moyen d'un drainage profond à une échelle pratique.



On a prévu trois traitements du point de vue du drainage:

	espacements des fossés en mètres	profondeur des fossés en mètres
1	200	1,50
2	100	1,50
3	100	1,00

Pour faciliter l'infiltration on a proposé un système de mise en eau, suivie immédiatement d'une vidange de l'eau de surface et une période de ressuyage pour que le sol puisse retrouver sa possibilité d'infiltration.

On mesura:

- les fluctuations du niveau de la nappe mesurées dans des piézomètres
- le débit de drainage
- le débit de vidange
- le débit d'irrigation
- le mouvement d'eau en sens vertical à l'aide des sondes potentielles
- l'évolution de la salure dans le sol
- la teneur en sel des eaux d'irrigation, drainage, vidange et de la nappe
- l'humidité du sol
- le pH du sol
- la distribution granulométrique du sol.

On a prévu en même temps un essai d'amendements de 5 tonnes de gypse et un autre de 3 tonnes de chaux, faits chacun sur un terrain d'un demi-hectare. L'IRAT effectuera des essais de dessalement par lessivage de surface sur un terrain d'un hectare à Boundoum.

La SAED a commencé les travaux d'aménagement au mi-juillet 1969.

3. Le casier expérimental de Richard-Toll

Une étude des fluctuations du niveau de la nappe en fonction des irrigations a révélé qu'il existe en général une percolation d'eau en profondeur.

Les quantités de percolation dépassent les exigences d'un contrôle de la salure.

Un débit de drainage d'environ 1 mm/jour en moyen semble nécessaire pour les terrains qui reçoivent des irrigations suffisantes.

D'une estimation résultent les espacements suivants des fossés de drainage (2 m de profondeur):

- pour les sols argileux	30 m
- pour les sols sablo-limoneux	120 m
- pour les sols ayant des couches alternantes d'argile et de sable limoneux	80 m.

Le fonctionnement défectueux des drains enterrés au casier expérimental résulte surtout des dépôts de rouille de fer et de terre dans les tubes.

L'application des drains enterrés ne semble possible qu'à condition qu'on les nettoie fréquemment.

1.3 Dessalement par drainage "superficiel"

Dessalement par drainage "superficiel" à Boundoum

En vue d'un dessalement des sols peu perméables, on a envisagé et essayé la possibilité d'un dessalement par un drainage "supericiel", c'est à dire par la submersion du terrain suivie de la vidange de l'eau de surface, chargée en sel. Il paraît que ce système n'est intéressant que pour les sols légèrement salés où on peut cultiver du riz tout en dessalant le sol de cette façon. Les essais de dessalements de l'IRAT à Boundoum et les observations faites par M. Beye* montrent clairement le mécanisme. Pendant l'humidification du sol, une partie des sels à la surface descend de 20 ou de 30 cm. L'eau de surface se charge légèrement de sel. Ce sel est évacué par une vidange. Aussitôt que le sol est mis à sec, le sel en profondeur remonte par transport capillaire rendant le sol aussi salé qu'avant.

Dessalement par drainage "superficiel" en Casamance**

A la demande du directeur du projet on a étudié le dessalement des 'sols de mangrove' en Casamance.

On a constaté que les sols récents de mangrove peuvent être dessalés en quelques semaines de sorte qu'on peut y cultiver du riz. Les conditions sont les suivantes:

Il s'agit d'un sol récent de mangrove le long des marigots dont le niveau d'eau dépend des marées; les terrains sont inondés à marée haute. L'eau des marigots est salée pendant la saison sèche et devient plus ou moins douce pendant l'hibernage en fonction de la distance, qui les sépare de la mer. La pluviométrie annuelle est de 1500 mm.

Les cultivateurs Casamançais font des billons d'environ 30 cm de hauteur et de 60 à 70 cm de largeur et laissent les terrains aux inondations. Dès que des pluies fortes s'imposent, l'eau des marigots devient douce et les terrains sont inondés deux fois par jour par l'eau douce. A marée basse l'eau dans les billons coule vers les sillons et entraîne les sels.

* Rapport IRAT, M. Gora Beye, 1967 et 1968.

** Rapport de gestion des casiers-pilotes de Medina et de Dieba, juillet 1965 - juillet 1967, ILACO.

L'ILACO a proposé de creuser des petits fossés d'un mètre de profondeur à des intervalles de 50 et de 100 mètres afin d'améliorer la circulation des eaux de marées.

Les sols récents de mangroves sont très spongieux à cause de racines de mangrove et de l'action des petits animaux et par conséquent ils sont très perméables.

Dans les sols plus anciens de mangroves, des rigoles peu profondes (0,40 m), creusées à des intervalles de 20 mètres, ont un effet dessalant. Il sera difficile d'évaluer l'efficacité du dessalement par diffusion par rapport au dessalement à cause d'un mouvement d'eau à travers le sol pour les conditions en Casamance. Cependant, le fait qu'un billonnage et un système de rigoles peu profondes favorisent le dessalement tellement, qu'une culture de riz devient possible, signifie que le mouvement de l'eau à travers le sol est indispensable.

Les conséquences des expériences Casamancaises pour les sols du delta

Les sols du delta sont beaucoup moins perméables que les sols de mangroves en Casamance et leur aménagement d'eau est indépendant des marées. En plus, la pluviométrie du delta (300 mm par an) est beaucoup plus faible que celle de la Casamance.

Un billonnage des sols du delta - une submersion totale suivie d'une vidange, répétée plusieurs fois - n'aura pas le même effet dessalant qu'en Casamance. En plus cette méthode demande d'énormes quantités d'eau. Néanmoins il pourrait être utile de l'appliquer à petite échelle en guise d'expérience. Ainsi l'IRAT fera des expérimentations à Boundoum selon cette méthode de dessalement.

1.4 Les sols sulphatés acides

A une profondeur de 1 mètre à 1,50 mètre on trouve souvent des sols à tendance sulphatés acides. Le pH dans ces profils peut parfois descendre à 4. En général un sol à tendance sulphaté acide, peut montrer une acidification prononcée une fois qu'il est drainé, c'est à dire aéré.

Pendant la saison sèche cependant la nappe phréatique descend déjà à 1.50 ou 2 m sous le terrain. Une certaine aération peut donc être supposée. Par conséquent on croit qu'on n'a pas à craindre une nouvelle acidification d'importance dans les couches supérieures du sol à la suite de l'installation d'un système de drainage.

2. Casier expérimental de drainage et de dessalement de la SAED à Boundoum Ouest

2.1 Remarques Générales

La SAED, Société d'Aménagement et d'Equipement du Delta, a demandé à la FAO d'apporter sa contribution aux expériences de dessalement et de drainage dans la cuvette de Boundoum Ouest.

La mise au point d'un nouveau dispositif expérimental et d'un protocole d'expériences en collaboration avec l'équipe sur place a été un point important pendant notre mission.

Un projet détaillé du casier expérimental, fait par le bureau d'étude de la SAED à Paris, était disponible au commencement de notre mission. Une étude pédologique plus détaillée effectuée par l'équipe de la FAO sur place avait révélé que l'emplacement du casier expérimental était défavorable du point de vue drainage parce qu'on y trouvait des argiles jusqu'à une profondeur considérable. C'est ainsi qu'on a déplacé le casier expérimental dans une partie de la cuvette de Boundoum ayant une couche sableuse à faible profondeur. Ce type de sol est rencontré fréquemment dans le delta.

La SAED a commencé les travaux d'aménagement à la mi-juillet.

Situation

La cuvette de Boundoum Ouest se situe entre les marigots Gorom et Lampsar. Le casier expérimental se trouve dans la partie Nord-Est de la cuvette, à quelques kilomètres du village Boundoum Barrage.

La pluviométrie annuelle est dans l'ordre de 300 à 350 mm. De novembre jusqu'en juillet la sécheresse est complète.

La cuvette de Boundoum Ouest est plane. La cote se situe entre + 0.80 et + 1.00 IGN.

Pédologie (d'après communication de l'équipe sur place)

La partie Est de la cuvette où se trouve le casier expérimental comprend des sols avec une couche argileuse d'environ 40 cm en surface. En dessous cette couche argileuse on trouve une couche de sable fin de quelques mètres d'épaisseur.

La vitesse d'infiltration mesurée dans la couche argileuse en état mouillé est extrêmement faible ou zéro. La perméabilité horizontale mesurée dans la couche sableuse au moyen de la méthode du trou à la tarière est 1 m/jour.

A faible profondeur (1 m) on trouve des sols à tendance sulfatée acide (anciens sols de mangroves) (étude pédologique de l'IRAT).

La salure (chiffres extraits du Rapport Gora Beye, 1967, IRAT)

Les sols sont salés ou bien fortement salés (15 à 80 millimhos extrait pâte saturée). L'extrait d'eau du sol est surtout riche en Cl^- et SO_4^{--} comme des an-ions. Parmi les cat-ions, le sodium constitue la presque-totalité et le Mg est beaucoup plus abondant que le Ca.

$$\begin{aligned}\text{Rapport } \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{--} &= 4 - 16 \\ \text{Rapport Ca/Mg} &= \frac{1}{2} - \frac{1}{5} \\ \text{Rapport } \frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}} &= 2 - 6\end{aligned}$$

La teneur du sol en chaux est nulle. A une profondeur de plus de 50 cm on trouve parfois des cristaux de gypse.

Les ions échangeables

12 analyses du complexe adsorbant de 4 points différents, donnent en moyenne pour les argiles lourdes ($50\% < 2\mu$): une capacité d'échange de 25 me/100 gr.

% des différents ions au complexe adsorbant:

Na	41%
Mg	17%
Ca	7%
K	5%

Les chiffres cités sont le résultat de quelques analyses seulement. Ils n'ont qu'une valeur indicative. Les quantités d'ions au complexe adsorbant sont en général déterminées comme étant la différence entre teneur totale en sel et la teneur en sel de l'extrait d'eau du sol.

Les quantités totales des cat-ions dans les sols fortement salés étant 4 ou 5 fois plus grandes que les quantités des cat-ions adsorbés à l'argile, une erreur relativement petite dans la teneur totale du sol en

cat-ions, et la teneur en cat-ions de l'extrait d'eau du sol, donne une erreur considérable pour les quantités calculées pour le complexe adsorbant. Les analyses, même si elles n'étaient pas très précises, montrent un sol, qui pourra s'évoluer vers un sol 'non salé' à alcali' ou un sol 'sodique'. En plus on a constaté au laboratoire que les argiles de Boundoum gardent une certaine perméabilité quand on fait percoler de l'eau de mer, tandis que la perméabilité devient nulle quand on fait passer de l'eau douce.

Cette expérience indique également que le sol soit 'salé à alcali'.

La maîtrise de l'eau dans la cuvette

Depuis quelques années il existe un aménagement rudimentaire dans la cuvette de Boundoum Ouest qui permet une maîtrise partielle de l'eau.

Avant, la cuvette était inondée chaque année à partir de septembre par les eaux de la crue du fleuve Sénégal. Il n'y avait pas de possibilités de vidange. Par conséquent les eaux évaporaient.

2.2 Le dispositif expérimental (voir ANNEXE 2)

Le but du casier expérimental est d'obtenir des renseignements sur le dessalement au moyen d'un drainage profond à une échelle pratique, principalement en vue d'une culture de riz.

Pour éviter les difficultés rencontrées au casier expérimental de Richard-Toll à cause d'un comblement des drains enterrés, on a choisi des fossés à ciel ouvert.

Quant à l'espacement des fossés; plus l'espacement est étroit, plus le débit de drainage est grand.

Cependant, l'installation d'un système de drainage adapté exclusivement aux exigences du dessalement initial revient trop cher.

La conséquence en est qu'on adapte le système de drainage aux besoins du sol, partiellement dessalé, une fois cultivée de riz.

Un débit de drainage de quelques mm/jour semble être suffisant dans ce cas. Le débit de drainage est proportionnel à la différence entre le niveau de la nappe au milieu de la parcelle et le niveau d'eau dans le fossé. Une profondeur faible des fossés aboutit à des espacements étroits. En plus, on risquait une résalinisation capillaire trop prononcée.

En se basant sur les considérations mentionnées ci-dessus, nous avons prévu trois combinaisons différentes d'espacement et de profondeurs des fossés:

Traitemen	Espace	Profondeur
I	200 m	1,50 m
II	100 m	1,50 m
III	100 m	1,00 m

On a choisi une parcelle de mesure et deux parcelles de garde pour le traitement I et deux parcelles de mesure et deux parcelles de garde pour chaqu'un des traitements II et III.

Un groupe de parcelles ayant le même espacement et la même profondeur des fossés, sera mis en eau en même temps et l'eau de surface sera vidangée en même temps. La mise en eau et la vidange des parcelles du traitement I exigeront les débits les plus grands, soit respectivement 180 et 216 litres/sec.

Pour faciliter l'infiltration, on a proposé un système de mise en eau suivie d'une vidange immédiate de l'eau de surface, pour que le sol puisse retrouver sa possibilité d'infiltration pendant la période de ressuyage. Un calendrier des essais et des mesures est joint comme annexe 3.

Observations

Dans les grandes parcelles on peut mesurer les effets des diverses types de traitement. Mais les résultats ne donneront pas beaucoup de renseignements sur le mécanisme des mouvements des sels et des eaux. Afin de connaître ce mécanisme, c'est à dire d'interpréter mieux les résultats des grandes parcelles, il faudrait dispercer de quelques petites parcelles ayant des fossés à un intervalle de 20 à 30 mètres où on peut faire des essais supplémentaires hors de la routine.

Introduction

Notre mission s'est déroulée pendant les mois de juin et de juillet.

28 mai	Voyage Amsterdam - Rome
29 et 30 mai	Discussions avec M. Grehan au siège de la FAO à Rome
31 mai	Voyage Rome-Dakar-Saint Louis
31 mai - 25 juin	Séjour à Saint Louis et à Richard Toll
25 juin - 28 juin	Ziguinchor, Casamance Maritime Visites aux casier-pilotes de Medina et de Dieba
29 juin - 1 août	Séjour à Saint Louis et à Richard Toll
2 août	Voyage Dakar - Rome
4 et 5 août	Discussions avec MM. Grehan et Audibert au siège de la FAO
5 août	Voyage Rome - Amsterdam

Les termes de référence étaient formulés comme suit:

"To advise on and execute a programme of experiments, initially prepared by Mr. P.J. Dieleman, consultant (International Institute for Land Reclamation and Improvement), aimed at improving knowledge of land drainage in the Delta of the Senegal River and formulating drainage techniques for future irrigation schemes in that area".

Après quelques discussions avec l'équipe sur place le travail a été concentré sur deux points:

1. L'élaboration et la précision - comme M. Dieleman l'a demandé - des idées exprimées dans son rapport au moyen d'une analyse plus détaillée des résultats obtenus au casier expérimental de Richard-Toll et au moyen des essais supplémentaires.
2. L'aide dans la préparation du casier expérimental de dessalement et de drainage à Boundoum Ouest.

Pour l'exécution du premier point du programme M. Tran Minh Duc, ingénieur de génie rural de l'IRAT (Institut de Recherche Agronomique Tropicale et des Cultures Vivières) et M. Mutsaar, pédologue de l'IRAT, ont bien voulu donner leur collaboration importante et appréciée. La préparation du casier expérimental pour le dessalement à Boundoum Ouest s'est faite en collaboration étroite avec M. Audibert, hydro-géologue du projet, M. Thirion, pédologue du projet, M. Assor, ingénieur de génie rural de la SAED (Société d'Aménagement et Equipment du Delta) et M. Mutsaar de l'IRAT.

Au cours de notre visite en Casamance, organisée sur la demande de M. Grolec, directeur du projet, nous avons pu avoir des discussions très utiles avec MM. Charreau et Beye de l'IRAT et avec MM. Schroo et Croon de l'ILACO (International Land Development Consultants).

A la fin de cette mission nous avons discuté les résultats obtenus avec M. Moussu, consultant d'hydro-géologie.

Sur la demande de M. Grolee au cours de cette mission un rapport provisoire a été rédigé sur le projet du casier expérimental de dessalement de Boundoum Ouest en vue d'une exécution immédiate. L'aide apportée par M. Juton, hydraulicien du projet, à la rédaction de ce rapport provisoire a été fortement appréciée.

Le rapport contient trois chapitres:

- ch. 1 Un aperçu récapitulatif des facteurs sol et salure basé sur des rapports existants et des discussions avec l'équipe sur place.
- ch. 2 Le projet du casier expérimental de drainage et de dessalement à Boundoum Ouest.
- ch. 3 Une analyse des résultats des essais de drainage obtenus au casier expérimental de canne sucre de Richard Toll.

1. Aperçu récapitulatif

1.1 Les sols

Le delta et la basse vallée du Sénégal se sont formés sous des influences marines et fluviatiles. Il y a environ 5000 ans la mer les avait envahis et transformés en golfe peu profond s'étendant jusqu'à Bogué dans lequel se trouvait déposée une couche de vase, surmontée de sable fin provenant des dunes arasées.

Au fur et à mesure que ce golfe a été colmaté, l'influence des sédiments fluviatiles est devenue plus importante. Une longue série de levées s'est édifiée le long des différentes branches du fleuve. A des endroits, plus éloignés du fleuve et plus tranquilles, des argiles se sont déposés (les cuvettes).

Une végétation de mangroves (palétuviers) a dû exister à cette époque. Cette végétation de palétuviers a disparu; les crues du fleuve sont probablement devenues plus faibles et une série de levées secondaires, plus basses s'est édifiée, tandis que le dépôt des argiles dans les cuvettes a continué jusqu'à l'endiguement récente de la partie Sénégalaise du delta et continue encore pour le reste du delta et la vallée, où les parties basses sont inondées chaque année pendant la crue qui, commençant au mois d'août, dure jusqu'au mois de novembre.

La concomitance d'influences marine et fluviatile cause toujours une sédimentation assez complexe. Seules les parties un peu plus basses et plus éloignées des branches du fleuve et des criques sont relativement homogènes. La distinction suivante, importante du point de vue de la géomorphologie se base sur le phénomène indiqué ci-dessus:

- 1) les sols des zones plus basses de "décantation" d'argiles: les cuvettes
- 2) les sols des autres zones, dites "fluvio-deltaïques".

La sédimentation en milieu lagunaire sous un climat relativement sec, a faire naître une région présentant un grand pourcentage de sols salés ou légèrement salés, dans lesquels les sels sont d'origine marine.

Un aspect important des sols dans le delta est le fait qu'ils ne contiennent pas de chaux.

Les sols du delta sont, pour la plupart, des argiles qui se gonflent pendant l'humidification et se fendillent en séchant.

Les fentes de retrait peuvent avoir une profondeur de 50 à 60 cm. On a constaté que la vitesse d'infiltration est assez bon pour les argiles sèches. A la suite d'une humidification la vitesse d'infiltration se diminue fortement, parfois même jusqu'à 0.

Les résultats des analyses faites au laboratoire de Géologie de Strasbourg (voir: la publication de M. P. Michel, de l'Université de Dakar) montrent que les argiles sont formés d'un mélange de kaolonite, illite et montmorillonite. Ce résultat s'accorde à la capacité d'échange de 20 à 30 meq/100 gr, observée pour les sols du delta.

Les argiles reposent fréquemment sur une couche de sable fin. Les perméabilités horizontales de ce sable fin mesurées en milieu saturé selon la méthode du trou à la tarière est dans^{l'}ordre de 1 m/jour. Les perméabilités des argiles est^{l'}ordre de 0,05 m/jour. Dans les cuvettes en particulier on peut trouver des superficies considérables ayant une couche sableuse de quelques mètres, surmontée d'une couche argileuse d'une épaisseur inférieure à 50 cm. En plus les sols des cuvettes sont très homogènes, ce qu'on peut constater en suivant les fossés d'assainissement. Un drainage de ces sols ayant une couche de sable fin à faible profondeur semble relativement facile.

Les sols "fluvio-deltaïques" sont composés des mêmes matières que les sols cuvettes, toutefois ils sont plus hétérogènes.

1.2 La salinité et les conséquences d'un dessalement

La plupart des sols du delta est salée ou même fortement salée. Une nappe très salée, dont la composition rappelle celle qu'on constate dans l'eau de mer se trouve à faible profondeur. La nappe fluctue en fonction de la saison entre 0 et 2 mètres sous le terrain.

Les ions les plus importants dans l'extrait d'eau du sol sont Mg^{++} , Na^+ et Cl^- . Des efflorescences de sel peuvent être observées partout dans les profils des sols salés ainsi qu'à la surface de la terre. On voit fréquemment des taches ayant l'air d'être humide; sans doute, il s'agit de sels hygroscopiques comme le chlorure de magnésium et le chlorure de calcium. On a fait mention de la présence de cristaux de gypse à des profondeurs de 60 à 100 cm.

Les analyses mentionnées dans certains rapports pédologiques pour Kassak, Boundoum et Richard-Toll-Diovol, donnent la composition globale des cations au complexe adsorbant du sol, ou des cations échangeables. Pour les sols non salés (conductivité électrique dans l'extrait de la pâte saturée < 4 mmhos) ou légèrement salés on a trouvé:

Na ⁺	10%
Mg ⁺⁺	32%
Ca ⁺⁺	32%
K ⁺	3%
H ⁺	25% (H = hydrogène)

Pour les sols salés et fortement salés le pourcentage de sodium échangeable peut aller jusqu'à 40

Le rôle du sodium échangeable

En général on peut dire que le dessalement des sols 'salés' contenant un pourcentage faible (< 15%) de sodium échangeable ne pose pas de problèmes particuliers. Au contraire les sols 'salés à alcali', qui ont plus de sodium échangeable (> 15%), peuvent s'évoluer à la suite d'un dessalement vers un sol 'non salé à alcali', ou bien un sol 'sodique'. Dans ces sols les argiles sont fortement dispersées. La structure en est très mauvaise et la perméabilité peut se réduire à zéro.

Le pH des sols 'non salés à alcali' est fréquemment au dessus de 8,5, à moins qu'ils ne contiennent pas de chaux.

Les sols salés du delta montrent souvent un pourcentage de sodium échangeable nettement supérieur à 15. En appliquant la classification américaine ils doivent donc être classés comme des sols 'salés à alcali'.

En appliquant rigidement cette classification, on trouve parmi les sols non 'salés' du casier rizicole de Richard-Toll que peu de sols 'non salés à alcali'. Etant donné que la limite de 15% de sodium échangeable est assez arbitraire on peut dire quandmême qu'une partie non négligeable des sols du casier rizicole de Richard-Toll (35% des sols non salés ont un pourcentage de sodium échangeable > 10) montre une tendance vers un sol 'non salé à alcali'. Dans le rapport de 1965 sur l'ensemble du terrain de Richard-Toll-Diovol on constate pour la plus grande partie des sols (non salés ou légèrement salés) du casier rizicole "un horizon compact massif et asphyxiant qui est vraisemblablement dû au processus de dispersion de colloïds argileux sous l'action de l'eau douce".

Le rôle du magnésium

Les opinions sur le rôle d'une grande quantité de magnésium échangeable diffèrent beaucoup. En Hollande par exemple il y a des sols non salés contenant 30% de magnésium échangeable dont le comportement ne laisse rien à désirer. Quelques spécialistes sont d'avis qu'un sol dont la somme des pourcentages de magnésium et de sodium échangeable est supérieure à la somme des pourcentages de calcium et de hydrogène échangeable peut se comporter comme un sol 'à alcali'.

Pour les sols non salés ou légèrement salés du delta: $(Mg + Na) \approx (Ca + H)$.

Pour les sols salés et fortement salés: $(Mg + Na) > (Ca + H)$.

Les conséquences pour le dessalement

Une évolution - à la suite d'un dessalement - vers des sols non 'salés à alcali' ou des sols sodiques est le vraisemblable, parce qu'il n'y a pas de chaux ou de gypse dans les couches supérieures du profil, qui peuvent délivrer des ions Ca^{++} pour remplacer le Na^+ au cours du dessalement. Cette évolution pourrait déjà donner des difficultés pendant la période de dessalement.

La dispersion des argiles pourrait rendre imperméable une couche mince superficielle du sol, étant en contact direct avec l'eau douce dès le commencement du dessalement. Dans ce cas, deux solutions sont possibles:

- 1) Un dessalement partiel à l'aide d'eau saumâtre; le risque de dispersion sera réduit.
- 2) Un dessalement en appliquant d'amendements de gypse ou de chaux.

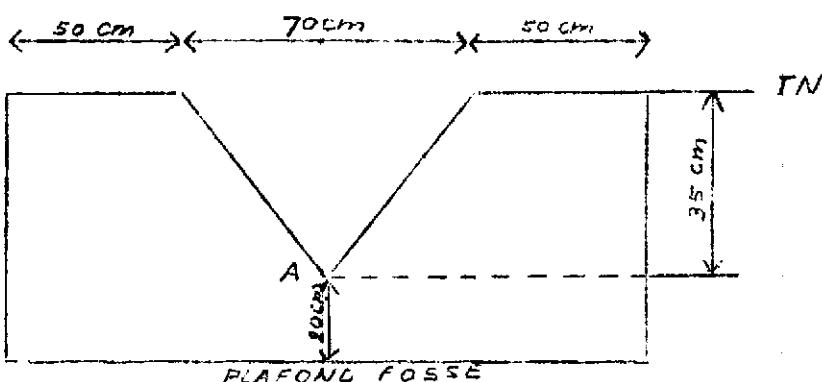
Le sol une fois dessalé, l'imperméabilisation partielle ne donnera pas de problèmes pour la riziculture, parce que les sels apportés par l'eau d'irrigation seront évacués par la vidange régulière. Dans le cas d'une autre culture ces sels resteront dans le sol et une imperméabilisation des couches inférieures risquerait d'empêcher un lessivage constant à travers le sol, condition absolue pour le maintien d'un niveau réduit de salinité dans le sol.

Compte rendu du dispositif expérimental

Les ouvrages de vidange comprennent une vannette avec pertuis et un déversoir triangulaire 90° dans un fossé d'adduction.

Cote plafond: + 25 cm pour les parcelles I2, II2, et II3, et 35 cm pour les parcelles III2 et III3.

Le point A du déversoir triangulaire se trouve à 20 cm au-dessus du plafond du fossé.



Avec la vannette et le pertuis on contrôle le débit de vidange.

La mesure des débits des drains

La mesure des débits des drains est également faite au moyen d'un déversoir triangulaire.

Cote point A: 0,70 cm pour les drains I22, I23, II12, II23 et II34 et 0,10 cm pour les drains III12, III23 et III34.

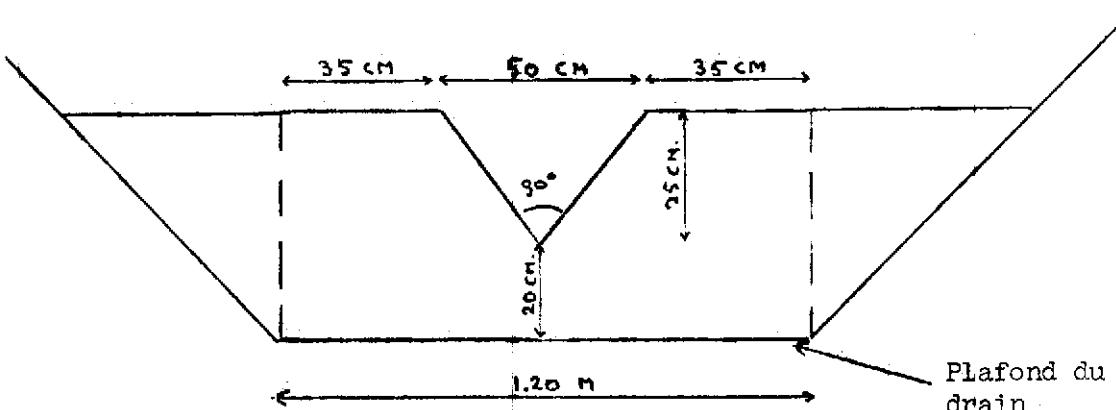


Fig. 2

Le plafond du drain doit être abaissé de 20 cm et élargi jusqu'à 1,20 m à partir de 10 m en amont du déversoir.

Risberme et cavalier

On a gardé un risberme de 2,50 m. Les cavaliers (diguettes) auront une hauteur de 50 cm, une largeur de crête de 50 cm et des talus de 2/1 (hor./vert.).

L'emplacement des piézomètres

L'emplacement des piézomètres a été indiqué sur les plans joints au rapport provisoire.

On a prévu:

87	piézomètres	de 2,50 m	crépines	sur 50 cm
6	"	de 2,00 m	"	" "
7	"	de 1,50 m	"	" "
20	"	de 1,00 m	"	10 cm

Au milieu de chaque parcelle de mesure, une batterie de piézomètres installés à des profondeurs différentes a été prévue. Cette batterie de piézomètres permettra de constater éventuellement des phénomènes d'inclusion d'air sous pression pendant la mise en eau.

Batterie au milieu d'une parcelle de mesure

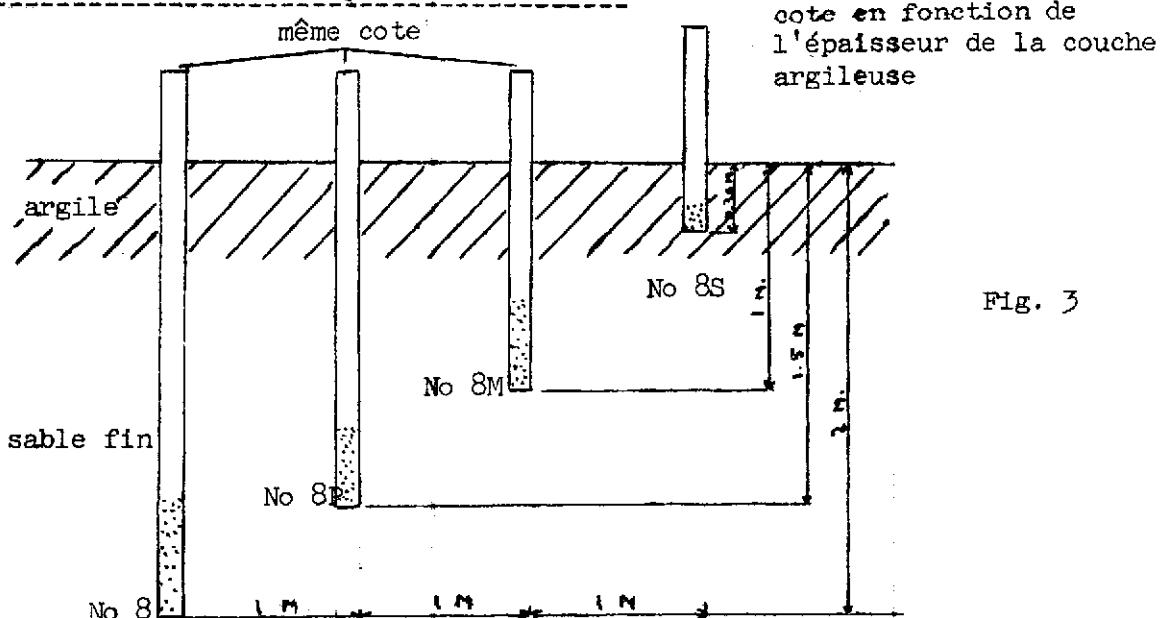


Fig. 3

Une montée brutale du niveau d'eau dans le piézomètre 8 devra être retrouvée dans le piézomètre 8P, ou 8P et 8M. Sinon, on en déduit que l'infiltration d'eau dans l'argile provoque une pression d'air dans le sol qui fait monter le niveau d'eau dans les piézomètres dont la crête est au-dessous du niveau de la nappe phréatique.

Les piézomètres S placés dans la couche argileuse peuvent donner des renseignements sur une nappe perchée. Le fonctionnement des piézomètres peu profonds étant délicat (des fuites à travers les fentes de retrait), des mesures additionnelles avec les sondes potentielles sont souhaitables. L'emplacement des piézomètres à côté des drains est donné dans le croquis suivant.

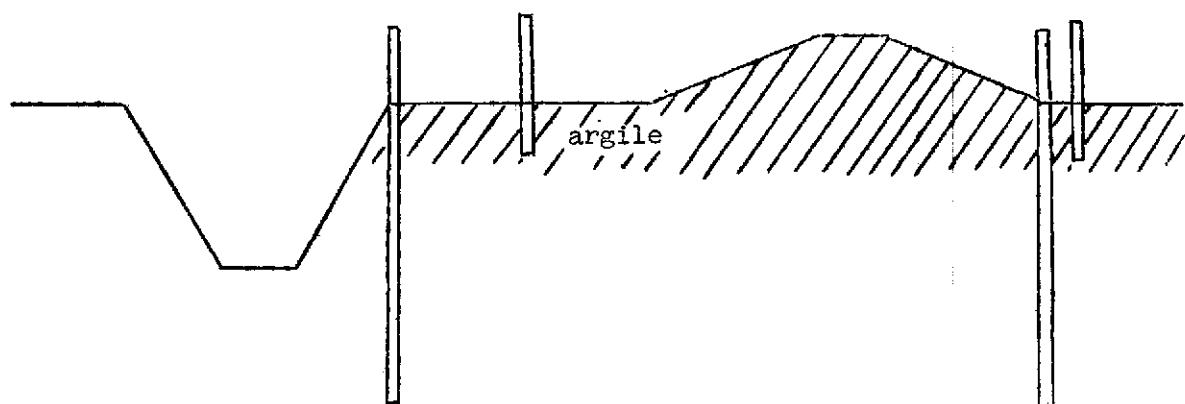


Fig. 4

Fuites latérales

Quand on a un écoulement d'eau à travers les fentes de retrait vers les drains pendant les premières heures de la mise en eau, on peut l'estimer en le mesurant au moyen d'une gouttière en aluminium (plaque d'aluminium 3,0 x 0,5 m).

2.3 Protocole des essais

2.3.1 Partie pédologique

Avant la première mise en eau on effectuera des prélèvements dans les parcelles de mesure notamment pour:

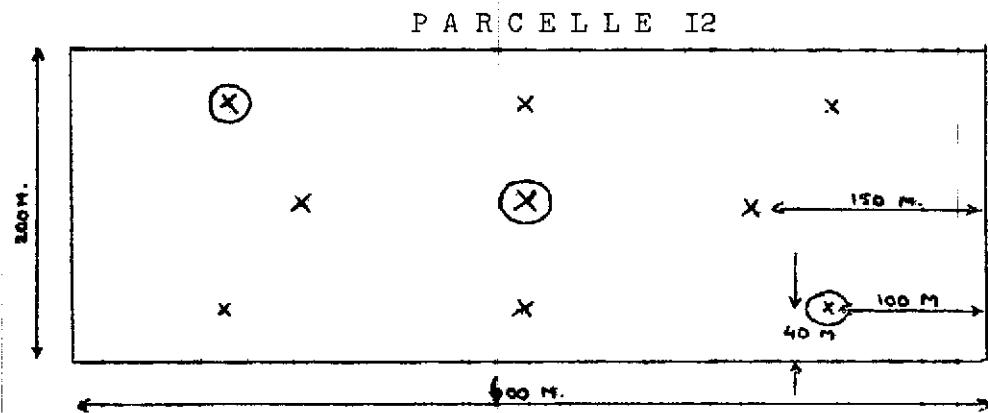
- La mesure de la conductivité (extrait 1/5)
- La mesure de l'humidité du sol
- La mesure de pH
- Des analyses granulométriques
- Conserver des échantillons pour des analyses à faire éventuellement plus tard.

- Mesure de conductivité

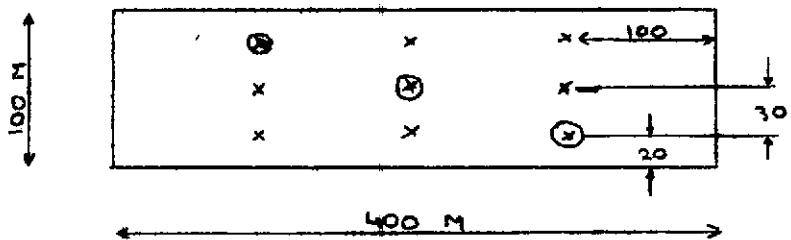
On a prévu 9 points d'échantillonage dans les parcelles de mesure.

Leur emplacement est donné sur les croquis ci-après.

Pour la parcelle I2:



Pour les parcelles III2, III3, IIII2 et IIII3:



Les prélèvements seront faits dans les couches 0 - 10 cm
20 - 30 cm
60 - 70 cm

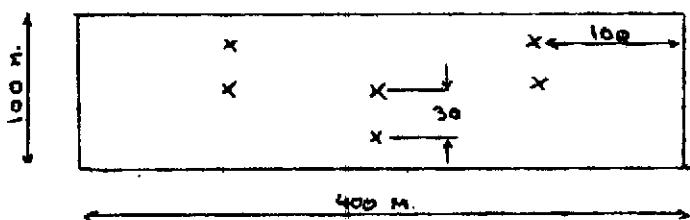
Il est prévu de prendre en chaque point et pour chaque couche 3 échantillons distants l'un de l'autre d'un mètre. Il est prévu également de répéter les prélèvements avant chaque mise en eau sur les 9 points.

On fera également des prélèvements pour la mesure de la conductivité en 3 points marqués sur le croquis immédiatement après la vidange. Cela donne:
 $5 \times 9 \times 3 + 5 \times 3 \times 3 = 180$ mesures pour chaque mise en eau du casier.

Observations

a) La densité de prélèvement pour les parcelles III2, III3, IIII2 et IIII3 est grande. On peut réduire le nombre des points de prélèvements pour ces parcelles (voir croquis), d'autant plus qu'il y a 2 parcelles de mesure.

PARCELLES III2, III3, IIII2 et IIII3 :



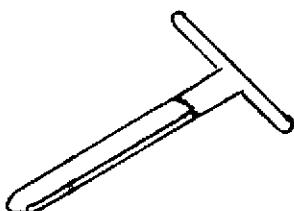
b) D'après une communication de Monsieur DIELEMAN, il serait préférable de prendre 6 échantillons distants l'un de l'autre d'un mètre en chaque point de mesure, et de réduire le nombre de points de mesure jusqu'à 3 parcelles et de faire les prélèvements dans les couches 0 - 10 cm

10 - 30 cm

30 - 60 cm

60 - 100 cm.

c) Quand le sol est mouillé, on peut utiliser une tarière semi-circulaire qu'on peut faire fabriquer chez un forgeron, ou acheter en Hollande.



Avec cette tarière semi-circulaire les sondages sont faits beaucoup plus vite qu'avec une tarière normale, tandis que les volumes des échantillons sont uniformes.

d) Il serait intéressant aussi de faire en quelques endroits à raison d'un point par parcelle d'essai par exemple, des prélèvements à des intervalles de 10 cm jusqu'à un mètre de profondeur, pour suivre avec une plus grande précision les mouvements des sels dans le sol.

- Mesures de l'humidité du sol

Elles sont prévues en 3 points sur chaque parcelle de mesure, avant chaque mise en eau, à 0-10, 20-30 cm et 60-70 cm.

En même temps on observera la profondeur des fentes de retrait.

- Mesure de pH

Une mesure du pH a été prévue sur 3 points de chaque parcelle de mesure et à 3 profondeurs (0-10, 20-30 et 60-70 cm), avant le début des essais et à la fin des essais.

Il serait également utile de laisser sécher une partie des échantillons pendant quelques semaines et de mesurer le pH ensuite.

Cette mesure peut donner une impression d'une acidification éventuelles et potentielle après l'aération complète du sol.

- Des analyses complètes des sels dans l'extrait d'eau du sol et des ions du complexe adsorbant ne sont pas prévues pour le moment.

Il est quand même très probable qu'on sentira ultérieurement le besoin d'avoir des données plus détaillées sur la nature de la salinité, et qu'on voudra connaître la situation comme elle était avant cette expérience.

2.3.2 - Partie "eaux de surface"

L'eau d'irrigation

Le volume d'eau à l'entrée des parcelles de mesure est contrôlé par des modules à débit constant (Neyrpic x 30).

La salure de l'eau d'irrigation est mesurée le premier et le troisième jour de la mise en eau à l'entrée de la parcelle.

L'eau de vidange

On a prévu de mesurer le débit de vidange toutes les heures, et de faire également un prélèvement d'échantillons d'eau toutes les heures pendant les 6 premières heures, puis toutes les 6 heures.

Observations- Il est probable que le nombre de prélèvements d'eau de vidange peut être diminué.

2.3.3 - Partie "Eaux souterraines" - Drainage

On a prévu pour les premières mises en eau des mesures piézométriques et mesures de débit des drains à 8 h, 14 h, et 20 h, de la mise en eau à la fin de la vidange. Après la vidange on mesura une fois par jour.

Après le dépouillement des observations des premières mises en eau, on pourra revoir la fréquence des observations.

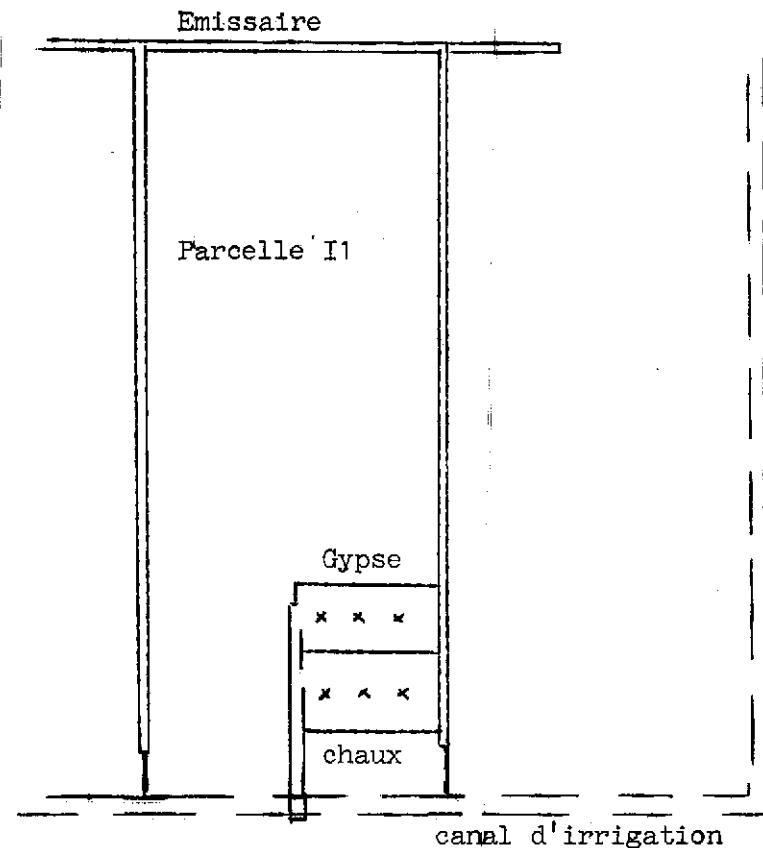
Prélèvement de l'eau des drains pour la mesure de la conductivité à chaque observation de débit de drain.

Prélèvement de l'eau des piézomètres pour la mesure de conductivité:
un piézomètre sur cinq, une fois par jour, avant et pendant la mise en eau.

2.4 Les amendements chimiques

Les amendements

On a prévu des amendements de 5 tonnes de gypse et de 3 tonnes de chaux,
chacun sur un demi-hectare sur la parcelle I1.



Les parcelles d'un demi-hectare sont entourées d'une diguette avec une ouverture pour amener l'eau d'irrigation.
Il faut creuser aussi un petit canal d'adduction à partir de l'ouvrage de prise. Les dimensions de ce canal sont: plafond 20 cm au-dessus du terrain naturel, longueur du plafond 1 m. On ferme les ouvertures dans la diguette aussitôt que les petites parcelles ont été submergées d'une lame d'eau de quelques centimètres. On ne vidange pas. Mais si on choisit judicieusement la hauteur de

submersion, les petites parcelles seront sèches en même temps que le reste de la parcelle I1.

Mesure de la conductivité électrique

En trois points dans chaque parcelle. Un à 20 m du drain, un à 50 m et un à 80 m. Méthode et rythme de prélèvement comme prévu pour les autres parcelles de mesure.

Les premiers prélèvements doivent être faits avant la mise en place des amendements.

Mesure du pH

Une mesure du pH en 3 points de chaque parcelle avant la mise en place des amendements.

Il est désirable de mesurer le pH avant chaque mise en eau.

Mesure de l'humidité

Mesure de l'humidité comme prévue pour les autres parcelles de mesure.

Analyse complète du complexe adsorbant

On a besoin de faire des analyses complètes des échantillons prélevés avant et à la fin de l'opération. Il est préférable de faire les analyses en même temps, dans le même laboratoire.

Evolution de la vitesse d'infiltration du sol

Afin d'apprécier l'effet des amendements, il faut mesurer de temps en temps pendant 3 ou 4 jours le taux d'infiltration dans les deux petites parcelles et à l'extérieur de ces parcelles, avec des cylindres d'infiltration. Les taux d'infiltration n'étant pas très élevés, il suffira de les mesurer une ou deux fois par jour.

2.5 Les essais de dessalement par lessivage de surface à Boundoum

d'après une communication de M. Mutsaars.

Le but des essais est d'obtenir un dessalement temporaire en surface, permettant une culture du riz, dans les terres argileuses qui n'ont pas une couche drainante à faible profondeur.

Ils seront effectués par l'IRAT.

L'aménagement et le protocole ont été discutés avec MM. Charreau et Mutsaars de l'IRAT.

L'aménagement

Un hectare sera indiqué et divisé en 4 parcelles de $25 \times 100 \text{ m} = 0,25 \text{ ha}$ de surface, isolées aussi bien que possible par diguettes et film plastique. Chaque parcelle sera aménagée en billons, parallèle à l'orientation des parcelles; la distance entre deux crêtes de billons sera d'environ 1,20 m. Le fond de sillon sera à environ 0,15 m en dessous du terrain naturel, la crête du billon à environ 0,15 m au dessus.

Types de traitement

Deux types de traitement seront testés.

Le premier est basé sur le principe de l'effet mèche (principe: l'évaporation au sommet du billon exondé provoque une migration de l'eau du sillon vers ce sommet, qui se charge en sels sur son parcours et laisse les sels au sommet du billon après l'évaporation).

Ensuite, on dissout les sels du sommet de billon par submersion complète de ceux-ci.

Le deuxième est basé sur les expériences casamancaises (voir chapitre 1.3 de ce rapport): une submersion complète des billons, suivie d'une vidange.

Les mesures à effectuer

Dans cet essai, on fera exclusivement de mesures de conductivité électrique de l'extrait d'eau du sol et des eaux d'irrigation et de vidange, et des mesures de débit de ces eaux. Pour la mesure de conductivité des sols, des échantillons seront prélevés en sommet de billon, à mi-billon et en fond de sillon pour chaque endroit de prélèvement.

Les intervalles de profondeur seront:

- pour le billon : 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm
- pour le sillon : 0-10, 10-20, 20-30 cm
- à mi-billon : 0-10, 10-20, 20-30 cm

Le calendrier des mises en eau et mesures est donné comme annexe 4.

3. Le casier expérimental de Richard-Toll

3.1 Remarques générales

En 1967 un périmètre expérimental de 120 ha a été confié à l'IRAT (Institut de Recherche Agronomique Tropicale et Cultures Vivières) en vue d'une étude des possibilités de la culture de la canne à sucre dans le casier rizicole de Richard-Toll (6000 ha). On étudie:

1. la méthode appropriée d'irrigation, soit
l'irrigation à la raie
la submersion
l'aspersion
2. l'efficacité d'un système de drainage profond à l'aide de drains enterrés.
3. une évaluation du point de vue économique de la culture de la canne dans les conditions de Richard Toll.

Les efforts considérables faits au casier expérimental au point de vue de recherches sur le drainage et sur le mouvement d'eau dans le sol, ont justifié une attention intensive pendant notre mission.

Nous avons fait une étude plus détaillée des sujets suivants:

1. Le fonctionnement des drains enterrés (Ch. 3.2)
2. Le mouvement d'eau dans un sens vertical,
 - par une étude des fluctuations du niveau de la nappe (Ch. 3.3.1)
 - par une analyse des mesures avec la sonde à neutrons (Ch. 3.3.2)
 - par des mesures de la vitesse d'infiltration (Ch. 3.3.3).
3. La perméabilité horizontale du sol (Ch. 3.4.1) et les espacements des fossés à ciel ouvert (Ch. 3.4.2).

Situation du casier expérimental

Le casier expérimental de canne à sucre de 120 ha se situe à l'est de la route de Saint-Louis à Rosso et fait partie du casier rizicole de Richard-Toll (6000 ha). Par conséquent il est situé sur d'anciennes rizières. Le climat est subdésertique avec une pluviométrie annuelle de 255 mm (moyenne de 20 ans). La pluie tombe dans les mois de juillet, d'août et de septembre. L'évapotranspiration potentielle est dans l'ordre de 2000 mm/an.

Pédologie

Les sols du casier expérimental, ainsi que tout le casier rizicole de Richard-Toll, sont du type "fluvio-deltaïque".

Les sols du casier expérimental en particulier sont très hétérogènes.

En général on trouve en surface des argiles gonflantes. En dessous il y a souvent des alluvions plus légères de limon ou de sable limoneux, alternant avec des couches argileuses. Comme partout dans le delta on ne trouve que des sables fins ou très fins.

Les sols sont d'après la classification locale:

- a) des vertisols topomorphes
- b) des sols hydromorphes (minéraux) à gley
- c) des sols halomorphes.

La salure

En 1965 on a constaté (étude de la pédologie et des conditions de drainabilité de l'ensemble Richard-Toll - Diovol par IRAT, SOGREGAH et SOGETHA) - constatation confirmée par le travail de M. Mutsaars (IRAT 1969) - qu'environ 15% des sols du casier rizicole de Richard-Toll sont salés et que 25% de ces sols sont légèrement salés.

Le pourcentage des sols légèrement salés semble être un peu plus élevé pour le casier expérimental de canne à sucre.

Les résultats des analyses, donnés dans le rapport cité ci-dessus, montrent que le pourcentage de sodium échangeable dépasse 15 dans 13% des profils et que ce pourcentage dépasse 10 dans 35% des profils.

Le pourcentage de magnésium échangeable varie de 25 à 40.

Le moyen des pourcentages de sodium échangeable de la couche 0-20 cm est plus bas que de la couche de 20 à 50 cm.

	0-20 cm	20-50 cm
% Na	6,5	9,9
% Mg	32	31,5
CE extrait 1/10 en micromhos	110	130

Le sol ne contient pas de chaux. Le rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}} \approx 1$. Les chiffres cités ci-dessus indiquent un sol d'une structure défavorable par son instabilité. Après une irrigation on peut observer dans les parcelles R₄ et R₅ du casier expérimental de canne à sucre par exemple une structure savonneuse caractéristique pour cette dispersion.

Le dispositif expérimental (selon M. Tran Minh Duc)

L'aménagement du casier a été achevé en fin janvier 1968: il comprend

- a) une zone d'aspersion de 52 ha
- b) une zone d'irrigation à la raie de 40 ha
- c) une zone d'irrigation par semi-submersion de 22 ha.

Chaque zone est divisée en deux parties, l'une drainée par drains enterrés. l'autre non drainée.

Les drains sont enterrés à une profondeur de 1,80 m et à des intervalles de 100 m dans les zones "raie" et "semi-submersion". La zone "aspersion" comporte l'étude comparative de 3 systèmes de drainage.

- drains enterrés à une profondeur de 1,30 m à des intervalles de 50 m
- drains enterrés à une profondeur de 1,80 m à des intervalles de 50 m
- drains enterrés à une profondeur de 1,80 m à des intervalles de 100 m.

Les drains enterrés sont en matière plastique d'un diamètre de 8 cm, fendu transversalement à la partie supérieure et protégés par un filtre de sable relativement fin.

Les drains enterrés aboutissent à des fossés ouverts dont le plafond a une profondeur moyenne de 2,50 m.

Les débits des drains enterrés sont mesurés régulièrement et les fluctuations du niveau de la nappe sont mesurées au moyen d'un grand nombre de piézomètres, ayant la crête à 2,50 m de profondeur.

Les quantités d'eau d'irrigation peuvent être mesurées par des modules à masque de Neyric.

Au commencement de 1969 le système d'aspersion a été remplacé par une irrigation "semi-submersion". A cause des difficultés d'ordre technique, les parcelles reçoivent des doses d'irrigation insuffisantes.

Dans la zone "raie" des doses insuffisantes d'irrigation ont été données à cause d'un faible taux d'infiltration des sols.

3.2 Le fonctionnement des drains

3.2.1 Le fonctionnement des drains enterrés

On a constaté que les drains enterrés en 1968 ont évacué en moyenne une lame d'eau presque négligeable d'environ 0,1 mm/jour. Seulement dans la zone "semi-submersion", qui a reçu une irrigation adéquate, les drains ont évacué environ 0,4 mm/jour.

On a constaté qu'il y avait de 20, 30 ou 50 cm d'eau au dessus des drains enterrés, bien que les drains ne coulent guère. Le déterrement de quelques drains enterrés a révélé que les tubes étaient pleins de rouille de fer et de terre. La pente de charge hydraulique peut se faire dans le sable filtrant, les fentes du tube, et dans le tube lui-même. Le sable filtrant est de la composition granulométrique suivante:

< 2 μ	2%
2 - 16 μ	0%
16 - 50 μ	3,8%
50 - 200 μ	72,3%
> 200 μ	21,3%

La perméabilité d'un échantillon remanié du sable filtrant mesuré au laboratoire est d'environ 5 m/jour, ce que veut dire que c'est notamment le tube qui est bloqué.

Cependant il y a des observations (voir rapport M. Dieleman, mars 1969) indiquant une perméabilité plus faible du sable filtrant.

La terre déposée dans le tube a la composition suivante:

< 2 μ	42,5%
2 - 16 μ	18%
16 - 50 μ	10,2%
50 - 200 μ	25,5%
> 200 μ	3,4%

La rouille de fer se forme par oxydation dans le tube et en particulier dans la partie aval des drains et peut le bloquer totalement. Il y a des régions en Hollande où il est nécessaire de nettoyer les tubes de drains plusieurs fois pendant les premières années de fonctionnement à cause de cette rouille de fer.

Le nettoyage s'est fait en général avec un petit "jet" d'eau, avançant de l'aval (petite motopompe, pression 10 à 15 atmosphères, débit environ 80 litres/minute).

Parfois on utilise également un tuyau en matière plastique avec un "gratteur articulé" sans injection d'eau.

En plus on trouve des quantités considérables de terre dans les tuyaux. Il y a quelques causes qui pourraient expliquer la présence de terre dans les tuyaux:

- a. Les drains enterrés sont installés dans des conditions défavorables (eau boueuse dans les tranches pendant l'installation).
- b. Une illuviation des colloïds d'argile dispersés et du sable filtrant assez fin.

Une illuviation d'argiles dans les tubes de drain qu'on peut observer dans des sols sodiques, est très vraisemblable dans les sols du casier expérimental.

Les drains ne peuvent fonctionner qu'à condition qu'on les nettoie fréquemment, disons deux fois par an.

Il est à remarquer qu'un nettoyage des drains enterrés au casier expérimental serait d'importance pour la suite des expérimentations.

3.2.2 Les fossés à ciel ouvert

Les cartes des niveaux piézométriques (rapport M. Audibert 1969) montrent qu'il existe un écoulement de l'eau de la nappe à partir des canaux d'irrigation vers les fossés profonds. Les quantités drainées au moyen des fossés à ciel ouvert creusés, à des intervalles de 500 m., sont difficiles à mesurer ou à estimer, parce que les eaux de colature sont aussi évacuées par ces fossés.

Cependant le drainage au moyen des fossés à des intervalles de 500 m doit être presque négligeable dans les conditions de Richard-Toll.

Se servant de la méthode du trou à la tarière on a pu mesurer des perméabilités jusqu'à une profondeur de 2,50 m. On trouve en moyenne des perméabilités de 0,50 m/jour.

Si l'aquifère s'étendait jusqu'à une profondeur de 10 m la transmissibilité serait de $10 \times 0,5 = 5 \text{ m}^2/\text{jour}$, aboutissant à un drainage d'environ 0,125 mm/jour.

En supposant que l'aquifère s'étende jusqu'à une profondeur de 5 m seulement, on aboutirait à une valeur de 0,05 mm/jour.

On peut tracer le substratum imperméable (argiles défloculées par exemple) par un sondage.

La stabilité des drains à ciel ouvert

On a observé au casier rizicole de Richard-Toll, que les drains à ciel ouvert creusés il y a environ 15 ans avec des talus 1/1 ont maintenu leur profil transversal assez bien. On a constaté également au delta que les drains qui ont des talus plus raides collaborent très facilement.

3.3 Le mouvement vertical des eaux

La vitesse du mouvement vertical est très faible pour les sols du casier expérimental. On a rapporté des perméabilités mesurées au laboratoire de 75 mm/jour et parfois de 0. Après une irrigation dans la zone de "semi-submersion" on voit de l'eau demeurant des jours sur le terrain. Pour le drainage il serait important de savoir si un mouvement d'eau dans un sens vertical serait possible.

3.3.1 La percolation en profondeur

Une étude des fluctuations du niveau de la nappe mesurées dans les piézomètres a révélé une montée de la nappe après chaque irrigation. Cette montée est de 0 à 30 cm pour les zones "aspersion" et "raie" et de 50 et 100 cm pour la zone "semi-submersion". La montée plus faible dans les zones "aspersion" et "raie" provient sans doute des doses trop faibles d'irrigation (la moitié de la consommation calculée). Des doses plus grandes d'irrigation à la fin de 1968 ont causé des fluctuations plus grandes dans la zone d'aspersion (entre drains C et D).

La montée du niveau d'eau dans les piézomètres n'est pas encore une preuve absolue d'une percolation d'eau en profondeur. Elle peut provenir aussi d'un blocus d'air, l'eau en surface pourrait être aspirée dans le sol partiellement desséché, sans que l'air puisse s'enfuir, causant ainsi une surpression (overpressure) d'air dans le sol. Quand la crête se trouve au-dessous du niveau de la nappe la surpression d'air se traduit en une montée du niveau d'eau dans le piézomètre, sans que le niveau de la nappe monte en réalité.

Si ce phénomène se présentait, il faudrait constater une montée dans les piézomètres ayant la crépine totalement au-dessous du niveau de la nappe et il ne faudrait pas constater une montée dans les piézomètres ayant une crépine partiellement au-dessus du niveau de la nappe. Pour l'année 1968 nous avons pu trouver 23 piézomètres pour lesquels la crépine ne se trouvait pas toujours au-dessous du niveau de la nappe; notamment 76 et 78 dans la zone "raie", 91, 92, 93, 94 et 99 dans la zone "submersion" et 14, 15, 16, 45, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59 et 61 dans la zone "aspersion" (voir les cartes sur place).

On constate aussi une montée après une irrigation dans ces piézomètres là, bien qu'elle soit parfois moins prononcée que dans les piézomètres ayant la crépine totalement au-dessous du niveau de la nappe. On peut en conclure que la montée du niveau d'eau dans les piézomètres représente une montée réelle du niveau de la nappe.

Les canaux d'irrigation étant toujours remplis d'eau, ils alimentent constamment la nappe. Par conséquent, la montée de la nappe après une irrigation ne peut provenir que d'une percolation en profondeur de l'eau d'irrigation demeurant sur le terrain.

Des fuites des eaux de surface le long des piézomètres ne sont pas probables. Dans le cas des fuites on observerait des rabattements plus brutaux et des plus grandes différences entre les niveaux dans la même parcelle, parce qu'il n'est pas vraisemblable que tous les piézomètres montrent des fuites.

Nous avons essayé de vérifier les résultats mentionnés ci-dessus par l'installation de quelques piézomètres supplémentaires à une profondeur de 1,50 m, crépines sur 50 cm, à côté des anciens piézomètres: piézomètres 140A et 142A dans la parcelle S5, 72A, 64A, 47A et 49A dans la zone "aspersion" et 151A et 107A dans la zone "raie".

Malheureusement il n'y avait guère d'eau d'irrigation pendant notre mission. Ainsi on n'a pu faire des mesures que pour les piézomètres 140 et 140A et 72 et 72A. Nous avons constaté que les piézomètres plus profonds (140 et 72) (2,50 m de profondeur, crépine sur 1 m à 1,20 m) donnaient le même niveau que les piézomètres à 1,50 m de profondeur (140A et 72A). Il serait utile de continuer le mesurage des piézomètres

supplémentaires en vue d'une vérification plus étendue. Il serait également utile d'irriguer plus copieusement la zone "raie" quelques fois, parce que les réactions de la nappe après une irrigation dans cette zone sont faibles et ne permettent guère une conclusion.

3.3.2 Le mouvement vertical d'eau comme mesuré par la sonde à neutrons

Au moyen d'une sonde à neutrons l'IRAT a mesuré l'humidification du sol après la submersion des petits bassins de 4 sur 4 m (rapport M. Dancette, 1969).

Les résultats sont difficiles à interpréter. On a observé des fuites latérales importantes malgré toutes les précautions prises et le niveau de la nappe pendant les mesures n'a pas été mesuré. Il serait en tout cas préférable de submerger une superficie plus étendue en vue des mesures avec une sonde à neutrons.

La distribution d'humidité montre souvent des couches relativement sèches, ayant une teneur en eau nettement inférieure à la teneur en eau pour pF_3 . Ce phénomène peut être observé, même juste au dessus du niveau de la nappe. Il y a deux explications possibles:

- a) Les couches sont difficiles à humidifier (par exemple à cause d'un blocus d'air dans les mottes de terre).
- b) On a déterminé les pF utilisant des échantillons remaniés, résultant fréquemment dans une teneur en eau plus élevée que dans les conditions naturelles.

On constate parfois un enrichissement en eau sous une couche relativement sèche et on trouve toujours un dessalement dans les profils légèrement salés (de 600 à 1000 micromhos, extrait 1/5).

Ces faits rendent la conclusion difficile. Néanmoins, les résultats de 9 endroits de mesure sur 11 ne s'opposent pas à l'hypothèse d'un mouvement vertical d'eau.

A deux endroits (VI et VII) seulement la distribution d'humidité ne montre aucune évolution bien que les sols fussent secs au commencement de l'essai. Ils font partie des sols "hydromorphes minéraux à gley, non-salés", ayant une couche sablo-limoneuse d'une structure massive située à une profondeur entre 50 et 100 cm.

On pourrait submerger les parcelles ayant ce type de sol (zone "raie") et regarder s'il y a une percolation d'eau en profondeur. Les observations disponibles des piézomètres dans cette zone ne permettent guère une conclusion à cause des doses faibles d'irrigation.

Si on n'observait pas de percolation en profondeur, une étude pédologique de ces sols "hydromorphes minéraux à gley" serait utile pour savoir la cause de leur imperméabilité; soit une sédimentation, soit une illuviation des colloïds d'argile à la suite d'un dessalement.

3.3.3 La vitesse d'infiltration des sols

Afin d'avoir une idée plus précise de la vitesse d'infiltration et de percolation, nous avons mesuré l'infiltration à des profondeurs différentes. Le niveau d'eau dans des cylindres de fer, de 30 à 50 cm de diamètre, enfouis de 13 à 15 cm dans le sol est mesuré une ou deux fois par jour pendant une période d'observation de 15 jours.

La vitesse moyenne d'infiltration pendant la deuxième semaine de submersion, corrigée pour l'évaporation (on a mesuré une évaporation de 1 à 2 mm/jour pour un cylindre rempli d'eau et couvert d'un sac de jute) est donnée dans la table 1.

La vitesse d'infiltration observée au commencement de l'essai (au mois de juin) varie entre 10 et 30 mm/jour pour la couche supérieure à une profondeur de 20 cm. La diminution de la vitesse d'infiltration est graduelle. Après une semaine de submersion des valeurs variant entre 0 et 10 mm/jour ont été observées. Dans les parcelles S₅ et R₆ (dont le dernier profil est un sol hydromorphe minéral à gley, non salé) on a constaté un taux d'infiltration égal à 0. Les taux d'infiltration, mesurés ainsi, sont assez bas. Certainement il y a un tassement du sol causé par l'enfoncement des cylindres.

La teneur en eau du sol dans les cylindres, à une profondeur de 10 cm a été déterminée au laboratoire. La teneur basse en eau, nettement inférieure à la teneur pour pF3, observée dans 2 cas souligne encore une fois le fait, que l'humidification du sol est difficile.

Parcelle	Profondeur en cm	< 2	2-16	16-50	50-200	>200	Teneur en eau du sol pF ₃	Teneur en eau du sol dans le cylindre après 1'essai	La vitesse d'infiltration après une semaine	Quantités totales infiltrées en mm
Aspersion en face cabane	70	19	8.5	40.5	31.1	0.2	8.8	23.8	600	
"	20	56	17	16.9	9.4	0.04	30.2	19.5	11	180 mm (14 jours)
Aspersion en face CD	70	19	13	40.0	27.6	0.4	11.0	23.8	100	500 mm (14 jours)
	30	59	17.5	13.6	9.0	0.03	32.4	33.4	10	250 mm (14 jours)
Aspersion en face IJ	95	48.5	22	21.5	7.0	0.1	29.9	27.0	3	63 (14 jours)
	60	51.5	19	21.4	7.0	0.1	28.0	14.1	4	83 (14 jours)
	20	49.5	21.5	21.0	7.0	0.1	26.2	27.1	11	165 (14 jours)
Submersion 5	85	49.5	20.5	20.1	9.0	0.1	17.4	22.6	111	170 (14 jours)
	40	57	20.5	17.9	1.4	0.02	31.9	29.5	0 (après 3 jours)	20 (3 jours)
Irrigation à la raire 6	105	27.5	18	47.0	6.9	0.1			150	900 (6 jours)
	70	10	6.5	32.8	50.3	0.1			4	47 (6 jours)
	20	44	20.5	24.7	10.0	0.04	25.7	27.6	0 (après 7 jours)	38 (7 jours)

Table I. Essais d'infiltration

Conclusion

Les études des niveaux piézométriques montrent, qu'il existe en général une percolation d'eau en profondeur.

Les résultats des mesures faites avec la sonde à neutrons et des mesures d'infiltration ne s'opposent pas à cette conclusion, tout en montrant que la vitesse d'infiltration est faible. Pour les sols hydromorphes minéraux à gley, non salés, la percolation semble être zéro. Des essais supplémentaires sur ce type de sol seraient souhaitables.

3.3.4 Les quantités de percolation

Les quantités percolées en profondeur peuvent être estimées sur la base de la montée de la nappe après d'une irrigation.

Des montées de 30 à 100 cm ont été constatées dans la zone "semi-submersion" et la zone "aspersion". La montée, multipliée par la porosité effective, donne la quantité percolée.

La porosité effective a été estimée à l'aide de la distribution d'humidité mesurée avec la sonde à neutrons; elle est de 2 à 3 %.

Alors on calcule une percolation de 6 à 9 mm au moins pour chaque irrigation (supposant des doses d'irrigation correspondantes à la consommation potentielle).

Est-ce qu'une telle percolation est suffisante pour le maintien d'un taux de salure acceptable dans le sol? Supposons une dose d'irrigation de 2000 mm (canne à sucre), une conductivité électrique de l'eau d'irrigation de 300 micromhos, un facteur d'efficacité de lessivage de 0,5 (dérivé des données sur l'évolution de la salure, rapport de l'IRAT, M. Dancette) et un taux acceptable de salinité de 6000 micromhos dans l'extrait de la pâte saturée.

La teneur ^{eau} de la pâte saturée d'un échantillon remanié est en général le double de la teneur en eau du sol naturel à la capacité au champ (cela signifie un lessivage annuel (percolation en profondeur) de:

$$\frac{1}{0,5} \times \frac{300}{2 \times 6000} \times 2000 = 100 \text{ mm.}$$

Si l'on irriguait tous les 15 jours, une percolation de 4 mm par irrigation serait nécessaire. Cela veut dire que la nappe monterait de 15 à 20 cm.

Un drainage en vue d'un contrôle de la salure semble ainsi possible pour les sols du casier expérimental de canne à sucre de Richard-Toll. Les montées du niveau de la nappe observées après une irrigation dans la zone "semi-submersion" montrent que les exigences du point de vue d'un contrôle du niveau de la nappe dépassent les exigences du point de vue d'un contrôle de la salure.

C'est ainsi qu'un débit moyen de drainage de 1 mm/jour semble nécessaire pour les terrains irrigués par semi-submersion.

Les considérations mentionnées ci-dessus n'appliquent qu'au culture de canne à sucre. Dans le cas de riziculture une accumulation des sels, à cause d'irrigation, n'est pas à craindre.

3.4 Estimation de l'espacement des fossés à ciel ouvert

3.4.1 La perméabilité horizontale

La perméabilité horizontale a été mesurée en milieu saturé à plusieurs endroits au casier expérimental en utilisant la méthode du trou à la tarière.

Dans la table 2 les perméabilités de certaines couches sont présentées.

Table 2 Les perméabilités mesurées en milieu saturé dans des différentes couches du sol

Couche du sol	K en M/jour	Couche du sol	K en M/jour
sable fin	1,2	20 cm argile	
sable limoneux	1,0	10 cm arg.lim.sabl.	0,58
limon sableux	0,72	20 cm sable fin	
limon sableux	0,72	45 cm lim.arg.sabl.	
limon sableux	0,75	50 cm arg.lim.sabl.	0,43
limon	0,45	20 cm argile	
limon argileux	0,37	30 cm limon	
limon argileux	0,30	10 cm limon sableux	0,29
argile limoneux	0,20	60 cm argile	
argile limoneux	0,05	30 cm limon	
argile limoneux	0,08	10 cm limon sableux	K = 0,20 M/jour
argile	0,07	10 cm limon argileux	
20 cm argile		60 cm argile	
60 cm sable fin	0,65		
20 lim.sabl.arg.			
40 cm argile			
10 cm argile limon	0,33		
20 cm sable fin			
50 cm argile	0,29		
20 cm limon sableux			
55 cm argile			
40 cm limon sableux	0,58		
40 cm argile			
20 cm sable fin	0,39		

les espacements des fossés en fonction de la texture du sol, la perméabilité, profondeur des fossés et profondeur du substratum imperméable.

TABLE 3

Texture à partir de 50 cm sous le niveau du sol	Débit de drainage en mm/jour	Perméabilité horizontale en M/jour	Profondeur du substratum imperméable en mètres	Profondeur des fossés en mètres	Espacement des fossés en mètres
			2.50	1.50	15
			2.50	2.00	21
			2.50	2.50	21
Argile	1	0.05	5.00	1.50	92
Argile limoneux			5.00	2.00	35
			5.00	2.50	39
			10.00	1.50	24
			2.50	1.50	55
			2.50	2.00	72
			2.50	2.50	76
Sable limoneux	1	0.75	5.00	1.50	98
			5.00	2.00	135
			5.00	2.50	168
			10.00	1.50	130
			2.50	1.50	40
			2.50	2.00	55
Des couches alternantes			2.50	2.50	57
D'argile et de sable limoneux	1	0.35	5.00	1.50	65
			5.00	2.00	95
			5.00	2.50	108
			10.00	1.50	85

3.4.2 Le calcul de l'espacement

Dans le calcul de l'espacement des fossés la transmissibilité K_d est un facteur important.

Les perméabilités sont mesurées jusqu'à une profondeur de 2,50 m. La table 3 montre les espacements des drains pour des profils différents, en supposant

- des profondeurs différentes des fossés
- 0,50 m de largeur du plafond du fossé et un périmètre mouillé de 0,80 m
- des valeurs différentes pour l'épaisseur de l'aquifère
- un débit moyen de drainage de 1 mm/jour
- le niveau moyen de la nappe à 1 m en dessous le terrain naturel.

Les espacements de la table ci-jointe montrent l'influence des différents facteurs. Il n'est pas tout à fait évident à quelle profondeur se trouve le substratum imperméable dans le casier expérimental de canne à sucre.

En tout cas ce n'est certainement pas à moins de 4 mètres. Pour le casier expérimental, si l'on suppose que les fossés ont 2 mètres de profondeur, on trouve les espacements suivants:

- | | |
|--|------------|
| - les sols argileux | 30 mètres |
| - les sols sablo-limoneux | 120 mètres |
| - les sols ayant
des couches alternantes
d'argile et de sable limoneux | 80 mètres |

3.4.3 La transmissibilité et la porosité effective calculées à l'aide des résultats des essais de drainage

Si l'on se base sur l'abaissement de la nappe au cours du temps (voir ANNEXE 1) le calcul de la transmissibilité ou de la porosité effective est difficile à faire pour les conditions du casier expérimental de Richard-Toll.

Ce n'est pas seulement le drainage, mais encore ou même plutôt l'évaporation par la canne, qui provoque l'abaissement de la nappe, diminuant ainsi largement la valeur indicatrice du taux de l'abaissement.

De préférence on comparera en même temps la perte de charge au débit de drainage. On mesure la perte de charge comme la différence entre le niveau d'eau dans les piézomètres au milieu de la parcelle et le niveau d'eau dans le piézomètre au-dessus ou juste à côté du drain.

Calcul des espacements des drains enterrés ou des fossésRégime permanent

Le principe du dessalement par drainage profond consiste en ce que l'eau, passant à travers le sol, entraîne les sels. On peut simplifier le mouvement d'eau et distinguer deux étapes:

- a. un écoulement vertical à travers les couches supérieures, en général non saturées.
- b. un mouvement latéral dans les couches inférieures (zone de la nappe ou bien de l'eau 'libre').

La quantité d'eau qui passe par le sol en un certain temps est fonction de la perméabilité verticale et de la perméabilité horizontale.

La perméabilité verticale peut être assez faible avant de devenir un facteur limitant. Par exemple une valeur de 50 mm/jour pour la couche la plus imperméable doit être considérée comme raisonnable. Après une irrigation des couches à faible profondeur d'une perméabilité encore plus faible peuvent causer une nappe perchée. Celle-ci peut être nuisible aux cultures sensibles à l'asphyxie du sol. Pour le lessivage des sels d'un sol, il est nécessaire que toutes les couches aient une perméabilité verticale supérieure à quelques mm/jour. Des indications importantes sur le mouvement d'eau dans le sens vertical peuvent être obtenues au moyen de mesures avec une sonde potentielle. La perméabilité horizontale des couches inférieures décide l'espacement des fossés ou des drains enterrés.

En régime permanent la relation entre la perméabilité, l'espacement des drains et le débit de drainage est donnée par la formule:

$$R = \frac{8 K d h + 4 K h^2}{L^2}$$

R = débit de drainage en m/jour

h = la charge hydraulique en m

K = la perméabilité horizontale en m/jour

L = l'espacement des drains en m

d = un équivalent pour l'épaisseur de l'aquifère

Cet équivalent est fonction de l'espacement des drains L, la distance entre le niveau d'eau dans le drain et le substratum imperméable (épaisseur de l'aquifère D₀) et le périmètre mouillé du drain (u=2 a + b).

Nous joignons un abaque pour le calcul de d (figure 1).

ANNEXE 1

Régime transitoire

Au moyen de la formule de Dumm pour un régime transitoire on peut calculer le rabattement de la nappe pendant un certain temps ou l'espacement des fossés quand on suppose un certain rabattement:

$$L^2 = \frac{\pi^2 K D t}{\ln(1.16 \frac{h_0}{h_t})} \quad \text{voir figure 2}$$

L = espacement en m

K = la perméabilité en m/jour

$$D = d + \frac{h_0 + h_t}{4}$$

d = un équivalent pour l'épaisseur de l'aquifère D_0 (voir l'abaque figure 1)
(u est le périmètre mouillé du fossé ou du drain)

h_0 et h_t = la charge hydraulique aux moments 0 et t

p = porosité effective ($\frac{\text{volume}}{\text{volume}}$)

t = temps en jours

Pour une certaine valeur de $\frac{K D t}{p L^2}$ la valeur correspondante de $\frac{h_t}{h_0}$ peut être trouvée dans les abaques figures 3 et 4.

Example calcul d'espacement régime transitoire:

K = 1 m/jour

$D_0 = 3 \text{ m}$

p = 0,04 (4%)

u = 0,80 m.

h_0 , juste après une irrigation est 1 mètre

Il faut que le niveau de la nappe descend de 0,75 m en 15 jours:

$h_t = 0,25 \text{ m}$

t = 15 jours

$$\frac{h_t}{h_0} = \frac{0,25}{1} = 0,25 \quad \text{abaque (figure 3)} \quad \frac{K D t}{p L^2} = 0,16$$

$$L^2 = \frac{1 \times D \times 15}{0,04 \times 0,16} \quad D = 2,70 + \frac{1 + 0,25}{4} = 3,0 \text{ (voir abaque figure 1)}$$

$$L^2 = \frac{45}{64} \times 10^4 \quad L = 84 \text{ mètres.}$$

ANNEXE 1

Il est à remarquer qu'on peut regrouper la formule de Dummé comme suit:

$$\ln 1.16 \frac{h_o}{h_t} = \frac{\pi^2 K D t}{p L^2}$$

$$\log 1.16 \frac{h_o}{h_t} = \frac{\pi^2 K D t}{2.30 p L^2}$$

Cette formule donne une ligne droite sur du papier semi-logarithmique.
La tangente de l'angle d'inclinaison de cette ligne donne la valeur

de $\frac{\pi^2 K D t}{2.30 p L^2}$.

L'est connu, KD peut être déterminé au moyen d'une mesure et p peut être calculé. On peut faire aussi le calcul en sens inverse.

FD-1

Nomogram for the calculation of
Hooghoudt's β -value according to

$$d = \frac{D_o}{D_u}$$

$$\frac{D_o}{D_u} = \frac{L}{100} + 1$$

$$L = 40 \text{ Do}^{1/2}$$

15

20 25 30

35 40 45

50 55 60

65 70 75

80 85 90

95 100 105

110 115 120

125 130 135

140 145 150

155 160 165

170 175 180

185 190 195

200 205 210

215 220 225

230 235 240

245 250 255

260 265 270

275 280 285

290 295 300

To use:

- 1 Select appropriate values for
 D_o/U and D_u
- 2 Connect selected D_o/U on left hand scale with D_u on right hand scale
- 3 Find point P where connecting line and selected L -scale intersect
- 4 Read value of P on the right hand β -scale as Hooghoudt's β -value

Example:

If $D_o/U = 2$ and $D_u = 10 \text{ m}$, then
with $L = 20 \text{ m}$, read $\beta = 2.7$

Note:

If $D_o < 2$ use ERNST's correction
and with the above formula

If $D_o > 17.2$ use $D_o = 17.2$

(after van Bavel's modification)

60 cm

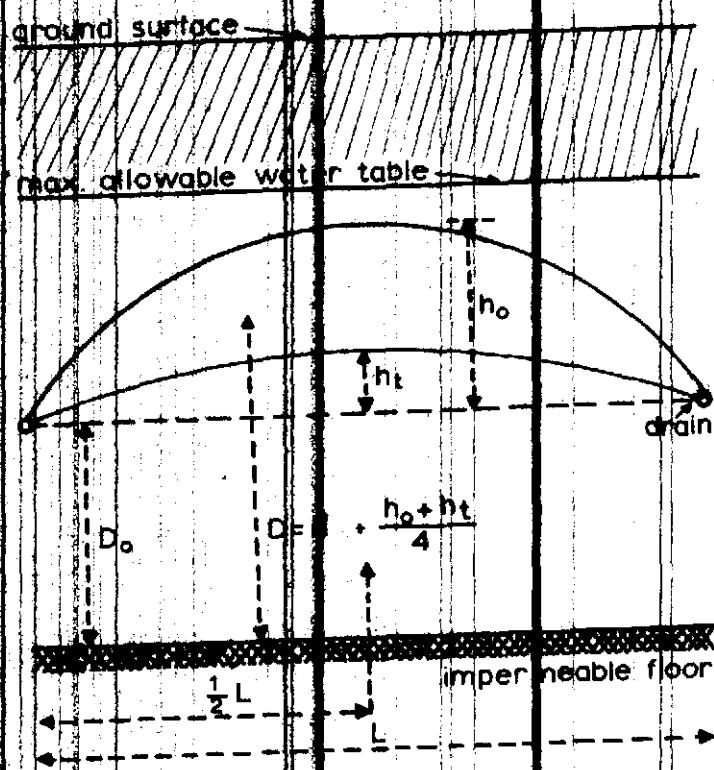


Fig. 3 Symbols used in calculation of drain spacing.

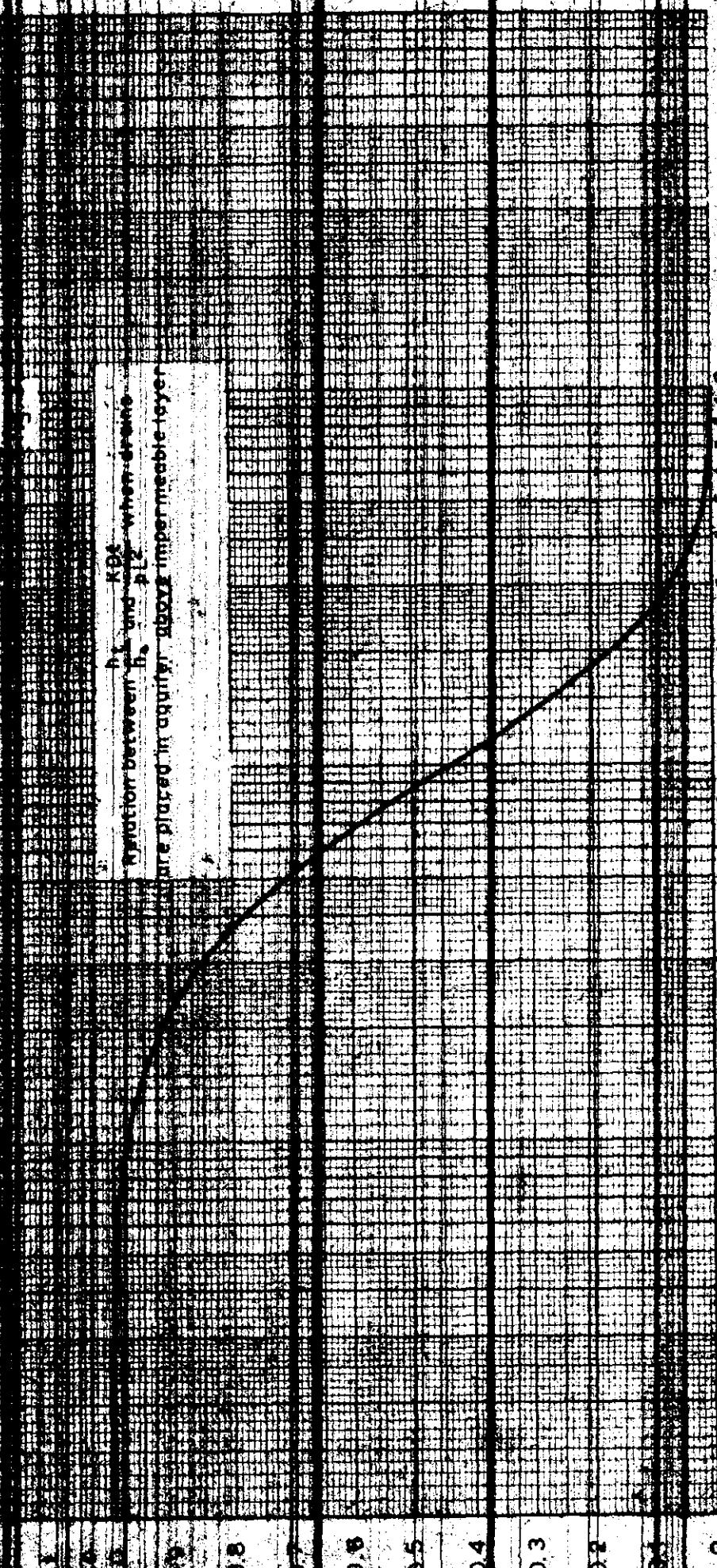
K_{D1}
 K_{D2}

0.1

0.01

0.001

Difference between K_{D1} and K_{D2} when drainage
is more rapid in aquifer above impermeable layer



$\frac{K_{hot}}{PL^3}$

0.1

0.01

0.001

0.0001

Relation between $\frac{h_1}{h_0}$ and $\frac{K_{hot}}{PL^3}$ when strains
are placed on impermeable plates.

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

-0.1

-0.2

-0.3

-0.4

-0.5

-0.6

-0.7

-0.8

-0.9

-1.0

ANNEXE 3

CALENDRIER CASIER EXPERIMENTAL DE DRAINAGE ET DE DESSALEMENT A BOUNDOUM OUEST

	: PARCELLES	: PARCELLES	: PARCELLES	:
: JOURS	: I1, I2, I3	: III1, III2, III3, III4	: III1, III2, III3, III4	:
:	:	:	:	:
:	: prélèvement salure	:	:	:
:	: humidité et PH	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	2 : mise en eau	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	3 : mise en eau	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	4 : mise en eau	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	5 : mise en eau	: prélèvement salure : humidité et PH	:	:
:	:	:	:	:
:	6 : submersion	: mise en eau	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	7 : vidange	: mise en eau	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	8 : vidange	: mise en eau	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	9 : vidange	: mise en eau	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	10 : prélèvement salure	: submersion	: prélèvement salure : humidité et PH	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	11 : -	: vidange	: mise en eau	:
:	:	:	:	:

.../...

CALENDRIER CASIER EXPERIMENTAL DE DRAINAGE ET DE DESSALEMENT A BOUNDOUM OUEST (SUITE)

	: PARCELLES	: PARCELLES	: PARCELLES
: JOUR	: I1, I2, I3	: II1, II2, II3, II4	: III1, III2, III3, III4
:	:	:	:
: 12	: -	: vidange	: mise en eau
:	:	:	:
: 13	: -	: vidange	: mise en eau
:	:	:	:
: 14	: -	: prélèvement salure	: mise en eau
:	:	:	:
: 15	: -	: -	: submersion
:	:	:	:
: 16	: -	: -	: vidange
:	:	:	:
: 17	: -	: -	: vidange
:	:	:	:
: 18	: prélèvement salure et humidité	: -	: vidange
:	:	:	:
: 19	: mise en eau	: -	: prélèvement salure
:	:	:	:
: 20	: mise en eau	: --	: -
:	:	:	:
: 21	: mise en eau	: -	: -
:	:	:	:
: 22	: mise en eau	: prélèvement salure et humidité	: -
:	:	:	:
: 23	: submersion	: mise en eau	: -
:	:	:	:
: 24	: vidange	: mise en eau	: -
:	:	:	:

ESSAI DE DESSALEMENT SUPERFICIEL

ANNEXE 4

Calendrier des mises en eau et mesures

2

	A1	A2	B1	B2
0	prélèvement avant opération (salure)	prélèvement avant effet mèche apport	prélèvement avant opération	prélèvement salure avant opération
1	effet mèche apport			
2				apport
3				apport
4		prélèvement salure		vidange
5	prélèvement salure			vidange prélevement salure
6				apport
7				apport
8		prélèvement salure		vidange
9				vidange prélevement salure
10	prélèvement salure			apport
11				apport
12				vidange
13				vidange prélevement salure
14		prélèvement salure		submersion totale
15	prélèvement salure	vidange		continue
16	vidange	effet mèche apport		
17	submersion totale continue		prélèvement avant opération	
18			apport + vidange	
19			prélèvement	
			apport + vidange	
			prélèvement	
20è			apport + vidange	
21		prélèvement salure	prélèvement	submersion totale
				continue
22				
23				