

09540

Projet Gestion de l'Eau
Coopération Scientifique KULeuven - SAED

Organisation pour le Bassin du Val
de l'Alouane - Sénégal (O.V.A.S.)
Centre de Documentation
Saint-Louis

Rapport Final

Octobre 1993.
SAED - Centre de NDiaye
BP.74, Saint-Louis, Sénégal

022H0

Projet Gestion de l'Eau
Coopération Scientifique KULeuven - SAED

Rapport Final

Octobre 1993.
SAED - Centre de NDiaye
BP.74, Saint-Louis, Sénégal

REMERCIEMENTS

Au terme des quatre années du Projet Gestion de l'Eau, nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance aux coordinateurs du projet, Monsieur Sidy Moctar KEITA, PDG de la SAED et au Professeur Jan FEYEN, directeur de l'Institut de Ressources en Eau et de la Gestion des Terres, pour les facilités accordées à la bonne marche du projet et aussi pour les conseils pertinents qu'ils n'ont cessé de nous prodiguer.

L'aide de la Section de Coopération de l'Ambassade du Royaume de Belgique et son Consulat à Saint-Louis, a été fort appréciée. Que tous ses diplomates trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères.

Nous remercions également Mr Birane KANE et tous les membres de l'ex-DFRD de NDiaye pour le bel esprit de travail dont le projet a bénéficié durant toutes ces années.

Nous exprimons aussi notre gratitude aux ingénieurs délégués qui nous ont facilité la tâche sur le terrain, au directeurs de périmètres et conseillers agricoles pour leurs collaborations dans la conduite des expérimentations. Nos remerciements vont aussi à nos collègues DAGES pour leur implication de tous les jours dans les activités du projet.

Une mention spéciale à Mr. Ali Mohamed DIALLO et son équipe pour toutes les facilités accordés dans l'analyse des échantillons et dans les descriptions des différents profils étudiés.

Nous louons aussi la bonne collaboration qui s'est instaurée entre les cadres et chercheurs de l'ADRAO, de la KULEUVEN, de la Cellule Après-Barrage, de l'ASECNA, de l'OMVS, de l'AGRHYMET, de l'ORSTOM, de l'ISRA et du projet.

Enfin nous ne voudrions pas oublier les étudiants-stagiaires de la KULEUVEN et les stagiaires du Sénégal, pour l'appui conséquent qu'ils nous ont apporté pendant leurs séjours.

Toute cette recherche et formation n'aurait pu avoir lieu sans l'aide financière de l'Administration Générale de la Coopération au Développement (AGCD) du Royaume de Belgique. Que son responsable et toute son équipe trouvent ici notre profonde gratitude.

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	1
 AVANT PROPOS	
1. Genèse du projet.....	4
2. Mise en place.....	4
3. But du projet.....	5
 1. RECHERCHE.....	
1.1 Contexte de la recherche.....	7
1.2 Le Climat.....	7
Paramètres étudiés.....	7
Outils.....	9
- Le logiciel AGROMET.....	9
- Le logiciel RAINBOW.....	10
- Le logiciel IRSIS.....	10
- Lysimètres.....	10
Résultats.....	11
- Homogénéité.....	11
- Précipitations hivernales.....	12
- Précipitations décennales.....	12
- Evapotranspiration de référence.....	16
- Cultures pluviales.....	16
- Besoins en Eau.....	16
1.3 Le Sol.....	17
Paramètres étudiés.....	17
Sols argileux.....	18
- Echantillonnage.....	18
- Résalinisation des sols argileux.....	18
Sols sableux.....	21
- Echantillonnage.....	21
- Schémas d'irrigation.....	21
L'Acidité.....	21
- Echantillonnage.....	21
- Conséquences pratiques.....	23
- Aptitude des sols.....	23
La Salinité.....	26
- Recherche.....	26
- Bilan de sel.....	26
Conclusions générales.....	30
- L'évolution de l'acidité et de la salinité.....	30
- Intensification de la riziculture.....	31
- Le drainage souterrain.....	31
1.4 La Culture.....	31
1.5 L'Environnement.....	33

1.6 Bilans d'eau.....	36
Contexte.....	36
Equation.....	36
Le logiciel EXPO.....	37
Paramètres.....	39
- Irrigation (I).....	39
- Précipitations efficaces (Peff).....	39
- Imbibition (Imb).....	39
- Evapotranspiration du riz (ETriz).....	39
- Percolation (Perc).....	41
- Vidanges (Vid).....	41
- Pertes (Pert).....	41
Bilan saisonnier.....	42
Bilan décadaire.....	42
Efficacités de l'Irrigation.....	44
Energie consommée.....	45
Résultats.....	46
- Bilans saisonniers.....	46
- Bilans décadaires.....	46
- Coûts d'énergie.....	48
1.7 Besoins en eau.....	49
Objet.....	49
Détermination.....	49
- Evapotranspiration du riz.....	49
- L'Imbibition.....	50
- Lamé d'eau.....	50
- Percolation.....	51
- Contrôle de salinité.....	51
- Précipitations efficaces.....	51
- Pertes.....	51
Le logiciel BIRIZ.....	52
2. FORMATION.....	58
2.1 Formation au Sénégal.....	59
Cours.....	59
Séminaires.....	59
2.2 Formation en Belgique.....	60
Informatique appliquée à la gestion de l'eau.....	60
Stage de formation en économie agricole.....	61
Etude du logiciel CD-ISIS.....	61
Etude du logiciel ARC-INFO.....	61
3. CONCLUSIONS.....	62
Bulletins Techniques.....	62
Logiciels.....	63
La Formation.....	63

Avant propos

1. Genèse du projet

Dans le cadre de la mission confiée par l'Etat du Sénégal à la SAED (Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal et des vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé) dont les grands lignes tournent autour de la promotion et du pilotage du développement rural intégré de la zone écologique du fleuve Sénégal, par l'aménagement et la mise en valeur des terres irrigables en vue d'une optimisation de l'eau dans les périmètres irrigués; et

Vu que l'université KULeuven (Katholieke Universiteit Leuven) de la Belgique dispose d'une riche expérience en matière d'appui scientifique aux pays en voie de développement,

il a été convenu entre la SAED et la KULeuven une coopération scientifique dans le domaine de la gestion de l'eau.

En avril 1989, les modalités de collaboration étaient précisées lors d'une mission au Sénégal. La proposition a reçu l'aval du Conseil Inter-Universitaire Flamand (VLIR) et l'accord du Ministre belge de la Coopération au Développement.

Le projet de protocole a été approuvé et signé à Leuven le 9 octobre 1989 par Mr. Sidi Moctar KEITA, le Président Directeur Général de la SAED et Professeur Jan FEYEN de la KULeuven, directeur de l'Institut de Gestion des Terres et des Ressources en Eau.

Le montant du financement, l'objet d'une subvention de l'AGCD (Administration Générale de la Coopération au Développement du Royaume de Belgique), est de 25,000,000 Franc belges, soit environ 200 millions de Fr. CFA. La durée du projet est de 4 ans.

2. Mise en place

Le projet a commencé à prendre forme avec l'arrivée de Mr. Dirk RAES, chef de projet, en novembre 1989. Les contacts nécessaires avec les différents services de la SAED en vue du démarrage effectif du projet ont été pris.

En vue d'une collaboration fructueuse, des contacts avec des services nationaux et régionaux ont été noués (La Cellule Après-Barrages, l'OMVS, l'ISRA, l'AGRHYMET, l'ADRAO).

La localisation du projet a été proposée par le PDG au centre de NDiaye. Les deux grands axes du projet - la recherche et la formation - correspondent parfaitement avec la mission de la DFRD (Direction de la Formation et de la Recherche-Développement), qui était alors logée à NDiaye.

Pour faciliter la mise en place des investissements programmés par le projet, l'exénoration des droits et taxes d'entrée sur le matériel (le carburant, les équipements et fournitures importés au titre du projet), de même que l'admission temporaire pour le matériel de chantier et le véhicule, un arrangement particulier entre la république du Sénégal et le Royaume de Belgique rédigé pendant les premiers mois était nécessaire.

Cet arrangement particulier n'a jamais pu être signé. En effet étant donné que ce projet est un projet de VLIR, il échappe à la juridiction de la Coopération et il est sous la tutelle de l'Université. Le chef du projet n'a que des relations de très bonne collaboration avec la Section de Coopération de l'Ambassade de la Belgique. Grâce à cette collaboration et malgré l'absence d'un arrangement particulier, le projet a quant même pu démarrer sous les meilleures conditions.

Vu que la contribution de ce projet se situe dans le cadre de l'aide indirecte, un échange de lettres entre le Ministère de l'économie et des finances de la République du Sénégal et la KULeuven, a été rédigé. L'échange de lettres est conclu pour une période de quatre ans et fut signé par les deux parties en Août 1990. C'est ainsi que le projet a commencé à mettre l'équipement nécessaire en place.

En mars 1990, avec l'arrivée de Mr. Boubacar SY, ingénieur génie civil, à la DFRD, le responsable du projet gestion de l'eau s'est vu adjoindre un homologue qui s'est vite intégré dans l'équipe.

3. But du projet

Le projet se proposait d'apporter un appui scientifique et didactique à la Direction de la Formation et Recherche-Développement (DFRD) de la SAED, notamment

- a. - en fortifiant la recherche appliquée sur l'optimisation de la gestion de l'eau sur différents types de périmètres irrigués, par un échange mutuel d'expérience et de compétence,
- b. - en offrant aux cadres de la SAED une formation complémentaire dans les domaines de la gestion de l'eau et de la commercialisation des produits agricoles.

Chapitre 1

La Recherche

1.1 Contexte de la recherche

La mise en place du projet Gestion de l'eau s'est effectuée dans un contexte caractérisé par les éléments ci-après :

- le nombre croissant de périmètres irrigués que la SAED doit approvisionner en eau,
- la nécessité de conserver la ressource de base, la terre, tout en améliorant ses capacités productives, et
- la nécessité de protéger l'environnement de la partie du bassin versant du fleuve où la SAED intervient.

Pour ce faire une gestion rationnelle et optimale de l'eau s'impose. Cette gestion doit nécessairement s'accompagner d'une gérance bien appropriée des terres et d'un contrôle judicieux du milieu.

Avant de nous lancer dans une politique de gestion de l'eau, nous avons d'abord entrepris des études approfondies pour une bonne connaissance du climat, des sols, de la culture irriguée et de l'environnement. Nous nous sommes aussi appesantis sur la gestion actuelle de l'eau dans les différents types de périmètres irrigués du delta et de la vallée du fleuve Sénégal par le biais de l'établissement de bilans d'eau.

Avec la connaissance acquise sur l'étude du milieu et sur la gestion actuelle de l'eau, nous avons résumé toutes ces recherches dans le logiciel BIRIZ qui estime les besoins en eau d'irrigation futurs des rizières. Avec cet outil d'aide à la gestion intégrée de l'eau, il est possible à tout moment de l'année de quantifier les volumes d'eau à pomper des grands axes hydrauliques qui alimentent les différents périmètres.

1.2 Le Climat

Paramètres étudiés

Dans le but de déterminer les besoins en eau des cultures, on a étudié la consommation en eau par la culture

(évapotranspiration) et l'importance de l'apport en eau par la précipitation.

On ne s'est pas seulement intéressé au climat actuel, mais aussi à des taux d'évapotranspiration et de précipitation auxquels on peut s'attendre. Ces niveaux peuvent être dérivés d'une analyse statistique des données qui ont été relevées durant les années précédentes.

Cette étude a été menée en deux étapes. Dans un premier temps, la recherche a couvert la zone du delta. Dans cette zone les stations climatologiques de Saint-Louis, NDiaye et Richard-Toll ont servi de support. Une analyse des niveaux d'évapotranspiration et de probabilité d'occurrence de pluies dans différents endroits du delta et à différentes périodes de l'année a été menée.

Pour la réalisation de la deuxième étape, la SAED a fait appel à l'ASECNA (Dakar) pour avoir accès aux données de ses stations météorologiques implantées dans la vallée. Les stations de Dagana, Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel ont été retenues. Toutes les stations possèdent une banque de données de la précipitation journalière. Les facteurs climatiques, nécessaires pour faire une bonne estimation de l'évapotranspiration, ne sont observés par contre qu'à Podor, Matam et Bakel.

La position géographique des stations retenues (Figure 1, Tableau 1) permet une couverture intégrale de la zone étudiée.

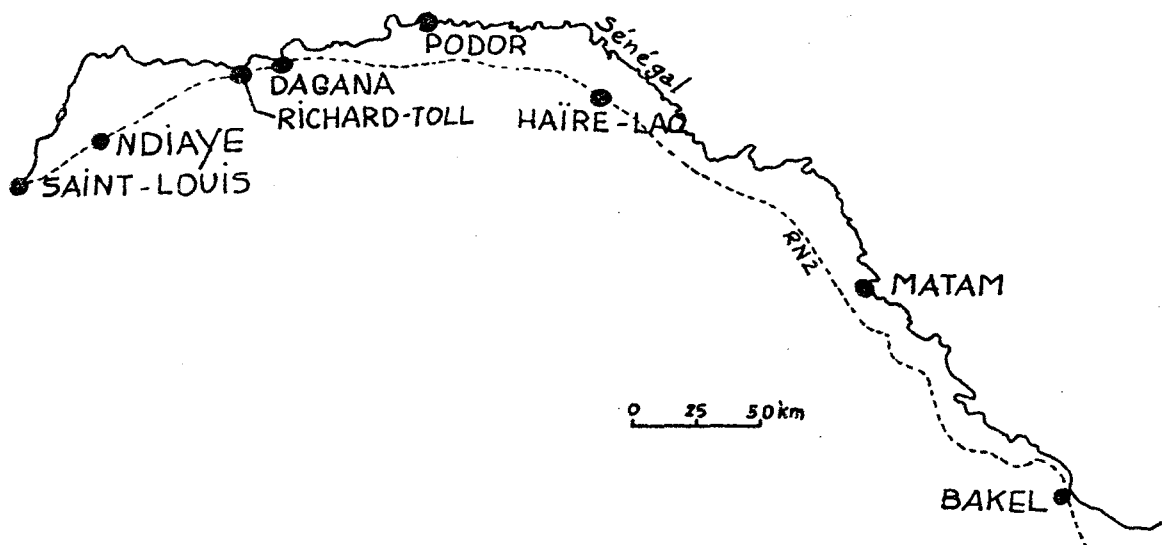


Figure 1.
Position géographique des stations météorologiques.

Tableau 1.
Coordonnées des station météorologiques.

Stations	Latitude (degrés)	Longitude (degrés)	Altitude (m)
Saint-Louis	16°03'N	16°17'W	4
NDiaye	16°13'N	16°15'W	8
Richard-Toll	16°27'N	15°43'W	4
Dagana	16°31'N	15°30'W	5
Podor	16°39'N	14°56'W	6
Haïré-Lao	16°24'N	14°19'W	11
Matam	15°38'N	13°15'W	15
Bakel	14°54'N	12°28'W	25

Outils

Toutes les analyses du climat ont été effectuées par ordinateur à l'aide des logiciels AGROMET, RAINBOW, IRSIS. Pour vérifier les calculs de l'évapotranspiration de référence, des expériences ont été conduites à l'aide de lysimètres installés dans plusieurs champs et dans les stations expérimentales de l'ADRAO.

Le Logiciel AGROMET

Pour faciliter l'analyse et le traitement des données météorologiques recueillies trois fois par jour à la station agro-climatologique de NDiaye, le logiciel AGROMET a été développé. AGROMET est un logiciel qui permet :

- d'introduire et de stocker des relevés météorologiques,
- de traiter ces données,
- de calculer l'évapotranspiration de référence, et
- de fournir des rapports météorologiques journaliers, décennaires et mensuels.

L'évapotranspiration de référence (ETo), est calculée d'un côté à l'aide de la formule de Penman et d'un autre côté en convertissant l'évaporation du bac. Le calcul de l'ETo à l'aide de la formule de Penman, se fait selon trois différentes approches. Les coefficients présentés par Frère et Popov, conformément aux normes mises au point par le programme AGRHYMET (Niamey), et les coefficients présentés par Doorenbos et Pruitt sont utilisés. Et depuis 1991, selon les nouvelles directives de la FAO, une troisième formule basée sur l'approche Penman-Monteith est introduite.

La saisie des données collectées à NDiaye de 1983 à nos jours a été faite. Ces données sont confectionnées dans des rapports mensuels qui peuvent être consultés à la documentation de la SAED (Centre de NDiaye) et qui sont envoyés régulièrement à différents services et organismes.

Les détails du logiciel AGROMET sont présentés dans le Bulletin Technique n°1 du projet (AGROMET - logiciel pour le traitement des données agrométéorologiques).

Le Logiciel RAINBOW

Le logiciel RAINBOW, développé par le Center for Irrigation Engineering de la KULeuven, permet d'une part de tester l'homogénéité de données hydrologiques telles que des séries de précipitations et d'autre part de procéder à une analyse fréquentielle de ces données. Il donne la possibilité de tester plusieurs lois de distribution, telles que les lois de distribution normale, logarithmico-normale, Gumbel, etc.

A l'aide de ce logiciel, toutes les séries des précipitations hivernales des différentes stations ont été testées sur leur homogénéité. Les séries couvrent la période au cours de laquelle la sécheresse a commencé à sévir dans la région (1968) jusqu'à nos jours.

Du moment où l'homogénéité de la série a été confirmée, des analyses fréquentielles ont été exécutées. Elles ont permis de déterminer, avec différentes probabilités, les taux de précipitations hivernales et décadaires auxquels l'ont peut s'attendre.

Le Logiciel IRSIS

Le logiciel IRSIS (Irrigation Scheduling Information System), développé par le Center for Irrigation Engineering de la KULeuven et conçu pour la planification des irrigations, a été utilisé pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_o). Conformément aux résultats acquis à partir de l'étude de l'évapotranspiration à l'aide des lysimètres, les coefficients proposés par Doorenbos et Pruitt sont utilisés. Les moyennes mensuelles de la température minimale et maximale, de l'humidité relative minimale et maximale, de l'insolation relative et de la vitesse du vent (reportée à 2 m du sol) des différentes stations sont utilisées pour calculer l'ET_o.

Lysimètres

L'évapotranspiration, calculée à l'aide des formules qui tiennent compte des facteurs météorologiques, est com-

parée avec l'évapotranspiration mesurée sur le champ à l'aide des lysimètres. Les lysimètres installés étaient au nombre de 13 dont 5 dans la cuvette de NDiaye, 2 à Pont-Gendarme et 6 aux stations expérimentales de l'ADRAO à NDiaye et Fanaye.

De simples fûts à huile, en métal, d'environ 200 litres de capacité ont été utilisés. Le diamètre est 0.56 m et la hauteur 0.94 m. La hauteur est réduite jusqu'à 0.65 m en conservant le fond. Les fûts ont été enterrés dans les parcelles de riz après la mise en eau. A environ deux mètres du bord d'un champ, un trou d'une profondeur de 0.40 m est creusé dans lequel le lysimètre est enfoncé laissant 0.25 m de son hauteur au-dessus du sol. Les 0.40 m au-dessous du sol sont remplis convenablement avec la terre qui vient d'être creusée. On peut supposer que la perturbation du sol n'affecte pas significativement la croissance du riz.

Pour ne pas créer des différences d'évapotranspiration, on veille qu'à l'intérieur du fût la hauteur de la lame d'eau, la densité de semis, la dose de fumure et tout autre traitement de la culture soient semblables à ceux du champ.

Journellement, l'évapotranspiration du riz est mesurée dans les lysimètres. Les taux sont transformés en évapotranspiration de référence en utilisant les coefficients de culture (kc) proposés par la FAO et en faisant des moyens décennaux. Les coefficients kc retenus pour la zone sont 1.15 pour le premier et le deuxième mois, 1.3 pour la troisième mois et 1.05 à la fin de la saison. On a noté une bonne corrélation entre l'évapotranspiration de référence (ET_o) ainsi mesurée et l'ET_o calculée à l'aide de la formule de Penman avec l'approche de Doorenbos et Pruitt.

Résultats

Les résultats sont publiés dans les Bulletins Techniques n°2 (Analyse statistique des pluies enregistrées à NDiaye), n°5 (Analyse de la pluviométrie et de l'évapotranspiration dans la zone du Delta du fleuve Sénégal) et n°7 (Détermination des besoins en eau - Zone de la Vallée du fleuve Sénégal).

L'Homogénéité

Les tests d'homogénéité ont montré que les séries des précipitations hivernales de 1968 à nos jours sont homo-

gènes à Saint-Louis, Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel et non-homogènes à Richard-Toll et Dagana. Les tests ont prouvé qu'à ces deux derniers endroits, la sécheresse est devenue plus sévère ces dix dernières années.

Précipitations hivernales

Les résultats des analyses fréquentielles des précipitations hivernales sont reportés dans la Figure 2. L'analyse représente les hauteurs qui seront dépassées pour un niveau donné de probabilité. Cette probabilité est exprimée en nombres d'années sur 10 (ce qui correspond avec les pourcentages).

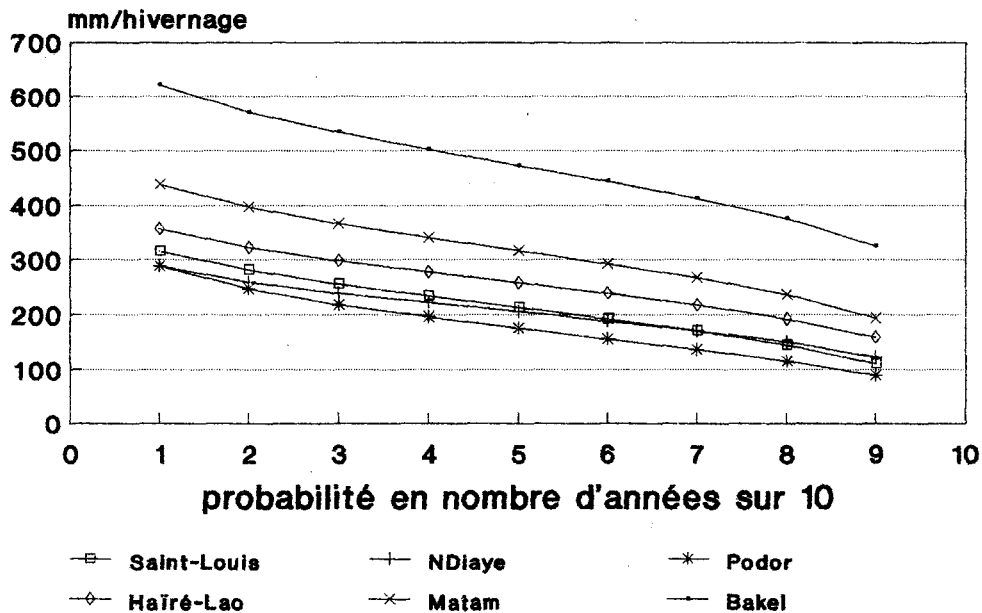


Figure 2.
Probabilité de dépassement
d'une certaine hauteur des précipitations hivernales.

Précipitations décennales

Après une analyse des caractères de pluie, rapportée dans le Bulletin Technique n°5 et n°7, des analyses fréquentielles des séries de précipitations décennales ont été conduites. Les résultats de ces analyses sont résumés dans les Figures 3, 4 et 5. Dans chaque figure sont représentées trois courbes correspondant à des hauteurs de précipitations décennales auxquelles on peut s'attendre avec trois différentes probabilités :

- La courbe correspondant à une occurrence de 5 ans sur 10, est nommée «Décade Normale»,

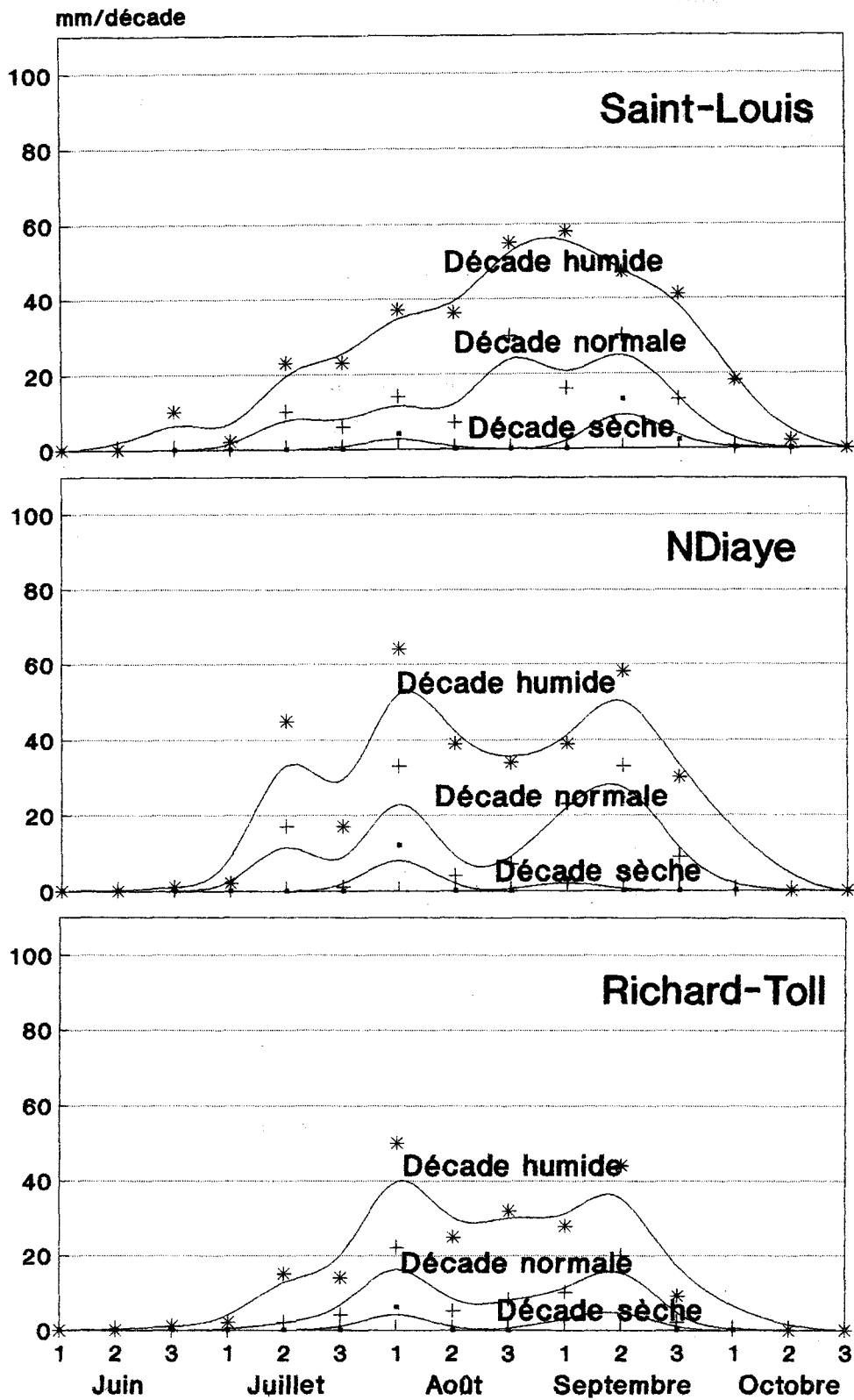


Figure 3.
Hauteurs de précipitation décadaires escomptées
avec trois différentes hypothèses à Saint-Louis, NDiaye
et Richard-Toll (période : 1983 - 1991).

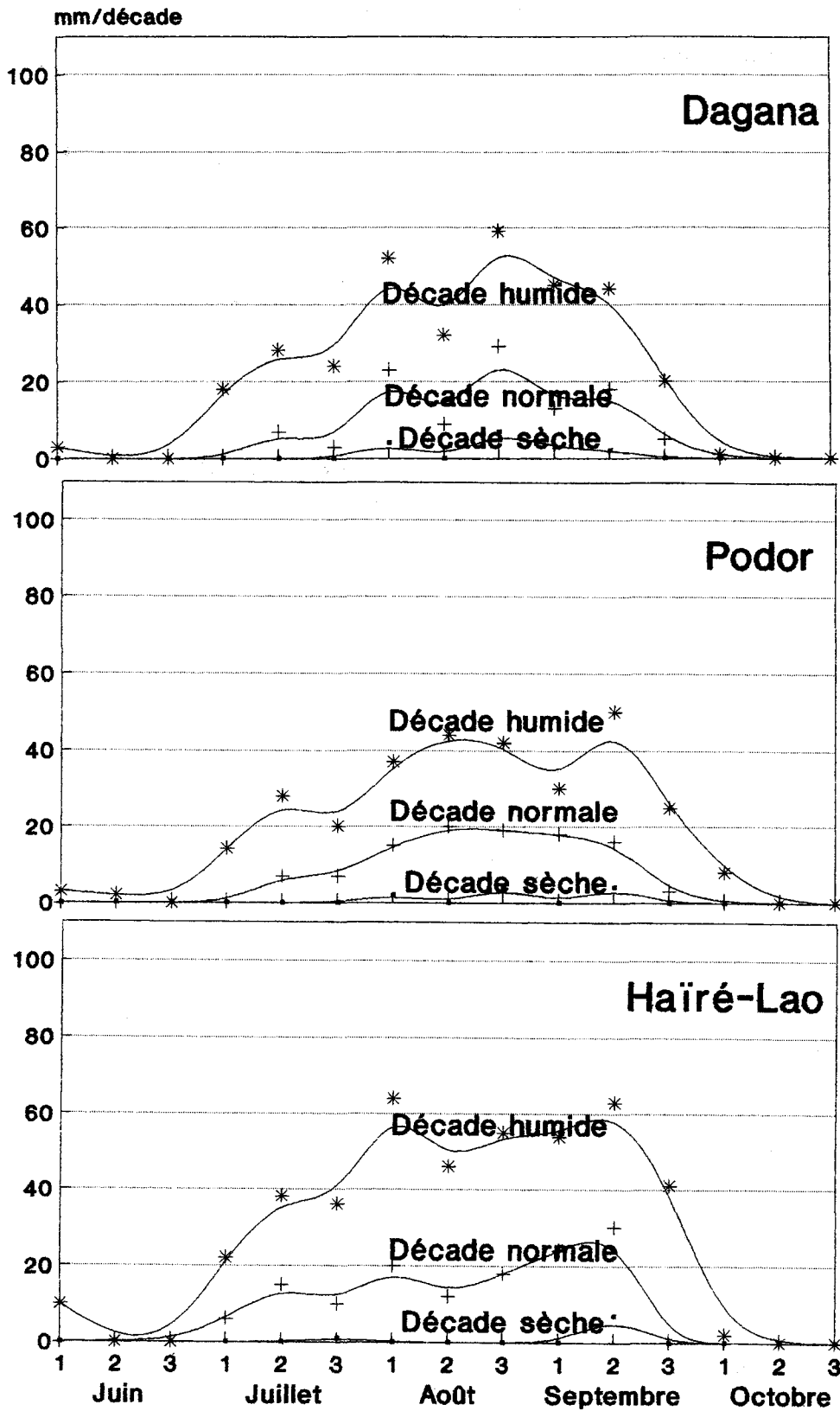


Figure 4.

Hauteurs de précipitation décadaires escomptées avec trois différentes hypothèses à Dagana, Podor et Haïré-Lao (période : 1968 - 1990).

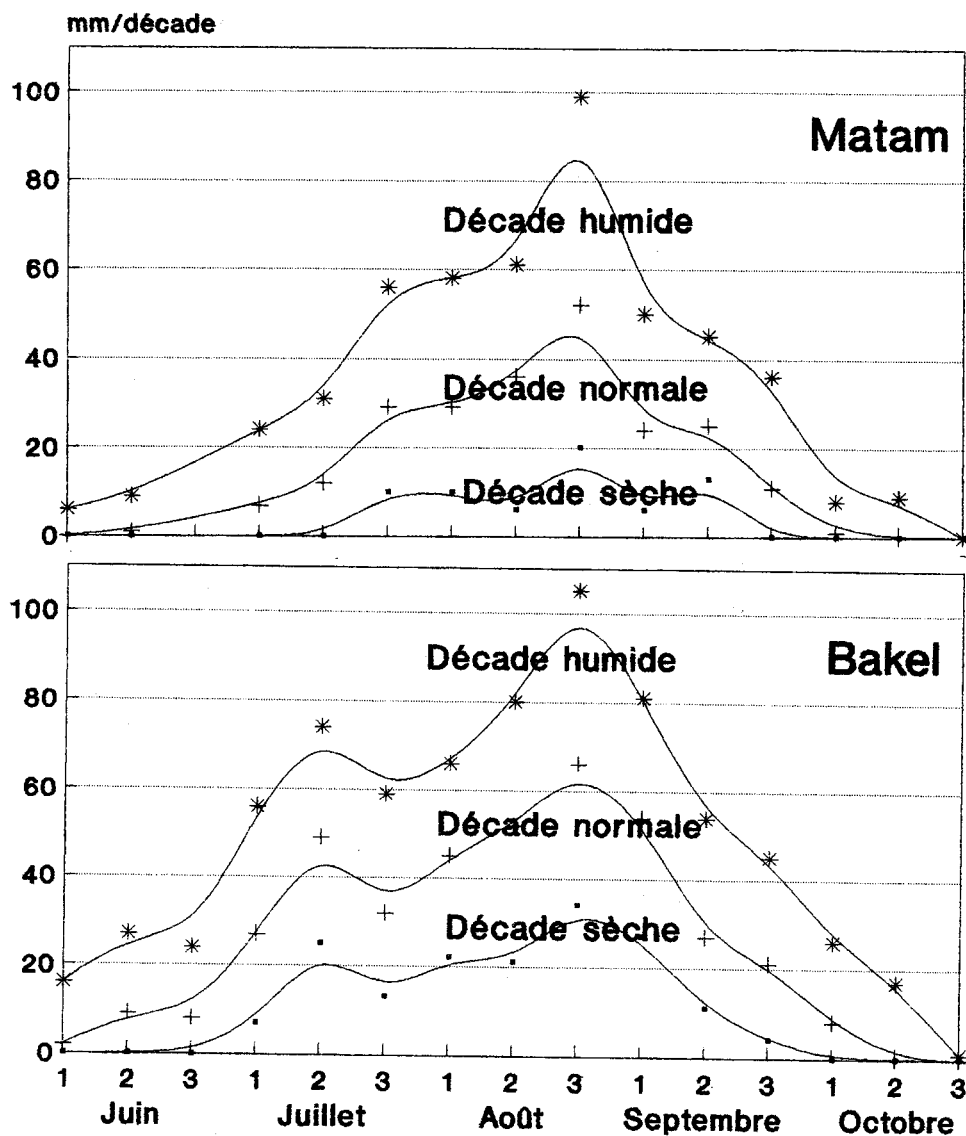


Figure 5.
Hauteurs de précipitation décadaires escomptées
avec trois différentes hypothèses à Matam et Bakel.
(période : 1968 - 1990).

- La courbe nommée «Décade Humide», représente les hauteurs de précipitations qu'on ne dépasse que 2 ans sur 10, et
- La courbe nommée «Décade Sèche», représente les hauteurs de précipitations qu'on n'atteint pas 2 ans sur 10.

L'analyse fréquentielle étant effectuée décade par décade, il est évident qu'une saison sèche n'est pas composée d'une succession de décades sèches, ni une saison humide, de décades humides.

Evapotranspiration de référence

Après une analyse de chaque paramètre climatologique qui rentre en ligne de compte dans les taux d'évapotranspiration, l'évapotranspiration de référence (ETo) a été calculée à l'aide de formule de Penman. Les coefficients proposés par Doorenbos et Pruitt, validés à partir des lysimètres, sont utilisés. Les Figures 6 et 7 donnent les tendances des valeurs mensuelles moyennes d'ETo.

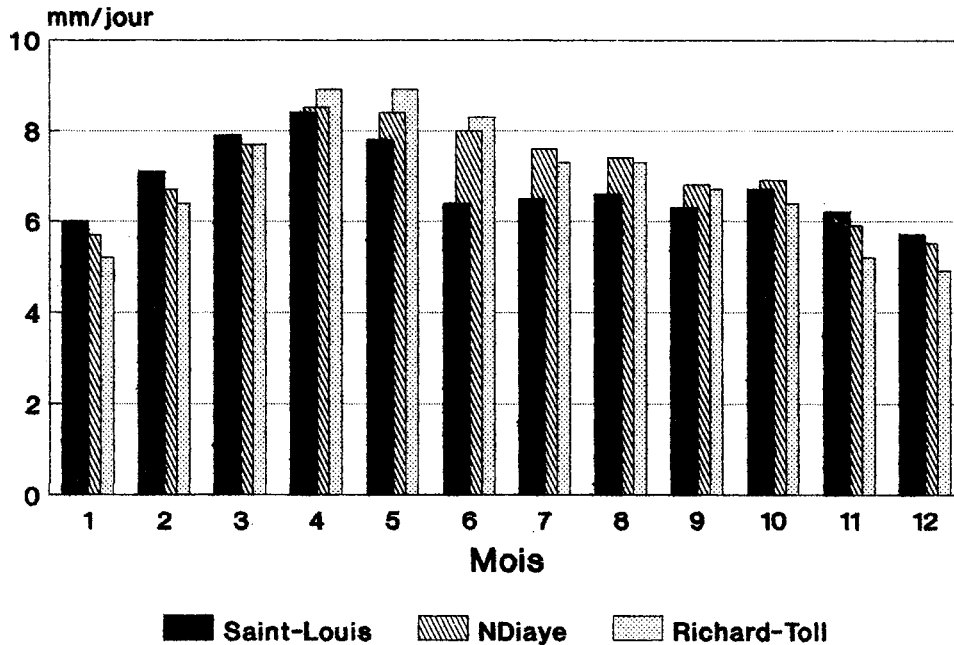


Figure 6.
L'évapotranspiration de référence (ETo)
en fonction du temps et de l'espace dans la zone du Delta
du Fleuve Sénégal.

Cultures pluviales

De l'analyse des précipitations et de l'évapotranspiration il a été tenté de voir s'il était possible sans irrigations d'appoints de boucler des cycles de cultures strictement pluviales. Il est évident qu'il est très difficile, dans le delta et la moyenne vallée d'y arriver. Et même à Bakel où la pluviométrie est bonne, c'est seulement une année sur deux que les rendements seront satisfaisants.

Besoins en Eau

Avec la connaissance de ces mêmes paramètres (pluie et évapotranspiration), une estimation des besoins en eau d'irrigation en période de pointe et pour toute la saison a été effectuée pour des cultures maraîchères à l'aide du

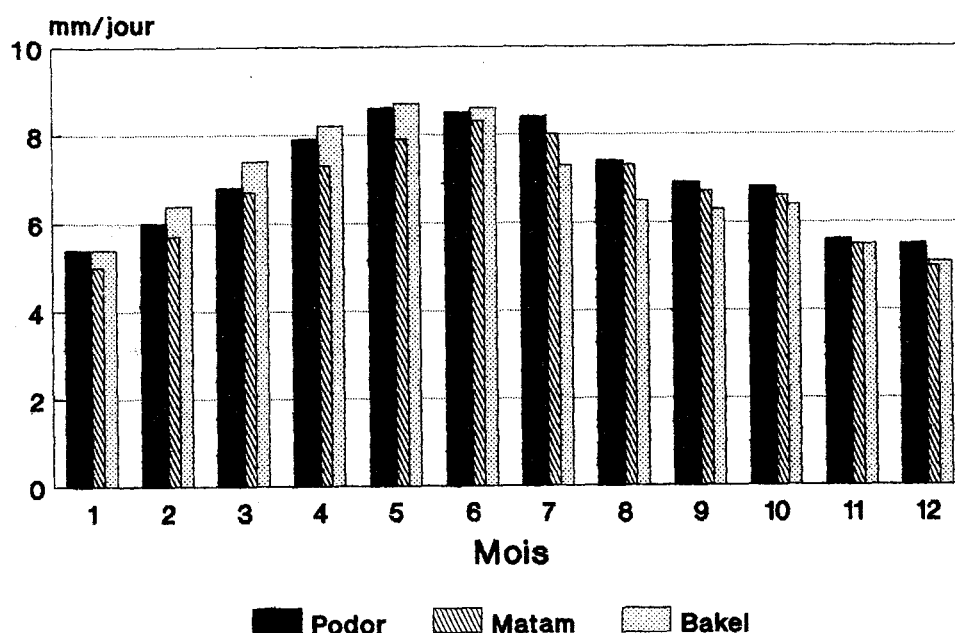


Figure 7.

L'évapotranspiration de référence (ET₀) en fonction du temps et de l'espace dans la Vallée du Fleuve Sénégal.

logiciel IRSIS et pour la riziculture. Ces estimations tiennent compte aussi d'autres paramètres non moins importants tels que les facteurs liés à la culture (date de semis, longueur du cycle, coefficients culturaux, etc.) et ceux liés au sol (texture, percolation, salinité, etc.). Les valeurs de ces derniers paramètres proviennent d'expérimentations et d'observations faites dans la zone du delta et de la vallée par plusieurs équipes de chercheurs. Pour de plus amples informations se reporter aux Bulletins Techniques n°5 et 7 où tous les résultats de l'étude sur les facteurs climatiques et sur les besoins en eau sont présentés dans les détails.

1.3 Le Sol

Paramètres étudiés

Pendant les hivernages de 1990, 1991 et 1992, le projet Gestion de l'Eau a procédé à des études sur des sols du delta du fleuve Sénégal avec l'aide d'étudiants-stagiaires de la Faculté Agronomique de la KULeuven de Belgique. Ces études ont porté sur les problèmes liés à la salinité, à l'acidité et sur certains aspects liés à la physique du sol.

Les résultats de ces recherches sont synthétisés dans le Bulletin Technique n°8 (Les sols du Delta du fleuve Sénégal) dans trois chapitres :

- Propriétés physiques,
- L'acidité, et
- La salinité.

A la fin de chaque chapitre, les conséquences pratiques pour l'irrigation ont été formulées.

Ce travail ne prétend pas être une étude globale et exhaustive pour tous les types de sol rencontrés dans la zone du Delta. Mais cette recherche, bien que limitée dans le temps et l'espace, a tenté par son choix judicieux d'études de cas de montrer des tendances générales sur les sols irrigués du Delta.

Sols argileux

Echantillonnage

A partir des échantillons prélevés dans des sols hollaldé, faux-hollaldé et fondé à des endroits divers dans le delta, une description physique de ces sols a été effectuée pour avoir une bonne idée sur leurs caractéristiques hydro-dynamiques.

Des échantillons remaniés et non-remaniés ont été analysés dans le laboratoire de pédologie de Ross-Béthio en vue de déterminer la courbe de rétention d'eau ($h-\theta$), la densité apparente, et la granulométrie. La conductivité hydraulique a été mesurée en place à l'aide de trous ouverts à la tarière ou, en l'absence d'une nappe hydraulique, à l'aide de la méthode de Porchet (trou à la tarière inversé). En-même temps, la conductivité hydraulique a été déterminée sur les échantillons non-remaniés au laboratoire de Gestion des Terres et de Ressources en Eau de la KULeuven. La relation entre la conductivité hydraulique et l'humidité du sol ($K-\theta$) a été calculée.

Résalinisation des sols argileux

Avec les résultats de ces analyses, il a été procédé à une simulation de la résalinisation des sols argileux à partir d'une remontée capillaire de la nappe phréatique. Pour cette simulation des profils types ont été composés. Les relations mesurées de $h-\theta$ et $K-\theta$ de quelques horizons représentatifs ont été combinés pour créer ces profils types. Ils décrivent les caractéristiques hydro-dynamiques d'un sol fondé (sur une levée), d'un hollaldé (dans

une cuvette de décantation) et d'un sol à texture très fine (dépôt lagunaire). Chaque profil est composé de deux horizons : un horizon supérieur et un sous sol. Parce que l'épaisseur des horizons a son influence sur les résultats des simulations, différentes profondeurs ont été prises en considération dans la composition de chaque profil type.

L'ascension capillaire vers la surface a été simulée dans les différents profils types en supposant que l'horizon supérieur est très sec (potentiel matriciel au point de flétrissement ou plus sec). Différentes profondeurs de la nappe ont été considérées. Les résultats sont données dans la Figure 8.

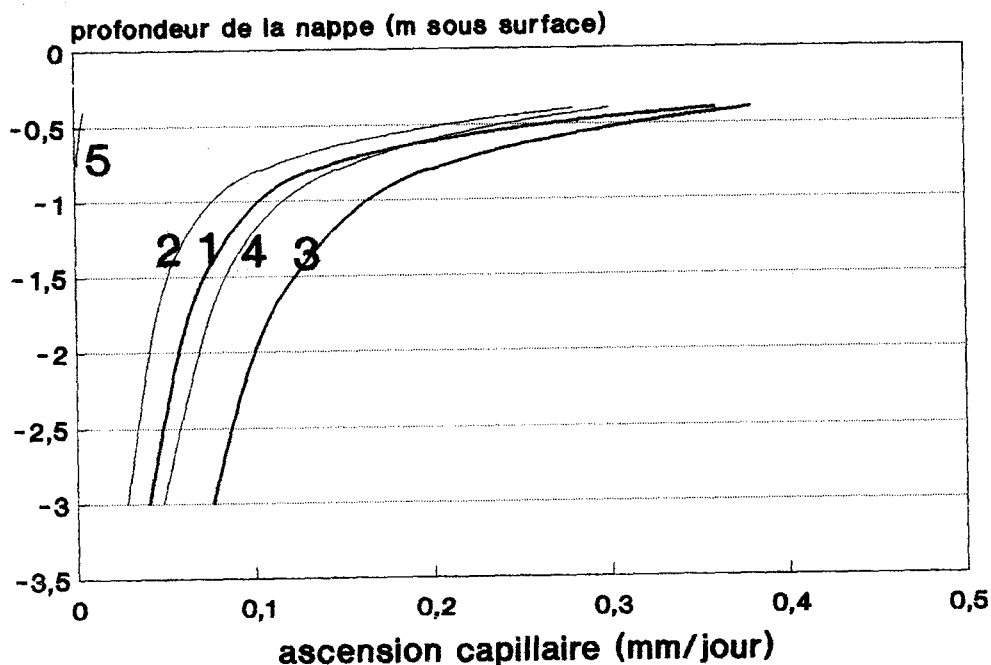


Figure 8.

Ascension capillaire vers la surface.

1. Fondé (peu profond), 2. Fondé, 3. Hollaldé (peu profond), 4. Hollaldé, 5. Dépôt Lagunaire.

Avec la connaissance de la profondeur et de la salinité de la nappe (de 5 à 20 dS/m), les apports de sels peuvent être estimés. Les résultats diffèrent selon qu'on est en présence d'une seule culture de riz (longue période sèche durant laquelle la résalinisation se manifeste) ou de deux cultures de riz par an. Des apports estimés de sel en fonction de la salinité, du taux de l'ascension capillaire et l'intensité culturale sont présentés dans les Figures 9 et 10. Si on pratique la double culture, on a admis que pendant 100 jours les sels peuvent se concentrer à l'horizon supérieur par l'action capillaire. Avec

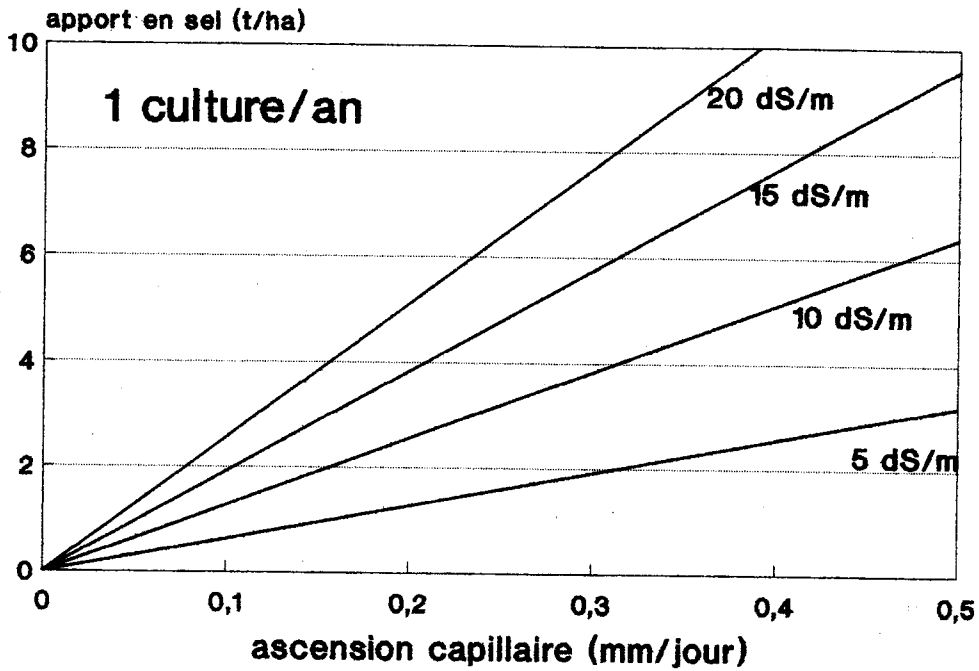


Figure 9.
Apport en sel par ascension capillaire
pour différents taux de salinité de la nappe phréatique.
Une culture par an.

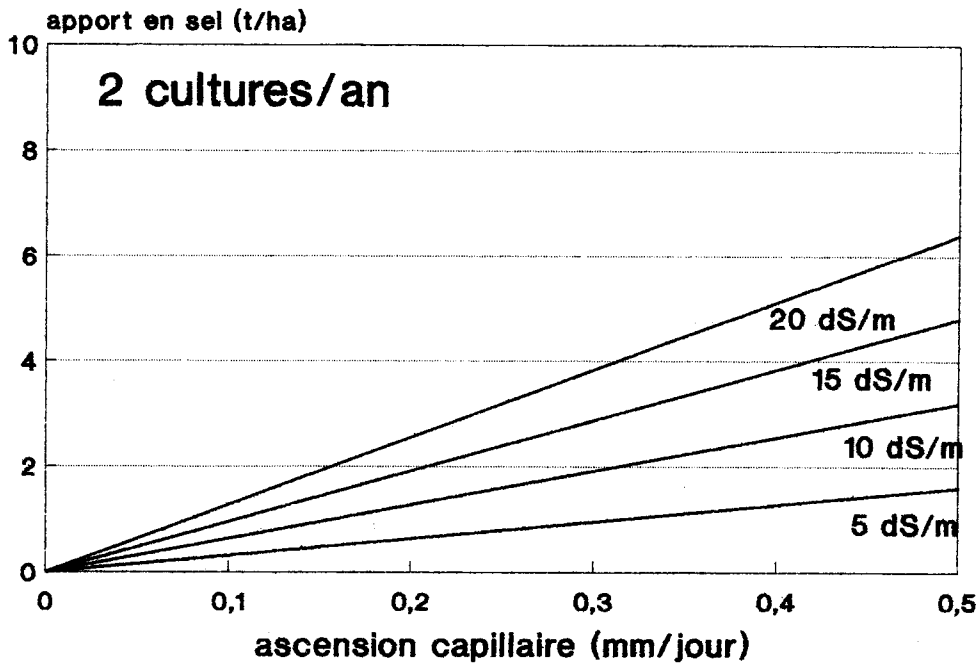


Figure 10.
Apport en sel par ascension capillaire
pour différents taux de salinité de la nappe phréatique.
Deux cultures par an.

une seule culture de riz par an, 200 jours ont été utilisés dans les calculs.

Avec la nappe phréatique à une profondeur de 0.75 m, on peut s'attendre d'après nos estimations à une ascension capillaire de 0.15 mm/jour et donc en conséquence un apport en sel de 1 (double culture) à 2 tonnes/an (simple culture) pour une salinité de la nappe égale à 10 dS/m. L'apport en sel est double si la salinité de la nappe est 20 dS/m.

Sols sableux

Echantillonnage

Un échantillonnage a été entrepris sur des sols sableux de Savoigne, Pont-Gendarme (Diéri) et MBane. Avec ces échantillons une caractérisation hydro-dynamique a été faite de la même manière qu'avec les échantillons des sols argileux.

Schémas d'irrigation

Des schémas d'arrosages ont été établis pour des cultures emblavées sur des sols sableux. A part les propriétés physiques du sol, les schémas sont déterminés par le climat, la culture et le mode d'irrigation.

Après la détermination des paramètres liés au sol, climat, plante et mode d'irrigation, différents schémas d'irrigation ont été calculés et évalués à l'aide du logiciel IRSIS (Irrigation Scheduling Information System). L'évaluation est basée sur la quantité d'eau perdue par percolation (hors de la zone racinaire) occasionnée par une sur-irrigation, et sur la baisse en rendement occasionnée par une sous-irrigation. Des schémas simples, où les sur-irrigations et sous-irrigations sont minimales, sont représentés dans le Tableau 2.

L'Acidité

Echantillonnage

Afin d'évaluer l'importance de l'acidité actuelle et potentielle dans l'équilibre ionique du sous-sol du delta, une vingtaine de sites dans le delta ont été choi-

Tableau 2.
Schémas d'irrigation de quelques spéculations cultivées
sur des sols sableux dans le delta du fleuve Sénégal.

Site	Savoigne	Pont-Gendarme	MBane
Arachide (hivernage) :			
Pré-Irrigation (mm)	20	20	20
Schéma(°)	s...1½mois	s...½mois	s...½mois
- intervalle (jour)	3... 4	1... 4	3... 5
- dose (mm)	12... 28	15... 30	20... 35
Maïs (hivernage) :			
Pré-Irrigation (mm)	20	20	30
Schéma(°)	saison	s...½mois	s...½mois
- intervalle (jour)	4	3... 4	3... 4
- dose (mm)	28	20... 35	20... 35
Maïs (contre-saison froide) :			
Pré-Irrigation (mm)	20	20	30
Schéma(°)	saison	s...1 mois	s...1 mois
- intervalle (jour)	4	3... 5	3... 5
- dose (mm)	30	10... 40	20... 35
Oignon (contre-saison froide) :			
Pré-Irrigation (mm)	20	20	30
Schéma(°)	saison	s...1 mois	s...1 mois
- intervalle (jour)	2	1... 3	2... 4
- dose (mm)	15	10 20	15... 25
Tomate (contre-saison chaude) :			
Pré-Irrigation (mm)	20	20	
Schéma(°)	s...2½mois	saison	
- intervalle (jour)	4... 4	4	
- dose (mm)	24... 28	25	

(°) s (= semis), après...x mois

sis en collaboration avec Mr. Diallo du service de pédologie. A chaque site des échantillons de l'horizon sulfurique ont été prélevés et une caractérisation physiographique a été effectuée pendant l'hivernage 1992. Au laboratoire, le pH, le SO_4^{--} (acidité actuelle) et l'acidité potentielle ont été déterminés.

Les profils des différents sites, constitués de sols acides sulfatés (Thionic fluvisols) en différents stades d'évolution, sont décrits dans le Bulletin Technique n°8. De cette étude, il ressort que la pratique d'irrigation a résulté en une évolution favorable aussi bien pour l'acidité actuelle que pour l'acidité potentielle.

Conséquences pratiques

Selon qu'on est en présence de l'acidité actuelle ou potentielle, les conséquences pratiques suivantes peuvent être retenues :

Acidité actuelle présente au-dessous de la zone radriculaire :

Dans les endroits où l'acidité actuelle est absente de la zone radriculaire, il n'existe pas de danger immédiat pour la culture. L'acidité éventuelle dans le sous-sol sera lentement lessivée par la quantité d'eau d'irrigation qui infiltre hors de la zone radriculaire.

Acidité actuelle présente dans la zone radriculaire :

Avant d'être mis en culture les sols où l'acidité actuelle (pH en dessous de 5.5) est présente dans la zone radriculaire, un chaulage doit être effectué. Un apport de 10 à 15 tonnes de coquillages moulus, élèvera le pH de la zone radriculaire au niveau optimal (entre 6 et 7). Les coquillages sont présents partout dans le delta, mais la faisabilité du chaulage dépendra du coût de transport et du traitement des coquillages.

Acidité potentielle :

Un taux élevé de pyrite se trouve à faible profondeur dans le sous-sol d'un grand nombre de sols. Cette couche d'acidité potentielle est localisée dans la zone peu aérée de la nappe phréatique. Une baisse artificielle de la nappe par un drainage souterrain devrait donc être évitée. Ceci pourrait engendrer l'oxydation de la pyrite avec la formation de l'acide sulfurique (H_2SO_4). Une fois de grandes quantités d' H_2SO_4 formées, le pH descend si bas (pH 2.5) que des quantités énormes de chaux seront nécessaires pour remettre le sol de nouveau en culture. Une baisse de la nappe phréatique par un drainage souterrain est donc à éviter si une acidité potentielle existe dans le sous-sol.

Aptitude des sols

Suite à l'étude d'une vingtaine de sites dans le Delta du fleuve Sénégal, une évaluation de l'aptitude des sols au riz irrigué est présentée dans la Figure 11. Cette évaluation est uniquement basée sur la présence d'une acidité actuelle et/ou potentielle dans le sol et ne tient pas compte d'autres déficiences des terres, comme des déficiences dues à l'excès de sels, de la topographie, du drainage, etc.

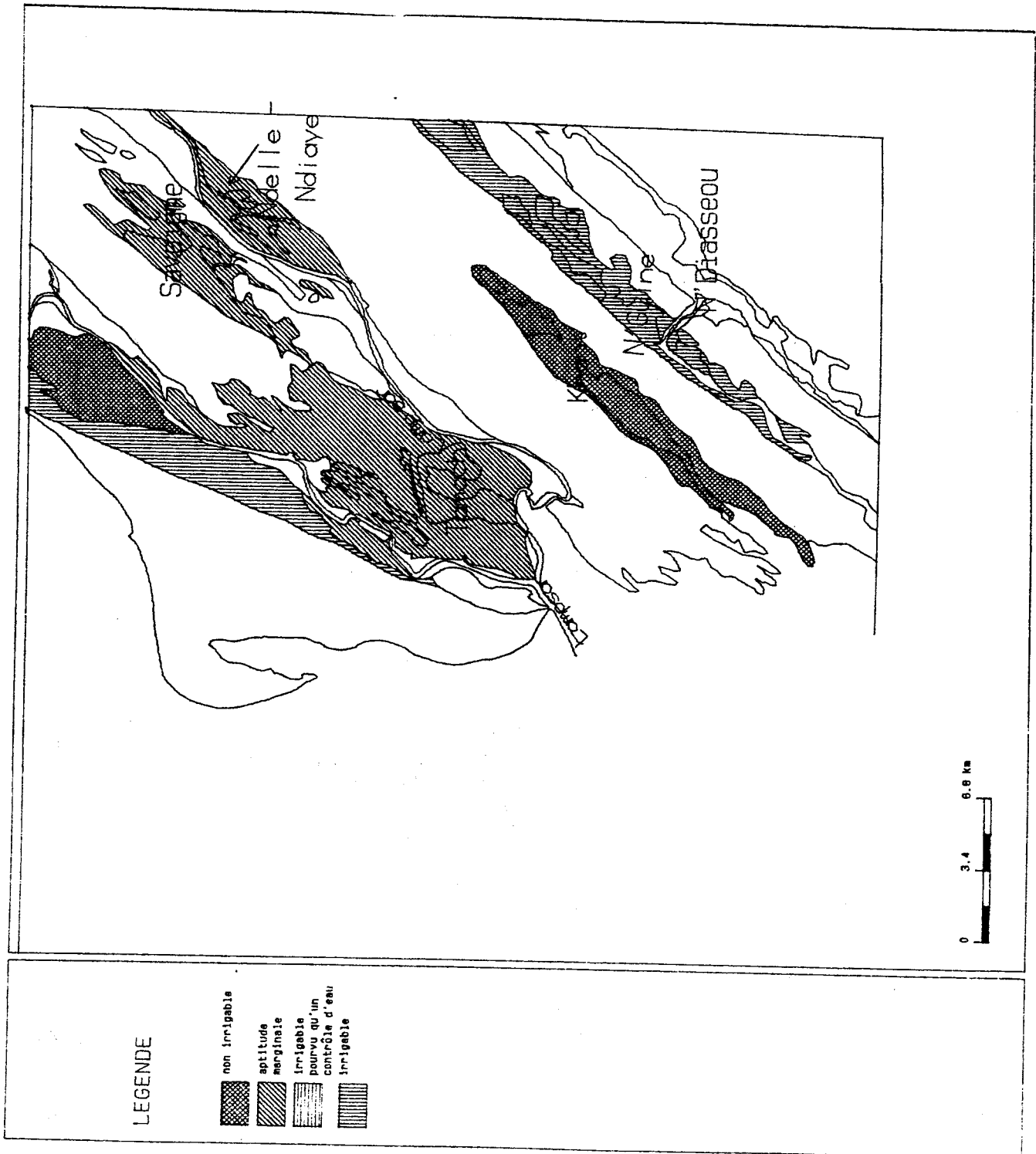


Figure 11a
Aptitude des terres du delta du Sénégal à la riziculture,
basée sur la présence ou non d'acide.

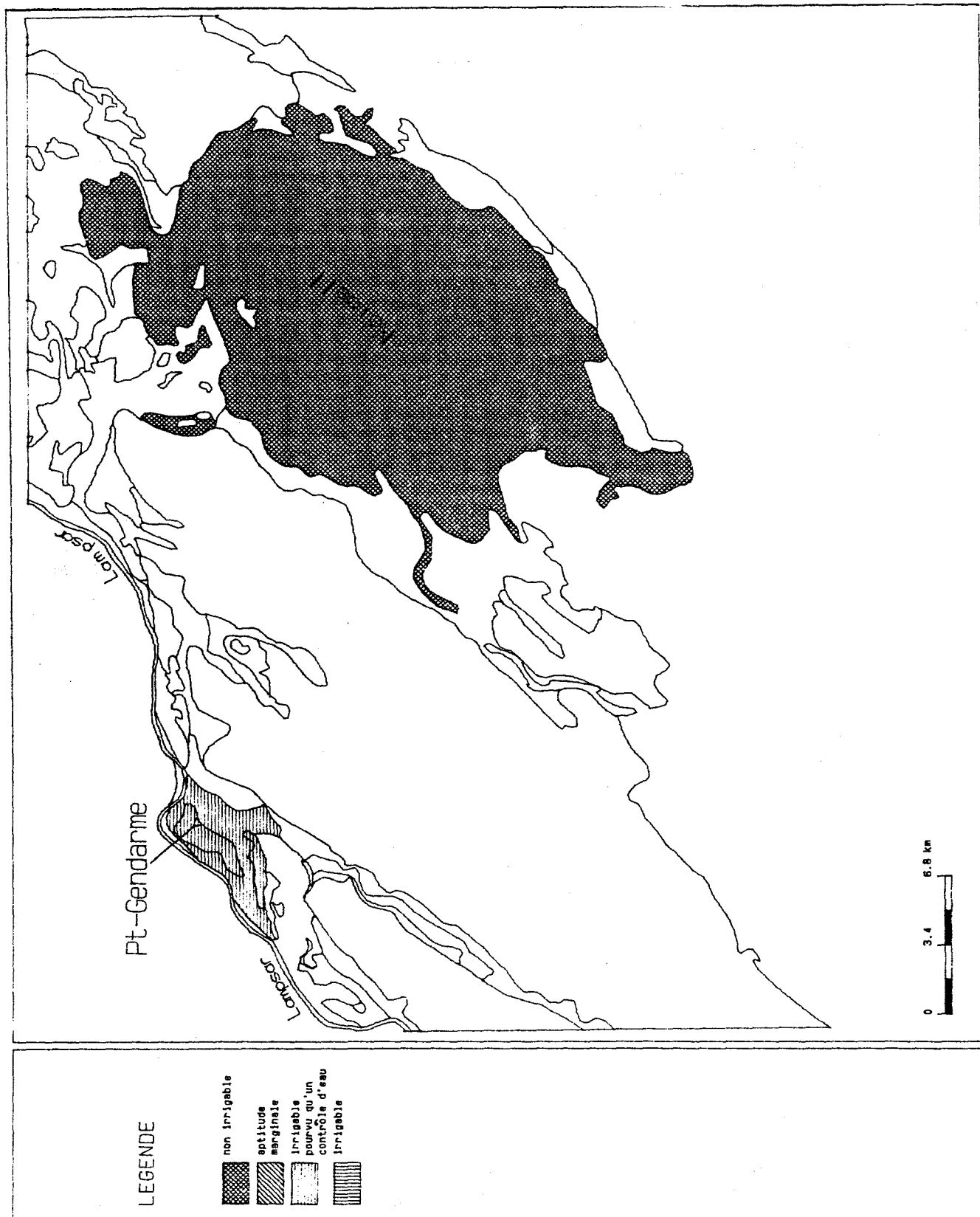


Figure 11b
Aptitude des terres du delta du Sénégal à la riziculture,
basée sur la présence ou non d'acide.

La salinité

La recherche

Une évacuation des sels solubles, présents en grand nombre dans les plupart des sols du delta est nécessaire afin de mettre le terrain en culture. Cette évacuation doit se faire de façon continue parce que pendant la saison sèche, l'eau chargée de sels monte de la nappe phréatique vers la surface (voir Sols argileux - la résalinisation). En fonction de l'intensité culturale, du type de sol, de la profondeur et du degré de salinité de la nappe, l'apport en sel est de l'ordre de 1 à 4 tonnes/ha.an selon nos estimations (Figures 9 et 10).

Les rizières sont désalinisées par une percolation de l'eau douce de l'irrigation à travers la zone racinaire et par une évacuation de la lame d'eau devenue saumâtre suite à une dissolution des sels. Dans les périmètres de la SAED, le drainage de surface est pratiqué systématiquement pendant la saison de croissance. Par contre dans les périmètres privés le drainage de surface se fait moins régulièrement. Il en résulte que parfois les champs situés sur des terrains très salés et peu perméables doivent être abandonnés après quelques années de culture à cause d'une salinisation.

Pendant les hivernages de 1990 et 1991, la salinité de la lame d'eau, de l'eau d'irrigation et de drainage dans quelques sites du delta, a fait l'objet d'un suivi minutieux. En même temps, les bilans ioniques et la salinité dans les sols ont été suivis. En plus, en 1992, la salinité de la lame d'eau a été suivie dans des champs de périmètres privés. Dans ces périmètres, le drainage de surface est très difficile à cause d'un manque de réseau de drainage. Les résultats de toutes ces analyses sont mentionnés dans le Bulletin Technique n°8.

Bilan de sel

A partir de notre connaissance du milieu on a établi un bilan de sel, dans lequel il a été estimé l'apport en sel par ascension capillaire et par l'eau d'irrigation et l'évacuation de sel par drainage vertical et par drainage de surface de la lame d'eau.

Apport

- Par ascension capillaire :

En fonction de l'intensité culturale, du type de sol, de la profondeur et du degré de la salinité de la nappe, l'apport en sel est de l'ordre de 1 à 4 tonnes par an et par ha selon nos estimations (voir Figures 8, 9 et 10).

- Par eau d'irrigation :

D'une façon générale, l'eau du fleuve est d'une bonne qualité pour l'irrigation. Cependant il y a lieu de faire attention aux détériorations causées par le sel du fait d'une intrusion marine accidentelle ou d'une évacuation des eaux d'exhaure dans le fleuve ou dans ses défluent. En plus, l'eau d'irrigation, dans son cheminement à travers le réseau, peut devenir saumâtre surtout en début de campagne par l'entraînement des sels déposés dans les canaux par l'ascension capillaire en période de non-irrigation.

Malgré la bonne qualité de l'eau, des quantités énormes de sels peuvent être apportées, vu le grand besoin en eau d'irrigation pour une riziculture dans un climat chaud et aride. Les besoins en eau pour une campagne de riz sont de l'ordre de 14,000 à 18,000 m³/ha en hivernage et de 18,000 à 25,000 m³/ha en contre-saison chaude.

Par la connaissance des besoins en eau et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (environ 0.2 dS/m), les quantités apportées en sel par campagne sont résumées dans la Figure 12.

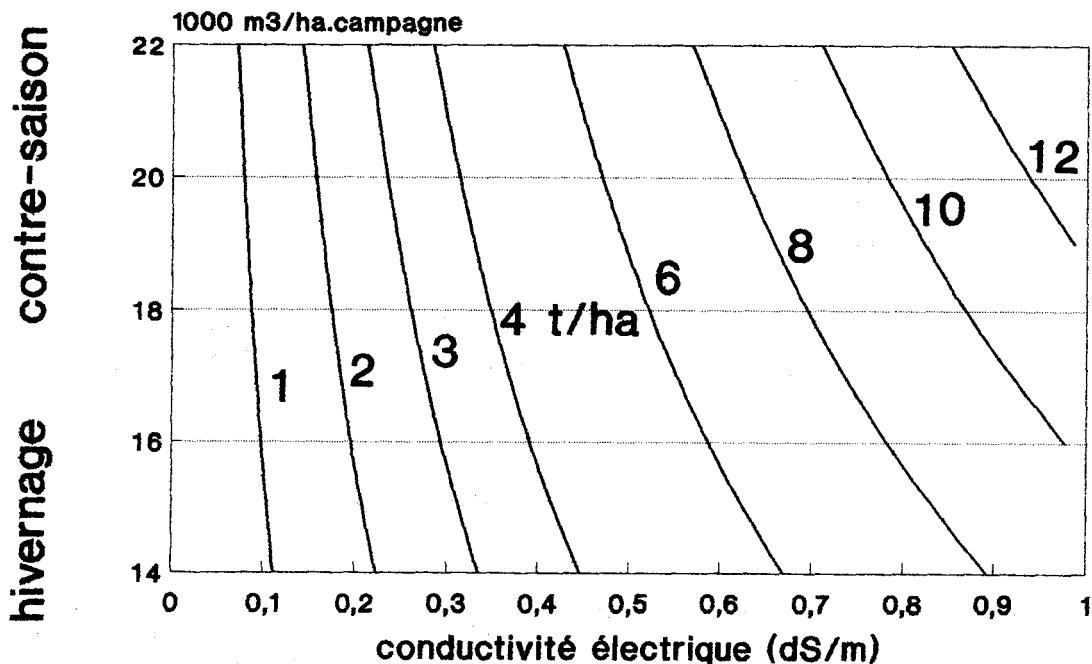


Figure 12.

Quantité de sel apportée au cours d'une campagne par l'eau d'irrigation en fonction de sa conductivité électrique et les besoins en eau.

Evacuation

Une évacuation des sels s'impose donc dans les rizières. Ce processus doit être continu à cause de l'apport en sel par l'eau d'irrigation et par l'ascension capillaire à partir de la nappe phréatique pendant la période hors culture. Cette évacuation est possible par un drainage vertical de l'eau d'irrigation à travers la zone racinaire et par un drainage de surface de la lame d'eau.

- Par drainage vertical :

Le drainage vertical peut être important au début de la campagne. Mais après peu de temps, il se stabilise à un niveau de 1 à 2 mm par jour dans les cuvettes aménagées et jusqu'à 4 à 5 mm par jour dans les périmètres avec des sols fondés. La Figure 13 donne la quantité de sel évacuée au dessous de la zone racinaire au cours de chaque campagne de riz en fonction de la percolation du terrain et de la conductivité électrique moyenne de la lame d'eau au cours de cette campagne.

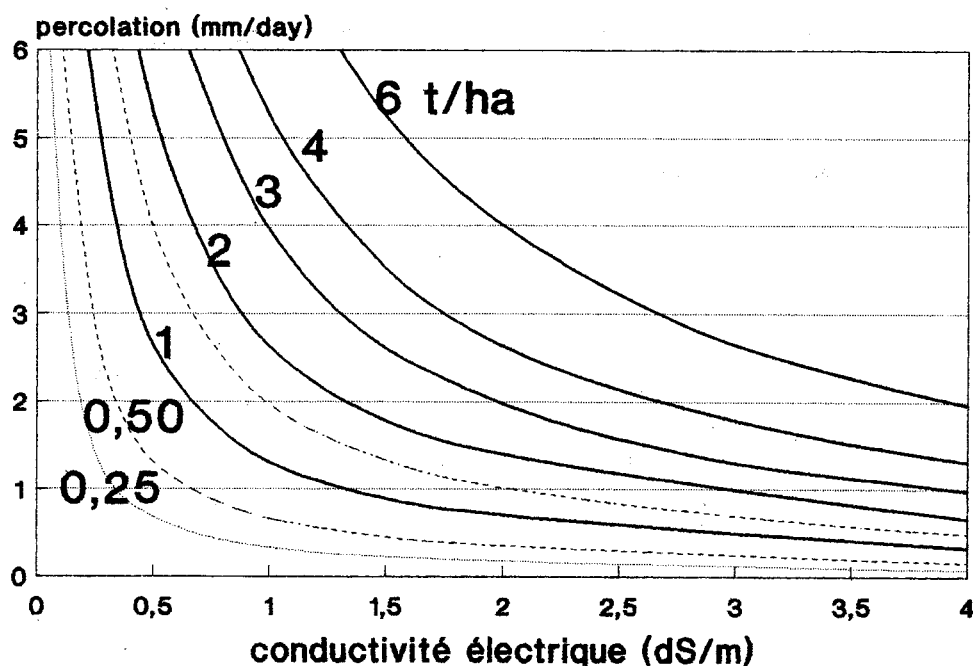


Figure 13.

Quantité de sel évacuée au cours d'une campagne par percolation en fonction de la perméabilité du terrain et la conductivité électrique moyenne de la lame d'eau.

- Par drainage de surface de la lame d'eau :

Le drainage vertical n'est souvent pas suffisant et n'est en plus qu'une exportation provisoire qui ne fait que déplacer les sels hors de la zone racinaire, d'où une nécessité de le coupler avec un drainage de surface. Pour ce drainage de surface, un premier assèchement est effec-

tué une semaine après le semis pour favoriser l'enracinement des plantules. Selon nos mesures environ 80 mm sont drainés à ce moment, évacuant ainsi 0.5 tonnes de sel/ha en admettant une salinité de la lame de 1 dS/m.

En fonction de la salinité des champs, d'autres drainages de surface peuvent être nécessaires pendant la période de croissance afin de garder la qualité de la lame d'eau dans de bonnes limites. Ces drainages peuvent correspondre à des besoins liés à l'entretien de la culture (application des herbicides). Nos observations ont montré que souvent un ou plusieurs drainages sont effectués en cours de saison. Avec la Figure 14, les quantités de sel évacuées par drainage de surface peuvent être estimées par la connaissance de la hauteur et de la conductivité électrique de la lame évacuée.

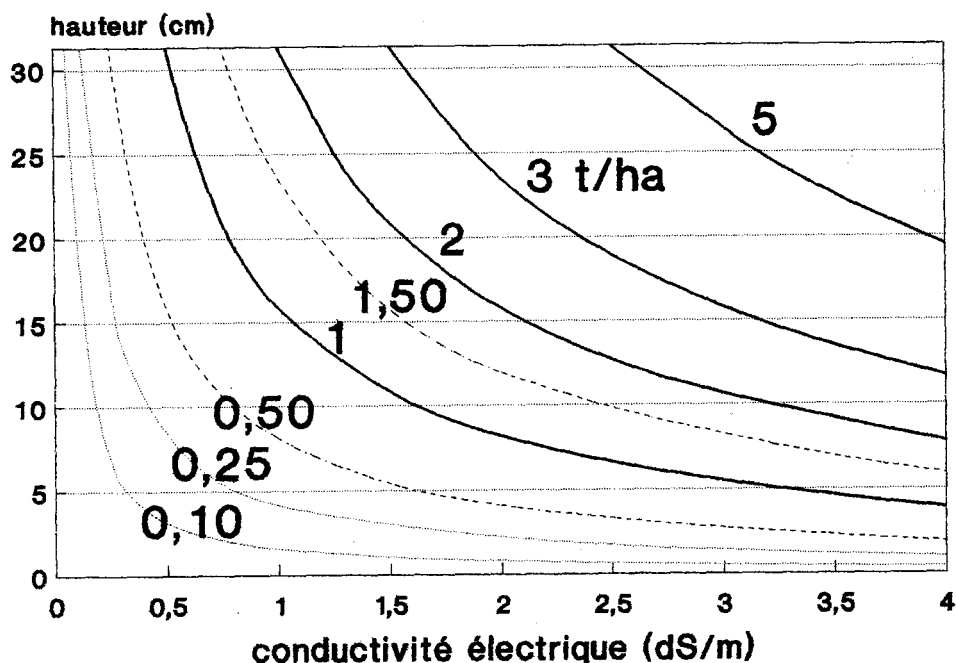


Figure 14.

Quantité de sel évacuée au cours de chaque drainage de surface en fonction de la hauteur et de la conductivité électrique de la lame évacuée.

L'assèchement avant récolte, pratiqué dans tous les champs, évacue encore des sels qui n'ont plus d'influence sur le rendement de la culture en cours mais qui ont leur importance pour une désalinisation progressive des sols.

Conclusions

Dans le Tableau 3 il est résumé, nos estimations des apports en sel auxquels on peut s'attendre et des évacua-

tions nécessaires, selon qu'on est en présence d'un sol fondé ou hollaldé et en admettant une salinité de lame de l'ordre de 1 à 1.5 dS/m, qui est une bonne tolérance pour la riziculture.

Le bilan de sel présenté dans le Tableau 3 n'est qu'un guide pour une première évaluation. Les quantités peuvent varier en fonction :

- de la qualité et de la quantité de l'eau d'irrigation,
- de la profondeur et de la salinité de la nappe,
- de la perméabilité et de la salinité du terrain, et
- du mode de gestion de l'irrigation et de drainage pratiqué.

Néanmoins, les bilans présentés sont en conformité avec des valeurs trouvées dans l'établissement des bilans d'eau de plusieurs cuvettes du delta.

Tableau 3.
Sels apportés et évacués en tonne/ha. campagne de riz.

Processus	Fondé	(Faux)- Hollaldé	Réfé- rence
Apport			Figures
- irrigation	1...2...4	1..2..4	12
- nappe	1..1.5..2	1..2..4	9,10,11
Evacuation			
- percolation	3	2	13
- drainages de surface			
1° assèchement (80mm)	0.5	0.5	14
drainages (150 mm)	-	1.5	14

Il est possible de pratiquer la riziculture dans des périmètres dépourvus de réseaux de drainage à la condition d'une part d'une bonne perméabilité du terrain et d'autre part d'une assurance de drainages de surface même par le biais d'une irrigation de parcelle en parcelle.

Conclusions générales

L'évolution de l'acidité et de la salinité

Pour des sols argileux, l'évolution de l'acidité et de la salinité sous l'influence de l'irrigation a été étudiée. Il résulte de cette étude que la riziculture, du fait de son mode d'irrigation, est une bonne spéculation pour un

contrôle de l'acidité et de la salinité. En effet, les sols sont lessivés en permanence et les sels sont en plus évacués par un drainage de surface dans des aménagements à maîtrise complète de l'eau. Si ce drainage de surface n'est pas pratiqué et le terrain est peu perméable, une salinisation se manifeste et les champs doivent être abandonnés après quelques années de culture. Une estimation du bilan de sel a été développée en fonction :

- de la qualité et de la quantité de l'eau d'irrigation,
- de la profondeur et de la salinité de la nappe,
- de la perméabilité du terrain, et
- du mode de gestion du drainage appliqué.

Intensification de la riziculture

Bien que le riz soit une bonne spéculation et prisée par les agriculteurs, une intensification de la riziculture dans le delta sans contrôle dans l'espace et le temps (double culture) risque de provoquer une remontée de la nappe phréatique. Cette remontée va se traduire en une ascension capillaire plus importante, donc en un apport en sel plus élevé, d'où des besoins en eau plus grands. Ce processus va s'intensifier jusqu'à ce que la nappe très salée atteigne la zone racinaire. A ce moment toute culture devient de ce fait impossible et un drainage souterrain s'impose.

Le drainage souterrain

Il est à éviter que le drainage souterrain qui va s'imposer après une intensification de la riziculture dans le delta, soit trop profond parce qu'à ce stade il risque d'aérer la zone où se trouve le pyrite, provoquant ainsi une forte acidification. Par ce que le drainage ne doit pas être trop profond, le réseau sera de ce fait dense, donc couteux.

1.4 La culture

Une étude sur la connaissance agronomique de la culture de riz n'a pas été menée par le projet. Cependant une bonne collaboration s'est instaurée avec la Station Régionale de l'ADRAO (Association pour le Développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest) à NDiaye. Le projet a développé deux sous-modèles pour leur modèle de Croissance du

riz. Un de ses sous-modèles simule l'évaporation et la transpiration d'une rizière en fonction de la couverture végétale, de paramètres physiologiques et du climat. L'autre modèle simule le ressuyage des sols

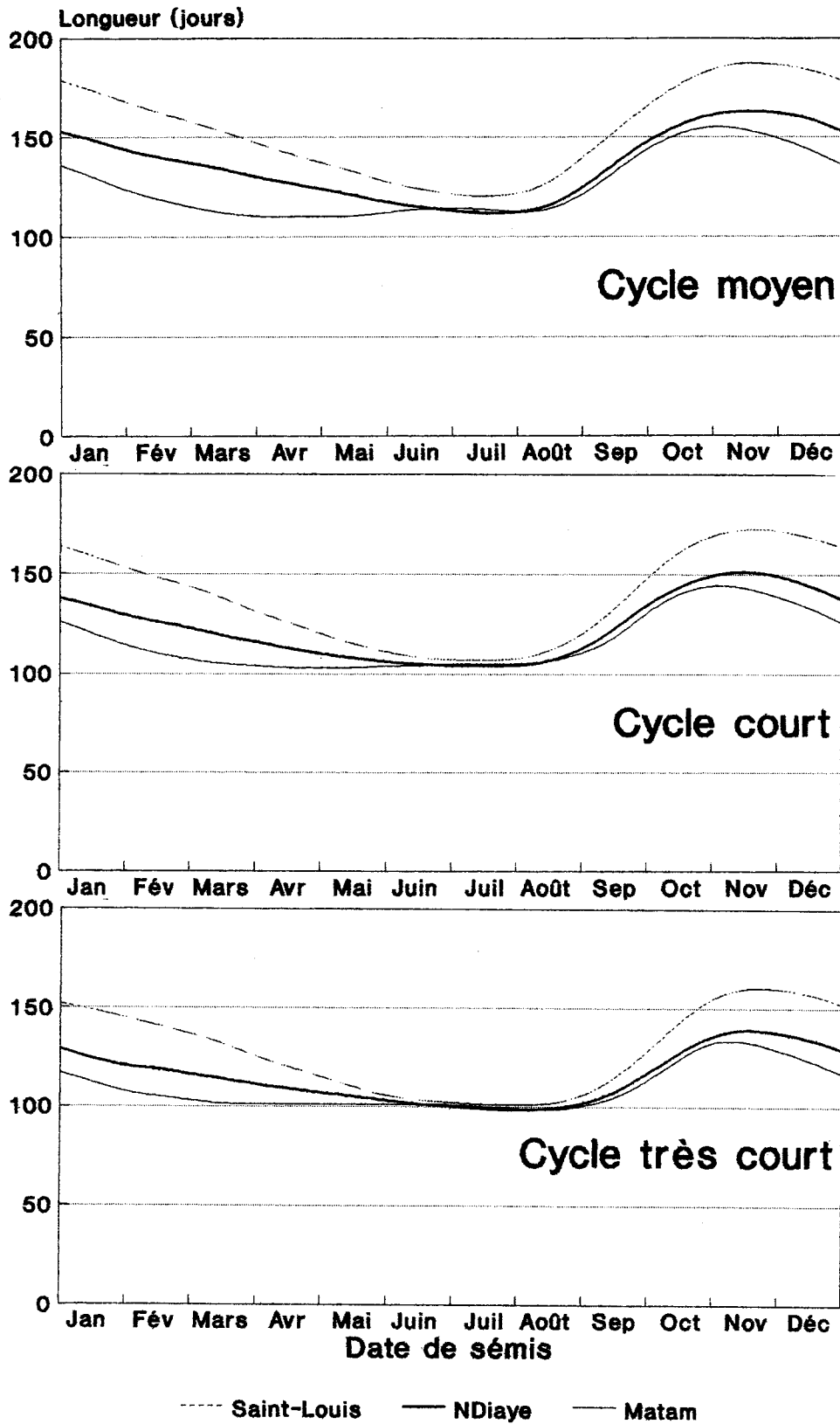


Figure 15.
Longueur du cycle du riz, en fonction du site et de la date de semis pour une variété à cycle moyen (Jaya), à cycle court (I Kong Pao) et à cycle très court (Aiwu).

après drainage en fonction des propriétés physiques des sols, de la profondeur de la nappe phréatique et du taux d'évaporation, de transpiration et de la pluie.

Pour l'estimation de besoins en eau du riz, le projet a utilisé le modèle RIDEV développé par Michael DINGKUHN de l'ADRAO. Ce modèle simule la longueur du cycle de riz, la date de la floraison et le taux de la stérilité auquel on peut s'attendre en fonction de la variété du riz, du site, de la date et du mode de semis (semis direct ou repiquage). Dans la Figure 15 quelques résultats obtenus avec ce modèle sont résumés pour la zone d'intervention de la SAED.

1.5 L'environnement

La zone d'intervention de la SAED est caractérisée par une prolifération de périmètres irrigués et d'espace d'eau stagnante. Ces deux phénomènes combinés ne sont pas sans causer de problèmes sur l'environnement et risquent de multiplier à court ou moyen termes des maladies liées à l'eau.

La Bilharziose est une de ces endémies. Au tout début du projet notre attention a été retenue par l'explosion de cette maladie dans beaucoup de zones autour des périmètres de la SAED. C'est ainsi qu'en collaboration avec le Projet de Soins de Santé Primaires de Dagana (VVOB, Coopération Technique Flamande) et le Projet d'Assistance Vétérinaire à l'EISMV (AGCD, Belgique), le Bulletin Technique n°4 (La Bilharziose (Schistosomiasis) associée à la riziculture irriguée) a été développé dans le but de vulgariser et de faire connaissance avec la Bilharziose.

Le Bulletin Technique décrit la maladie, son cycle (Figure 16) et sa transmission. En outre, les habitudes qui favorisent la propagation de cette maladie et les mesures de contrôle (Figure 17) sont traitées en détails. Le Bulletin a fait l'objet d'une large diffusion dans toute la zone d'intervention de la SAED.

Il reste évident que bien d'autres aspects liés à l'environnement sont importants dans une politique de gestion de l'eau. Ces aspects n'ont pas fait l'objet d'étude du projet parce qu'ils sont déjà bien décrits par les projets ou chercheurs antérieurs et une bonne banque de données existe sur ces sujets dans la documentation de la SAED.

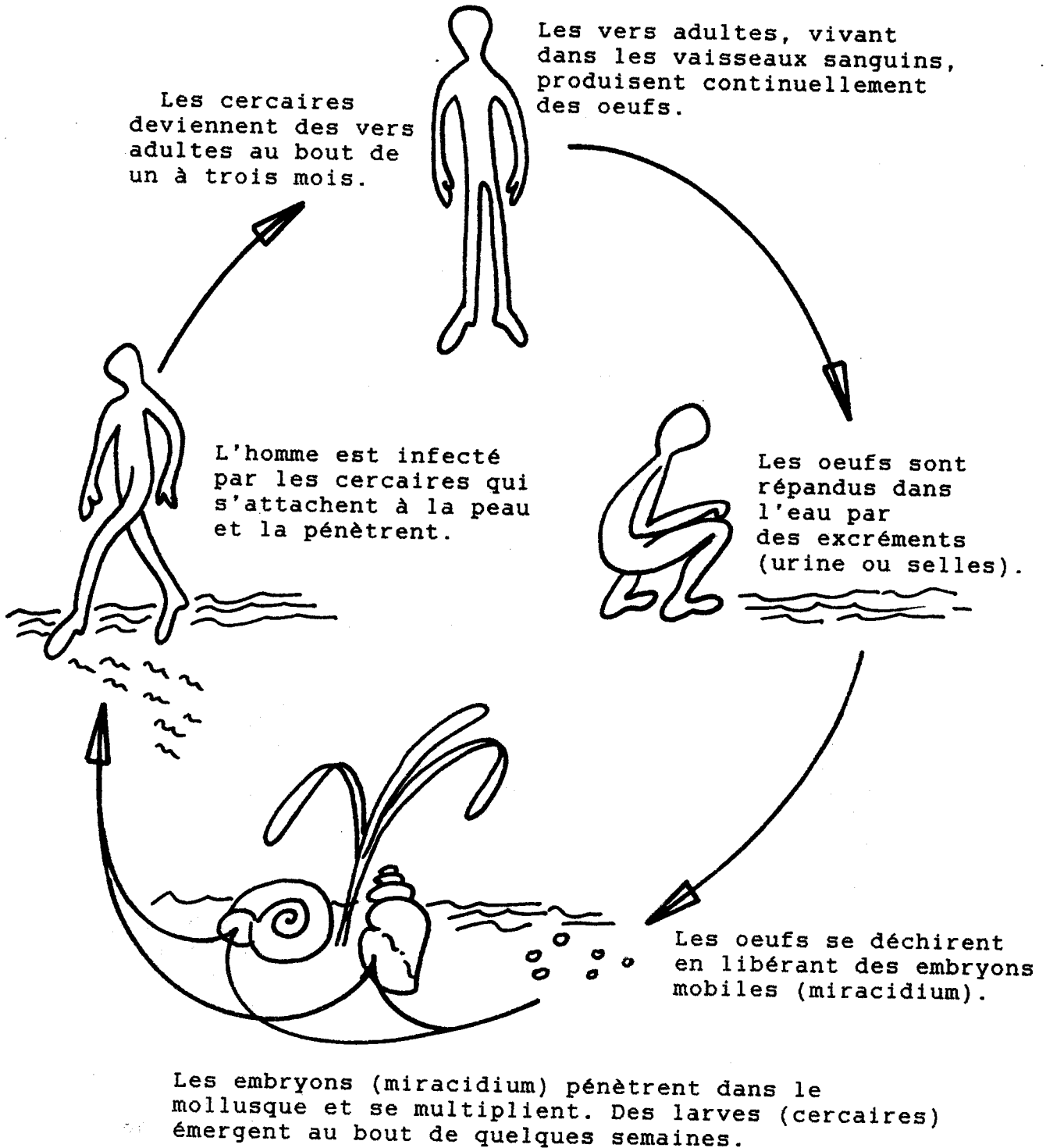
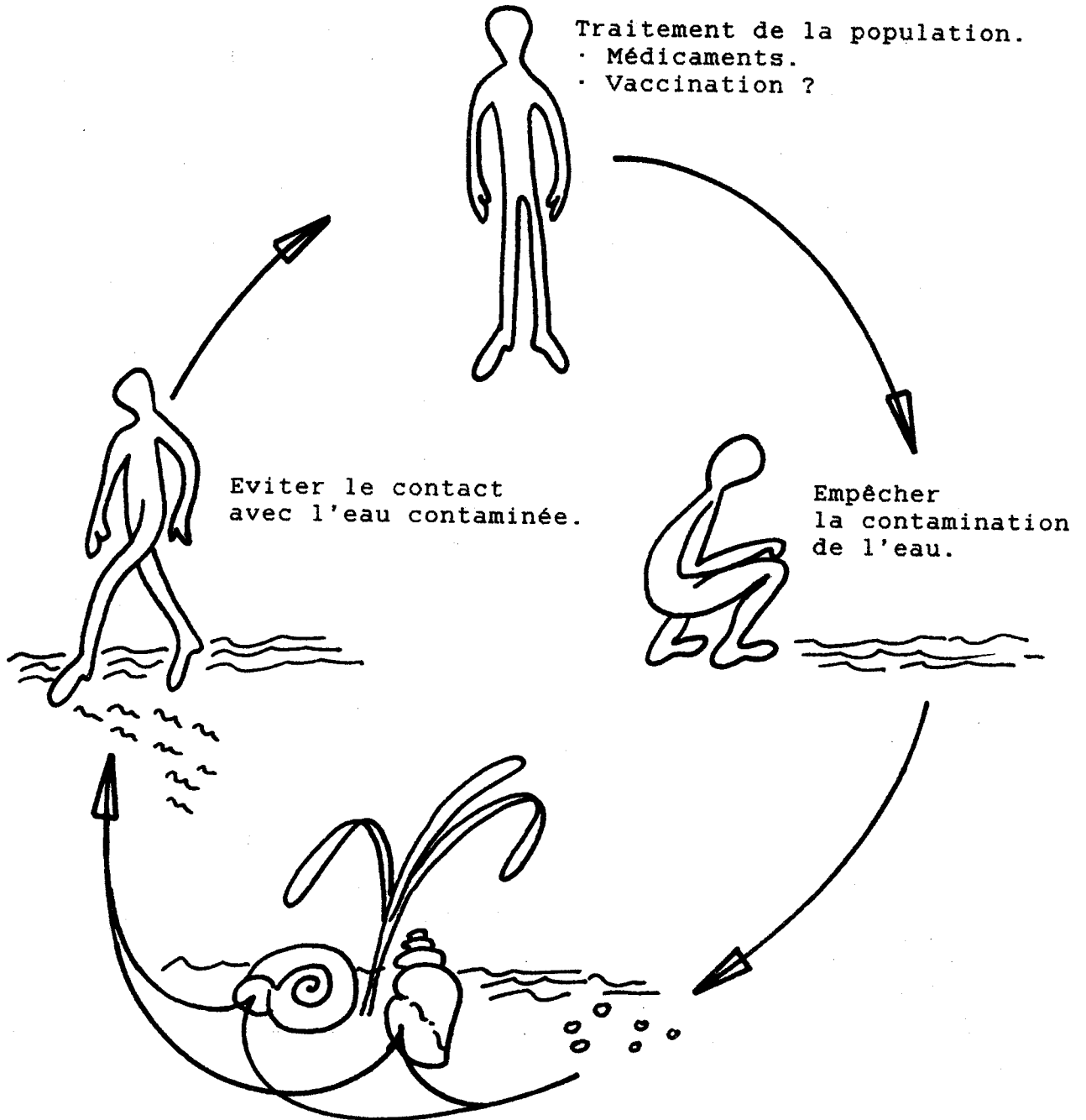


Figure 16.
Cycle et Transmission de la Bilharziose.



Contrôle des mollusques :
· utilisation de molluscicides,
· lutte biologique,
· aménagement de l'environnement.

Figure 17.
Contrôle de la Bilharziose.

1.6 Bilans d'eau

Contexte

Afin de connaître la gestion actuelle de l'eau dans les différents types de périmètres, nous avons procédé à l'établissement de bilans d'eau.

En 1990, la recherche a été initiée sur deux cuvettes du périmètre de Lampsar, dont une complètement réhabilitée et transférée à la gestion paysanne. Les résultats sont publiés dans le Bulletin Technique n°3 (Analyse du bilan d'eau de deux cuvettes du delta du fleuve Sénégal - Campagne Hivernale 1990).

En 1991 et 1992, la recherche a été poursuivie dans le but de compléter la connaissance déjà acquise. Pour ce faire, l'on s'est intéressé non seulement aux aménagements intermédiaires mais aussi aux grands aménagements et aux périmètres irrigués villageois ou privés. En outre l'étude est étendue dans l'espace (delta et moyenne vallée) et dans le temps (contre saison et campagnes hivernales). Les grands aménagements suivis ont été : Thiagar, Boundoum, Grande-Digue - Tellel, Nianga et Diomandou. Comme aménagements intermédiaires, certaines cuvettes du périmètre de Lampsar ont été concernées, à savoir Bifèche, NDelle, NGomène, Pont-Gendarme et Lampsar. Les petits périmètres privés ou villageois suivis, ont été Deggo, Thieddo Expérience et Fanaye 7. Dans cette étude, l'énergie consommée pour les actions d'irrigation et de drainage était aussi calculée et analysée.

Les objectifs poursuivis avec l'étude de bilans d'eau sont :

- de calculer les besoins en eau des périmètres,
- de connaître le niveau de chaque composante du bilan d'eau,
- de déterminer l'efficacité des irrigations,
- d'évaluer la distribution d'eau le long de la campagne, et
- d'estimer les coûts d'énergie des stations de pompage.

Equation

L'équation du bilan d'eau d'un périmètre peut s'établir de la manière suivante :

$$I + Peff = Imb + ETriz + Perc + Vid + Pert \quad (m^3)$$

où Irrigation (I) : la quantité d'eau refoulée par la station de pompage dans le bassin de dissipation,
 Précipitation Efficace (Peff) : la quantité de pluie stockée effectivement dans les rizières,
 Imbibition (Imb) : la quantité d'eau nécessaire pour saturer le sol des rizières avant la mise en place de la culture,
 Evapotranspiration (ETriz) : la quantité d'eau perdue par évapotranspiration du riz dans les rizières,
 Percolation (Perc) : la quantité d'eau perdue par drainage profond dans les rizières,
 Vidange (Vid) : la partie de la quantité d'eau stockée dans les rizières et qui est évacuée par drainage superficiel, et
 Pertes (Pert) : la quantité d'eau perdue pendant le transfert de l'eau de la station de pompage aux champs.

Tous les paramètres intervenant dans le bilan d'eau tel que défini dans l'équation ont été étudiés et vérifiés avec plusieurs méthodes de détermination chaque fois que cela s'est avéré possible. La détermination détaillée est décrite dans le Bulletin Technique n°3 (Analyse du bilan d'eau de deux cuvettes du delta du fleuve Sénégal - Campagne Hivernale 1990) et n° 6 (Bilan d'eau et Coût d'énergie de périmètres rizicoles - Delta et Vallée du fleuve Sénégal, Campagnes de 1991 et 1992).

Le Logiciel EXPO

Le logiciel EXPO (exploitation des stations de pompage) a été développé dans le but de faciliter la gestion des données recueillis dans les stations de pompage et d'exhaure. L'information recueillie par les pompistes est rentrée comme input dans le logiciel EXPO.

L'environnement d'EXPO contient deux logiciels :

- EXPO lui-même, avec lequel l'utilisateur gère et traite les données recueillies à une station, et
- SUPPORT avec lequel on complète, modifie et sauvegarde trois fichiers :
 - PARAPRIX.DIR : contenant les valeurs des paramètres et les taux des prix,
 - POMPE.DIR : content les caractéristiques des différentes types de pompes installées dans les stations, et
 - STATIONS.DIR : contenant les caractéristiques des stations.

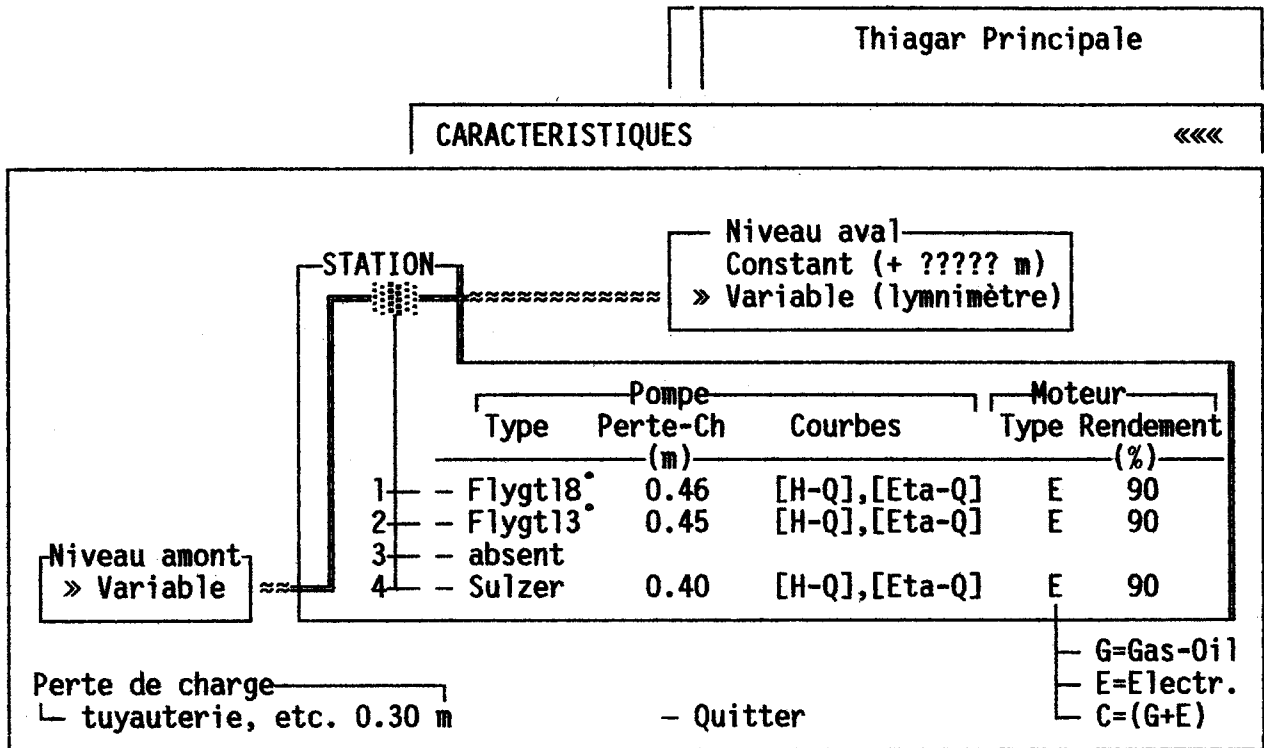
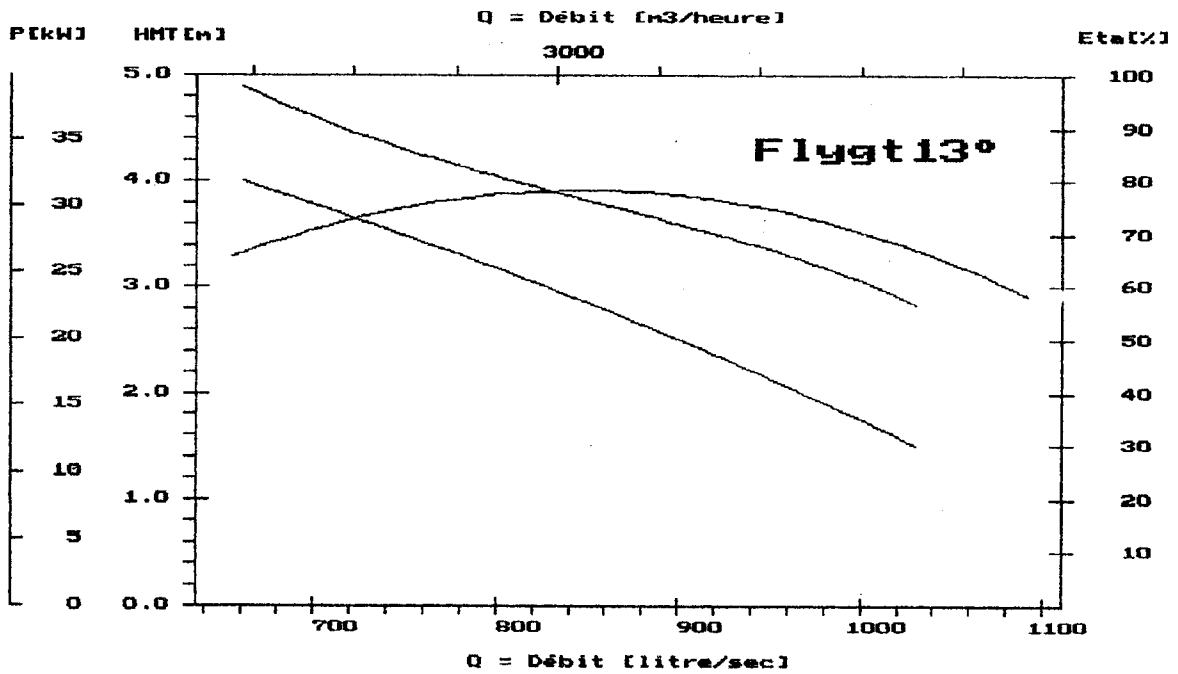


Figure 18.
Affichage des caractéristiques d'une station de page.



Appuyer sur «ENTREE» pour continuer

Figure 19.
Courbes caractéristiques d'une pompe.

L'utilisation des logiciels est simple et aisée grâce à l'utilisation des menus affichent des informations et des commandes. Des sous-menus permettent d'afficher ou de modifier les caractéristiques de la station (Figure 18) et de ses pompes (Figure 19).

Après l'entrée des données dans des fiches hebdomadaires, les résultats sont traités et affichés, décade par décade, dans deux menus (Figures 20 et 21) dans lesquels figurent les heures de pompage, les volumes correspondants d'eau pompée, la puissance et l'énergie consommées, et les charges d'exploitation. Les résultats peuvent être imprimés dans des rapports.

Paramètres

Irrigation (I)

La détermination des volumes d'eau pompés est effectuée par le logiciel EXPO.

Précipitation Efficace (Peff)

Vu le nombre de jours de pluie peu élevé et les hauteurs des diguettes relativement importantes, une grande partie des précipitations peut être stockée facilement dans les champs.

Dans nos études on a considéré que 85 % des précipitations supérieures à 5 mm sont efficaces. Toute chute de pluie au-dessous de 5 mm est estimée comme perdue par évaporation directe.

Imbibition (Imb)

L'analyse d'échantillons de sols effectuée avant et après saturation des rizières pendant la campagne hivernale 1991 donne un volume d'imbibition de 1750 m³/ha avec une profondeur de sol saturé de 0.5 m. Ce volume est retenu pour l'établissement du bilan d'eau de tous les aménagements. La profondeur de sol saturé est légèrement sur-estimée pour compenser le surplus en percolation observé en phase d'imbibition.

Evapotranspiration (ET_{riz})

L'évapotranspiration du riz est déterminée en multipliant l'évapotranspiration de référence (ET_o) par le coefficient cultural (kc). L'évapotranspiration de référence

				Thiagar Principale				MAI 1992		Déc 3		
Jour	Niveau			Heures et Volumes d'eau pompés								STATION — Total — (m3)
	amont (m)	aval (m)	HGT (m)	Pompe 1		Pompe 2		Pompe 3		Pompe 4		
				(h)	(m3)	(h)	(m3)	(h)	(m3)	(h)	(m3)	
21	1.6	2.7	1.1	0	0	0	0			0	0	0
22	1.6	2.7	1.1	10	43546	8	28456			0	0	72001
23	1.6	2.7	1.1	7	30482	7	24899			0	0	55381
24	1.6	2.7	1.1	21	91446	16	56911			1	8819	157177
25	1.6	2.7	1.1	2	8709	7	24899			0	0	33608
26	1.6	2.7	1.1	7	30482	6	21342			0	0	51824
27	1.6	2.7	1.1	9	39191	10	35569			0	0	74761
28	1.6	2.7	1.1	24	104510	24	85367			1	8819	198696
29	1.6	2.7	1.1	8	34837	9	32013			0	0	66849
30	1.6	2.7	1.1	0	0	0	0			0	0	0
31	1.5	2.7	1.2	24	103105	24	84275			5	43600	230981
Décade				486309		393730				61239		941277
- Alternner affichage - Décade Prochaine - Quitter				Du 20/ 2/1992 Au 31/ 5/1992 →						Cumul 9625679		

Figure 20.
Affichage des heures et des volumes d'eau pompés.

				Thiagar Principale				MAI 1992		Déc 3	
Jour	Niveau			Puissance			Energie			STATION — Total — (m3)	
	amont (m)	aval (m)	HGT (m)	Q*H (kW)	Consommée (kW)	(kWh)	Consommée (1000 Fr)	(Fr/m3)			
21	1.6	2.7	1.1	0	0	0	0	0.000	0	0	
22	1.6	2.7	1.1	40	63	577	29	0.402	72001		
23	1.6	2.7	1.1	40	63	443	22	0.401	55381		
24	1.6	2.7	1.1	83	119	1246	63	0.402	157177		
25	1.6	2.7	1.1	40	63	266	13	0.396	33608		
26	1.6	2.7	1.1	40	63	415	21	0.401	51824		
27	1.6	2.7	1.1	40	63	597	30	0.400	74761		
28	1.6	2.7	1.1	83	119	1575	85	0.425	198696		
29	1.6	2.7	1.1	40	63	534	27	0.400	66849		
30	1.6	2.7	1.1	0	0	0	0	0.000	0		
31	1.5	2.7	1.2	87	123	1841	98	0.424	230981		
Décade						7494	388	0.412		941277	
- Alternner affichage - Décade Prochaine - Quitter				Du 20/ 2/1992 Au 31/ 5/1992 →			Cumul 4001	Moyenne 0.416	Cumul 9625679		

Figure 21.
Affichage de la puissance et de l'énergie consommée.

est calculée à l'aide de la formule de Penman (approche Doorenbos et Pruitt) à partir des données climatologiques collectées dans les différentes stations météorologiques.

Percolation (Perc)

La percolation est estimée à partir des lectures des règles graduées placées dans les champs. Une dizaine de règles par aménagement a été installée et lue régulièrement.

La différence entre deux lectures successives donne la hauteur d'eau perdue par percolation et par évapotranspiration pour cette période à l'absence de toute irrigation, drainage ou pluies éventuelles. Etant donné que le niveau d'évapotranspiration est connue par calcul, la percolation peut être déduite en faisant la différence entre la lecture de la règle et l'évapotranspiration calculée.

Vidanges (Vid)

Plusieurs vidanges sont souvent effectuées pendant la campagne. Les eaux de vidange sont recueillies dans le réseau de drainage et acheminées vers la station d'exhaure qui les évacue hors aménagement. La détermination des volumes d'eau pompés est effectuée par le logiciel EXPO. A l'absence d'une station d'exhaure la quantité d'eau évacuée par drainage superficiel ne peut être calculée et doit être déduite à partir de la connaissance des autres paramètres du bilan d'eau.

Pertes (Pert)

Les pertes sont constituées par les pertes de distribution, les pertes administratives et les pertes résultant d'un mauvais entretien.

Les pertes de distribution sont constituées par les pertes par percolation et par évaporation. La valeur de $0.10 \text{ m}^3/24\text{h.m}^2$ (paroi mouillée) est retenue pour le calcul des pertes par percolation dans les canaux non revêtus. Les pertes par évaporation qui se manifestent dans les canaux sont de peu d'importance et sont négligées.

Les pertes administratives proviennent d'une mauvaise gestion de l'eau par laquelle on pompe plus d'eau dans les canaux que nécessaire ce qui entraînera des débordements et donc un gaspillage d'eau. Avec le mode de gestion des stations de pompage, où le pompiste arrête les irrigations à chaque fois qu'une cote maximale prédéterminée est atteinte dans le bassin de dissipation, ces pertes peuvent être considérées comme négligeables.

Les pertes résultant d'un mauvais entretien, étant occasionnelles, sont difficiles à estimer, mais sont loin d'être négligeables. Elles ne peuvent être déduites qu'à partir de la connaissance des autres paramètres du bilan d'eau.

Bilan saisonnier

Les volumes d'eau apportés (ΣIN) sont obtenus par la somme des valeurs journalières des irrigations (I) et des précipitations efficaces (Pe_{ff}). Par la connaissance des quantités d'eau nécessaire pour l'imbibition (Imb), pour l'évapotranspiration (ET_{riz}) et pour la percolation ($Perc$), la somme des volumes d'eau de vidanges et des pertes ($Vid+Pert$) est donnée par la différence entre ΣIN et la somme de $Imb+ET_{riz}+Perc$. Avec l'existence d'une station d'exhaure, les volumes d'eau de vidanges (Vid) sont connus et les pertes ($Pert$) sont dès lors déduites. Dans la Figure 22 le bilan saisonnier du périmètre de Thiagar est présenté à titre d'exemple.

Bilan décadaire

Dans une décade la somme des volumes d'eau apportés (ΣIN) n'équilibre pas nécessairement la somme des volumes d'eau utilisés (ΣOUT). En effet, avec le mode d'irrigation en vigueur, l'eau apportée pendant une décade est stockée dans les canaux et dans les champs sous forme de lame d'eau. L'utilisation de cette eau peut survenir aux cours de cette période ou à une décade ultérieure.

Pour l'établissement des bilans décadaires, on détermine d'abord les paramètres dont les valeurs journalières sont facilement calculées. Il s'agit des volumes d'eau pompés (I) et les apports d'eau par précipitation (Pe_{ff}). En connaissant le rythme de la mise en eau, les volumes décadaires nécessaires pour l'imbibition (Imb), pour l'évapotranspiration (ET_{riz}) et pour la percolation ($Perc$) sont obtenus. Pour la répartition de la valeur saisonnière de la somme des vidanges et pertes ($Vid+Pert$) certaines hypothèses sont retenues (voir Bulletin Technique n°3 et 6). Dans la Figure 23 est représenté le bilan décadaire du périmètre de Thiagar.

■ Thiagar

Campagne : Contre-saison 1992
Superficie cultivée : 472 ha

	m3/ha	mm	%
Volume d'eau apporté			
■ Irrigation (I)	23,540	2,354	100
■ Précipitation Effective (Peff)	0	0	0
■ EIN	23,540	2,354	100
Volume d'eau utilisé			
■ Imbibition (Imb)	1,750	175	7
■ Evapotranspiration (ETriz)	11,761	1,176	50
■ Percolation (Perc)	2,435	244	11
■ Vidanges (Vid)	3,335	333	14
■ Pertes (Pert)	4,259	426	18
■ ΣOUT	23,540	2,354	100

Efficiences

- Eff(d) = 0.82
- Eff(a) = 0.61
- Eff(tot) = 0.50

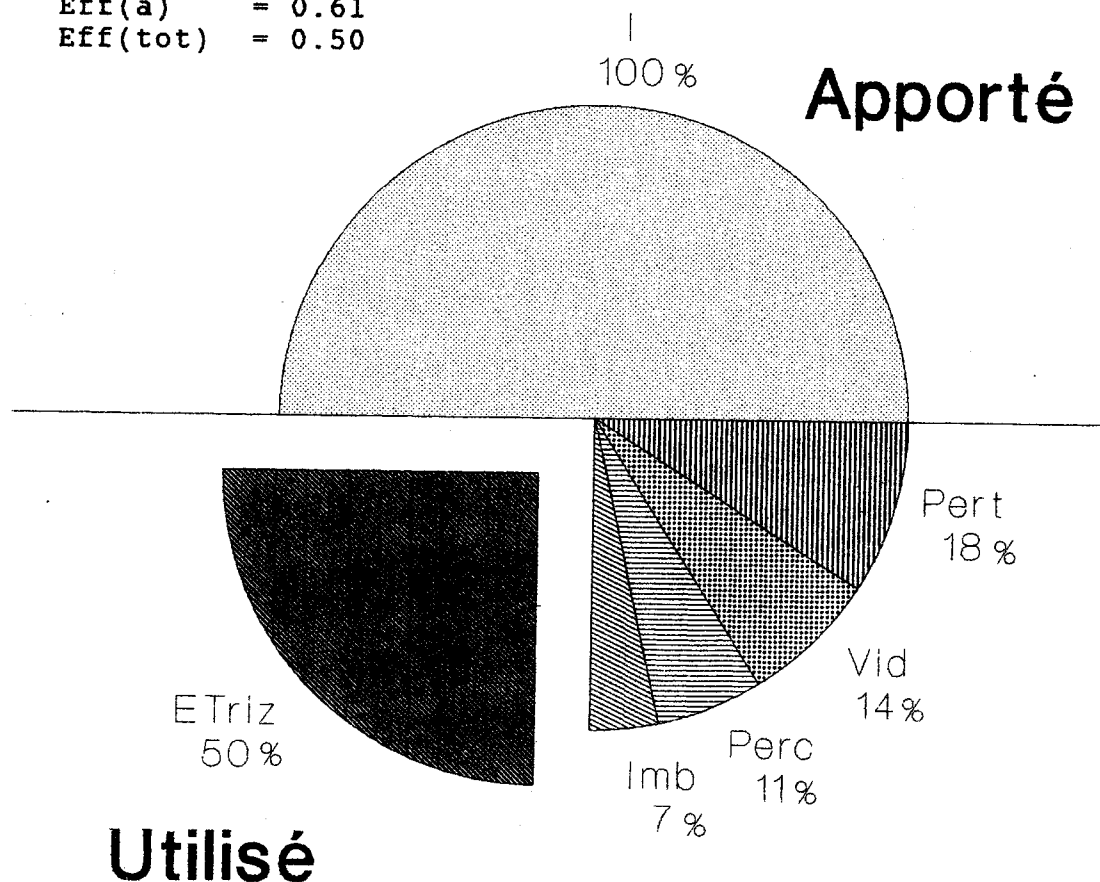


Figure 22.
Bilan d'eau saisonnier du périmètre de Thiagar.

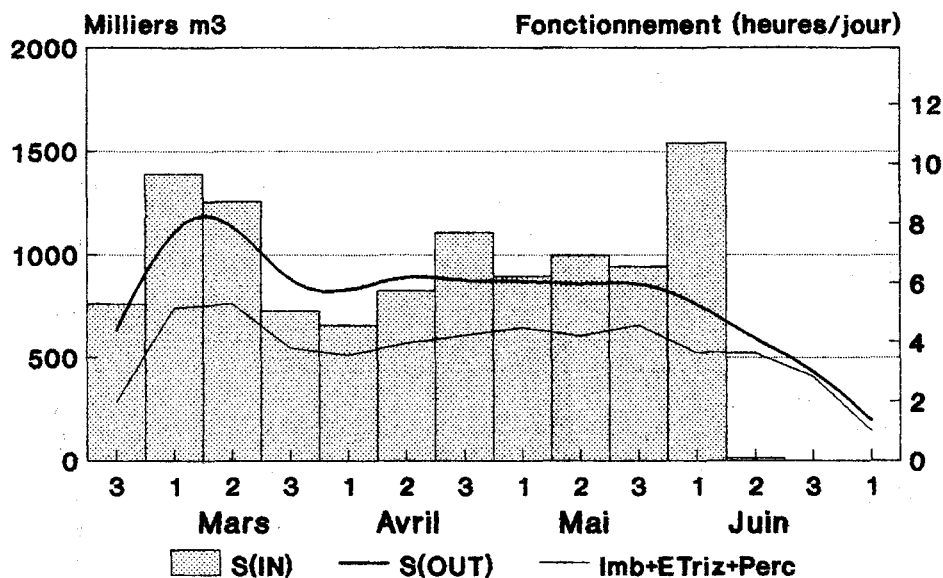


Figure 23.
Distribution décadaire du volume d'eau apporté (S(IN))
et utilisé (S(OUT)). Périmètre de Thiagar (472 ha).

Efficiences de l'irrigation

Après l'établissement des bilans d'eau saisonniers, les efficiences de l'irrigation peuvent être calculées. On distingue :

L'efficience de distribution, $Eff(d)$:

Le rapport entre le volume d'eau d'irrigation apporté au champ et le volume d'eau pompé :

$$Eff(d) = (I - Pert) / I$$

L'efficience appliquée au champ, $Eff(a)$:

Le rapport entre le volume d'eau d'irrigation utilisé par la culture et le volume d'eau apporté au champ :

$$Eff(a) = (ETriz - x Peff) / (I - Pert)$$

où x est le pourcentage de la précipitation efficace consommée par évapotranspiration. Les autres parties de la précipitation efficace sont utilisées dans les processus d'imbibition, de percolation et de vidanges. Dans cette étude on estime que x peut être donné par le rapport $ETriz/\Sigma OUT$.

L'efficacité totale, Eff(tot) :

Le rapport entre le volume d'eau d'irrigation utilisé par la culture et le volume d'eau pompé :

$$\text{Eff(tot)} = \text{Eff(d)} * \text{Eff(a)} = (\text{ETriz} - x \text{Peff}) / \text{I} \\ \approx \text{ETriz} / \text{EIN}$$

Energie consommée

L'énergie consommée par une station de pompage est déterminée par le volume d'eau élevé, la hauteur d'élévation, les pertes de charges dans la tuyauterie et les pompes, et par le rendement de l'ensemble de l'installation, pompe et moteur. Le logiciel EXPO calcule l'énergie consommée pour chaque jour de la campagne à partir du volume d'eau total refoulé par la station de pompage et le niveau d'eau observé dans le canal d'amenée et de refoulement. Pour ce faire, il utilise les caractéristiques de la station de pompage.

Pour le calcul du coût de la consommation d'énergie, EXPO utilise les valeurs en cours des prix de l'électricité et du gasoil. Le coût d'énergie de la campagne est obtenu en additionnant l'énergie consommée avec les frais fixes, résultant du branchement de la station au réseau électrique et en tenant compte du nombre de campagnes par an. L'énergie consommée à Thiagar et le coût d'énergie de la campagne sont donnés dans les Tableaux 4 et 5 à titre d'exemple.

Tableau 4.
Energie consommée à Thiagar (472 ha).

Station	Volume pompée (m ³)	Energie consommée		
		(FrCFA)	(Wh/m ³)	(kWh/ha)
Irrigation :				
-Principal	11,110,919	4,631,000	8.1	190
-Reprise P	3,222,585	729,000	4.5	31
-Reprise F	3,375,444	958,000	5.6	40
Total	11,110,919	6,318,000	11.1	261
Drainage	1,574,008	653,815	8.3	28
Total	11,110,919	6,971,815	12.3	289

Tableau 5.
Coût d'énergie de la campagne (Contre-Saison 1992)
en fonction du nombre de campagnes par an.

	(FrCFA)	(Fr/ha)	(Fr/m ³)
3 campagnes/an	10,864,221	23,017	0.98
2 campagnes/an	12,394,441	26,259	1.12
1 campagne/an	17,817,067	37,748	1.60

Résultats

Les analyses des aménagements suivis pendant les hivers de 1990, 1991 et 1992 et la contre-saison de 1992 dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal, ont été effectuées sur trois niveaux ; bilan saisonnier, décadaire et coût d'énergie. Pour des besoins de comparaison, des références ont été développées. Chaque référence est un aménagement fictif ayant les mêmes caractéristiques techniques que l'aménagement analysé (même type de station, même Hauteur Manométrique) et même campagne de culture, mais ayant une gestion optimale. Dans le Tableau 6 les résultats de l'analyse sont synthétisés.

Bilans saisonniers

Au regard du Tableau 6 on constate que les consommations d'eau par hectare sont très variables d'un aménagement à l'autre. La moitié utilise trop d'eau comparé à la référence ce qui s'explique par des pertes et vidanges excessives. Ce surplus en eau consommée résulte d'un mauvais planage des parcelles, d'un défaut d'entretien et d'une gestion de l'eau pas optimale (par exemple à NGomène, des superficies qui ont été imbibées n'ont pas été cultivées par la suite). Il faut aussi veiller aux extensions où l'aménagement est souvent mal conçu et qui sont parfois mal connectées au réseau initial.

L'autre moitié des aménagements utilise un peu moins d'eau que la référence. Si la déviation devient trop importante, il faut prêter attention aux risques de la salinisation. A Diomandou, la sous-consommation résulte surtout du fait que les canaux sont revêtus.

Bilans décadaires

L'analyse de la distribution de l'eau au cours de la campagne montre qu'en général il existe une bonne concor-

Tableau 6.

Synthèse de l'analyse des bilans saisonniers et décennaires et des coûts d'énergie des aménagements.

Aménagement	Hauteur Manométrique Totale (HMT) (m)	Bilan Saisonnier		Distribution d'eau	Bilan Décennaire Utilisation Station Pompage	Coût d'énergie (FrCFA/ha)	
		Volume d'eau utilisée (m ³ /ha)				(Hiv)	(CS)
Stations Electriques						(Hiv)	(CS)
Delta		1,665...2,110				10,000....11,500	
-Thiagar	2.00		+12 %	+	29 %		+102..231 %
-Boundoum	1.82	- 6 %		stress(début)	32 %	- 2..+31 %	
-GrandeDigue Tellel	2.13	+21 %		+	longue imbibition	+14..+24 %	
-Bifèche	1.54	- 8 %		+	30 %	+253..890 %	
-NDelle	1.72	- 6 %		+	+	+ 6.. 62 %	
-NGomène	1.59	+31 %		+	+	+35.. 98 %	
-Pont-Gendarme	1.74	+29 %		?	longue imbibition	+42.. 78 %	
-Lampsar	2.23	+19 %		+	+	+27.. 71 %	
Groupe Moto-Pompe (GMP)							
Delta		1,665 m ³ /ha				13,500 FrCFA/ha	
-Deggo	2.00	- 7 %		stress	+	-20 %	
-Thieddo Expérience	2.00	- 2 %		stress(floraison)	chaotique	-12 %	
Région de Podor		1,825 m ³ /ha				34,000 FrCFA/ha	
-Fanaye 7 (Vallée)	5.00	+27 %		+	+	+29 %	
Groupe Electrogène						(HMT=5)	(HMT=7)
Région de Podor		1,825 m ³ /ha				38,000...	53,000
-Nianga	5.00	+37 %		+	+	+24 %	
-Diomandou	6.70	-16 %		+	longue imbibition	-16 %	

dance entre le volume d'eau apporté et utilisé. Le pompage doit s'effectuer en effet à la période idoine sinon des stress hydriques peuvent survenir comme noté à Boundoum au début de la campagne et dans les petits périmètres privés de Deggo et Thieddo-Expérience en pleine saison. Le problème d'un bon accord entre l'apport et la consommation en eau est surtout crucial avec les groupes moto-pompe (GMP) à cause des pannes fréquentes, des indisponibilités occasionnelles du pompiste et des ruptures dans l'alimentation en gas-oil. Ces phénomènes sont surtout accentués en hivernage où l'accessibilité au terrain n'est pas toujours assurée après les pluies.

On constate sur la moitié des aménagements suivis que les stations de pompage sont sous-utilisées par rapport à leur capacité de conception à cause d'une trop longue période d'imbibition et/ou d'une faible superficie mise en culture par rapport à la superficie aménagée.

Coûts d'énergie

Des coûts d'énergie des stations électriques sont très élevés comparés à la référence. Il est possible de diminuer sensiblement ces coûts en débranchant les stations durant les périodes de non culture. A ce moment il faudrait assurer l'alimentation en eau des habitants riverains par un autre moyen. La réduction de la période d'imbibition à son minimum et l'irrigation sur la totalité de la superficie aménagée vont aussi contribuer à réduire les coûts d'énergie.

Dans les aménagements avec un groupe moto-pompe ou groupe électrogène, il n'existe pas de frais fixes et les coûts sont donc proportionnels avec la consommation en eau. Le seul moyen de diminuer le prix d'énergie est donc d'assurer une bonne gestion de l'eau. Dans les aménagements avec des hauteurs manométriques élevées, donc des coûts d'énergie importants, il peut être avantageux de revêtir les canaux mais ceci nécessite une analyse financière.

1.7 Besoins en eaux

Objet

Avec la connaissance du climat, des sols, du riz et de la gestion actuelle de l'eau, le modèle BIRIZ (Besoins en eau d'Irrigation d'une ou de plusieurs rizières) a été développé. Ce logiciel résume les résultats de différentes études faites par le projet au cours de ces quatre dernières années sur le climat, les besoins en eau, le bilan d'eau, et les sols. En plus, il fait appel à des résultats obtenus par l'ADRAO (Centre Régional de NDiaye) sur le développement du riz en fonction de sa date de semis.

Le modèle BIRIZ calcule les volumes d'eau à pomper par jour, semaine, décade, mois ou saison d'un lieu donné (périmètre, groupe de périmètres ou totalité d'une zone). Il montre tout de suite les conséquences sur les besoins en eau pour différentes stratégies d'irrigation : exclusion de périmètres ou intégration d'autres périmètres, changement d'intensité culturale, introduction de la double culture du riz, changement de dates de semis, etc. Il aidera ainsi à déterminer les superficies à emblaver pour les différentes périodes de l'année en fonction du débit disponible dans les différents axes hydrauliques du delta et de la vallée du fleuve Sénégal.

Détermination

Le modèle BIRIZ calcule pour chaque jour de la campagne du riz, les besoins en eau en intégrant différents paramètres.

Evapotranspiration de riz

L'évapotranspiration du riz (E_{Triz}) est calculée en multipliant l'évapotranspiration de référence (E_{To}) du site avec un coefficient culturel dont la valeur est fonction du stade de développement.

La valeur d'E_{To} varie en fonction de la période de l'année et du site. Le modèle BIRIZ est développé pour les sites suivants : Saint-Louis, le Milieu ou la Totalité du delta (NDiaye), la limite Est du delta (Richard-Toll), Dagana, Podor, Matam, et Bakel.

Les coefficients culturaux ont été choisis selon les recommandations de la FAO. Une valeur de 1.15 a été sélectionnée pour le stade de végétation. En mi-saison (floraison et formation du produit), le coefficient atteint la valeur de 1.30, pour ensuite descendre à 1.05 à un mois de la récolte. Toutes les irrigations seront arrêtées 10 jours avant la fin présumée du cycle.

La durée du cycle de riz et de chaque stade de développement dépend de la variété, de la date de semis et du site. Les durées sont données par le modèle RIDEV de M.Dingkuhn (ADRAO). En intégrant ces résultats, le modèle BIRIZ est conçu pour trois différents cycles du riz : cycle moyen (par exemple Jaya), cycle court (par exemple I Kong Pao), et cycle très court (par exemple Aiwu).

Les semis peuvent être effectués à toute période de l'année, mais le modèle BIRIZ renseigne l'utilisateur sur les taux de stérilité du riz à cause de basses (en cas de semis tardive) ou d'hautes températures et sur la hauteur des précipitations non désirables en période de maturité.

L'imbibition

L'imbibition est fonction du type de sol et de l'état initial d'humidité du sol. Suite aux expérimentations effectuées dans quelques cuvettes, l'imbibition est évaluée à 175 mm soit 1,750 m³/ha. La valeur est légèrement sur estimée pour compenser le surplus en percolation observé en phase d'imbibition.

Cette eau est apportée au début de la campagne selon le rythme de la mise en eau. Pour une utilisation optimale de la station de pompage, on suppose que la mise en eau est importante au début de l'opération et décroît dans le temps.

Lame d'eau

Avant le semis, une lame d'eau est généralement apportée pour éviter tout stress hydrique. Après le semis, cette lame est évacuée (ou laissée évaporer) pour faciliter la levée et l'enracinement des plantules. Après quelques jours, la lame est progressivement restaurée jusqu'à une hauteur d'environ 7 à 10 cm. Dix jours avant la fin présumée du cycle végétatif du riz les champs sont vidés. En fonction des besoins de fertilisation, de traitement phytosanitaire ou de dessalement des parcelles, il sera nécessaire de prévoir un ou plusieurs processus d'évacuation et de restauration de la lame.

Le modèle BIRIZ tient compte de la qualité de planage des champs pour la détermination de la hauteur de lame à retenir : 100 mm, soit 1,000 m³/ha pour un planage excel-

lent, 150 mm, soit 1,500 m³/ha pour un planage bon, et 200 mm, soit 2,000 m³/ha pour un planage faible.

Ces lames sont apportées au début durant la phase de mise en eau (respectivement 20, 30 et 40 mm) et le reste en période d'entretien étalé sur les deux mois autour de l'initiation paniculaire.

Percolation

Différents niveaux de percolation sont retenus en fonction du type de sol : 2 mm/jour pour un Hollaldé, 3 mm/jour pour un Faux-Hollaldé, 4 mm/jour pour un Fondé lourd, et 5 mm/jour pour un Fondé léger. Au début de la saison les valeurs des percolation retenues seront souvent plus grandes, mais une ou deux décades après la mise en eau la percolation se stabilisera aux niveaux retenus.

Contrôle de salinité

Un contrôle de salinité s'impose sur les sols salés du delta. Les quantités d'eau nécessaires pour évacuer les sels des champs sont déterminées par le bilan de sel (voir 1.3). Selon que la salinité de sol est prononcée ou modérée 400 mm, soit 4,000 m³/ha sont retenus pour une salinité prononcée et 200 mm, soit 2,000 m³/ha pour une salinité modérée. Le modèle BIRIZ diminue quand-même ces niveaux avec les quantités d'eau perdues par percolation et avec la hauteur de la lame apportée et évacuée en période de mise en eau. En effet ces quantités d'eau constituent des lessivages soient verticaux ou horizontaux. Les quantités obtenues après réduction, seront progressivement apportées et évacuées des champs pendant les deux premiers mois de la campagne.

Précipitations efficaces

En retenant que 85 % des précipitations supérieures à 5 mm sont efficaces, les valeurs de la précipitation efficace sont calculées. Des simulations sont conduites pour les trois types de saison retenus : un hivernage humide, un hivernage normale, et un hivernage sec. La valeur correspondante avec un hivernage humide, représente la hauteur des précipitations hivernales qu'on ne dépasse que 2 ans sur 10, tandis que celle qui correspond avec un hivernage sec représente la hauteur des précipitations hivernales qu'on n'atteint pas 2 ans sur 10.

Pertes

Les pertes sont fonction de la bonne ou mauvaise gestion du périmètre. Cette gestion est exprimée en une efficacité de distribution : 90 % pour une gestion excellente,

85 % pour une gestion bonne, et 70 % pour une gestion faible. Les besoins bruts en eau d'irrigation sont obtenus en tenant compte de cette efficience.

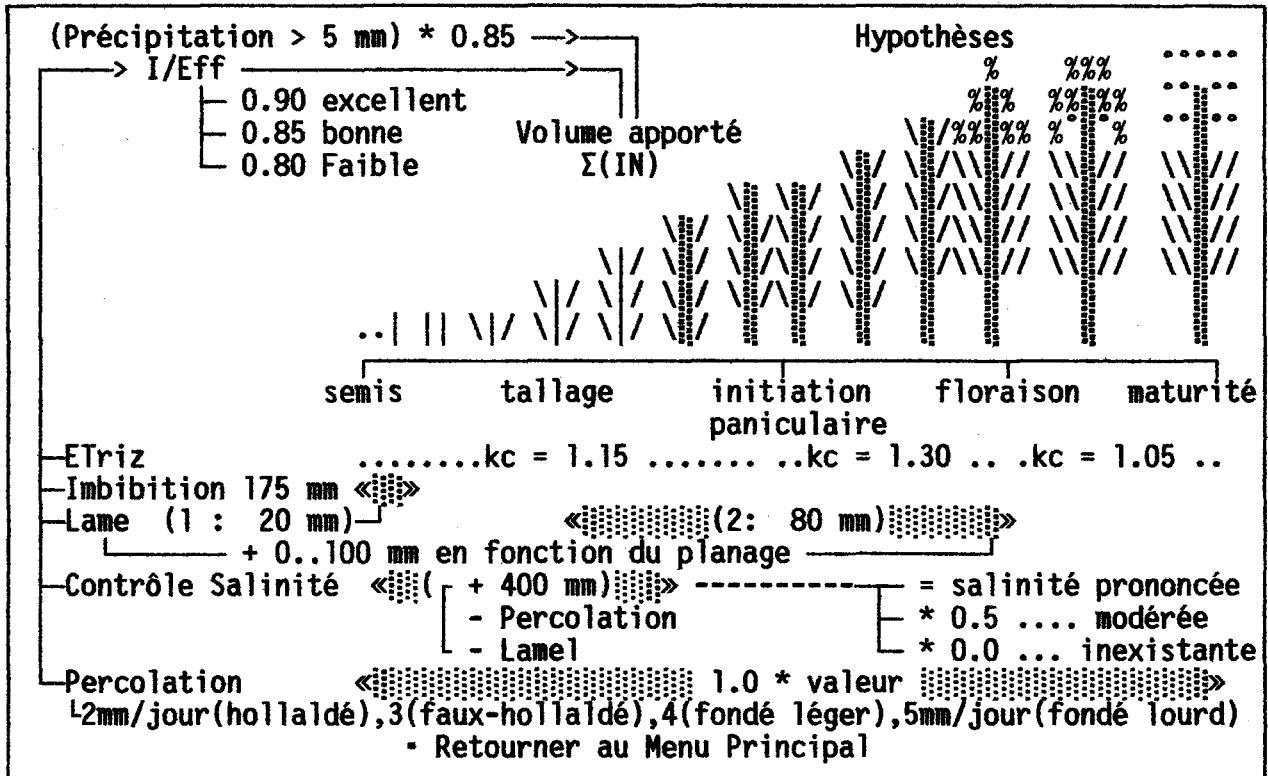


Figure 24.
Hypothèses retenues pour la détermination
des besoins en eau d'irrigation.

Toutes ces hypothèses qui ont servi à la détermination des besoins en eau sont affichées dans un menu (Figure 24) et peuvent être changées par l'utilisateur.

Le logiciel BIRIZ

Le logiciel BIRIZ (Besoins en eau d'Irrigation d'une ou plusieurs rizières) tient compte des paramètres sus-cités et selon les règles décrites les besoins en eau d'irrigation sont calculés. L'utilisation du logiciel est simple et aisée grâce à l'emploi de menus qui affichent des commandes et des informations.

Dans le menu principal (Figure 25) l'utilisateur a le loisir de changer les hypothèses qui servent à l'établissement des calculs. Ces hypothèses (Figure 24) représentent les niveaux et les coefficients cultureux décrits dans la section antérieure.

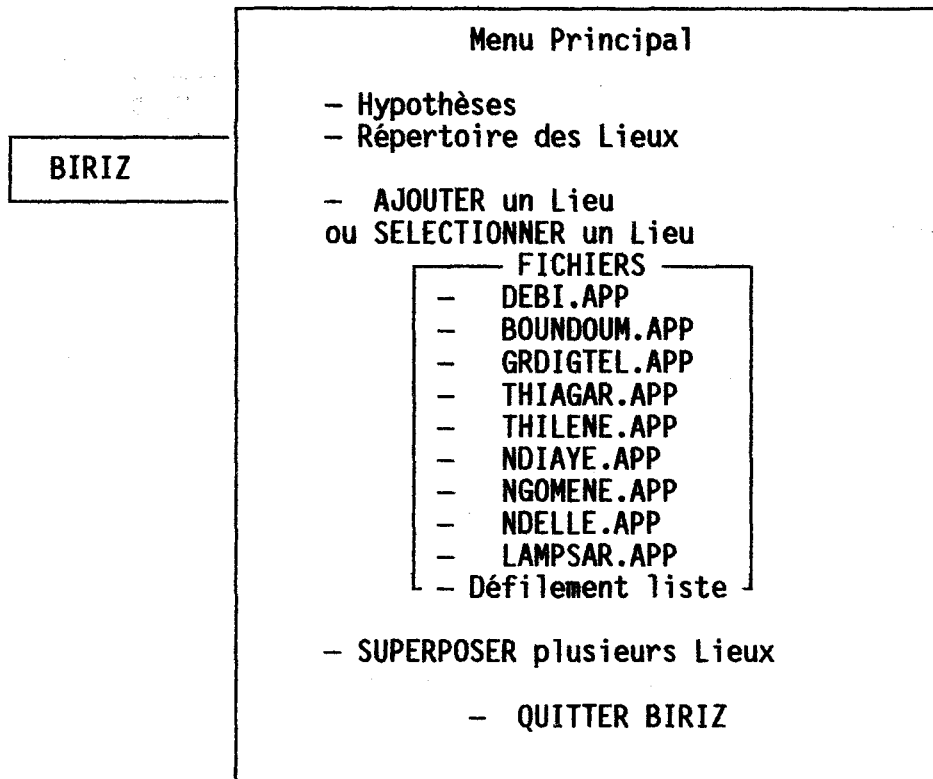


Figure 25.
Menu principal de BIRIZ.

Avant de déterminer les besoins en eau, l'utilisateur crée, sélectionne ou superpose un ou plusieurs lieux. Un 'lieu' s'entend ici comme une aire dont toutes les caractéristiques de l'environnement et toutes les données sur la riziculture emblavée dans ce lieu sont bien décrites. Le lieu peut se limiter à un seul périmètre (par exemple Boundoum) ou peut être défini comme un ensemble de périmètres (par exemple Delta-Ouest) ou comme une zone bien définie (Delta). Les lieux ainsi définis peuvent être superposés pour former des ensembles plus grands. Par exemple tous les périmètres du delta, préalablement décrits comme des lieux individuels, chacun avec ses propres caractéristiques, peuvent être superposés. Ainsi les besoins en eau du delta pourront être évalués avec beaucoup plus de précisions que ne le sera le calcul conduit sur le lieu Delta.

Après avoir sélectionné ou créé un lieu, le logiciel affiche les caractéristiques de ce lieu dans la Fiche Technique (Figure 26). On peut modifier les caractéristiques définies par défaut. Le logiciel affiche alors les différentes possibilités offertes à l'utilisateur. Après avoir validé son choix, l'utilisateur peut continuer les modifications ou passer à des opérations.

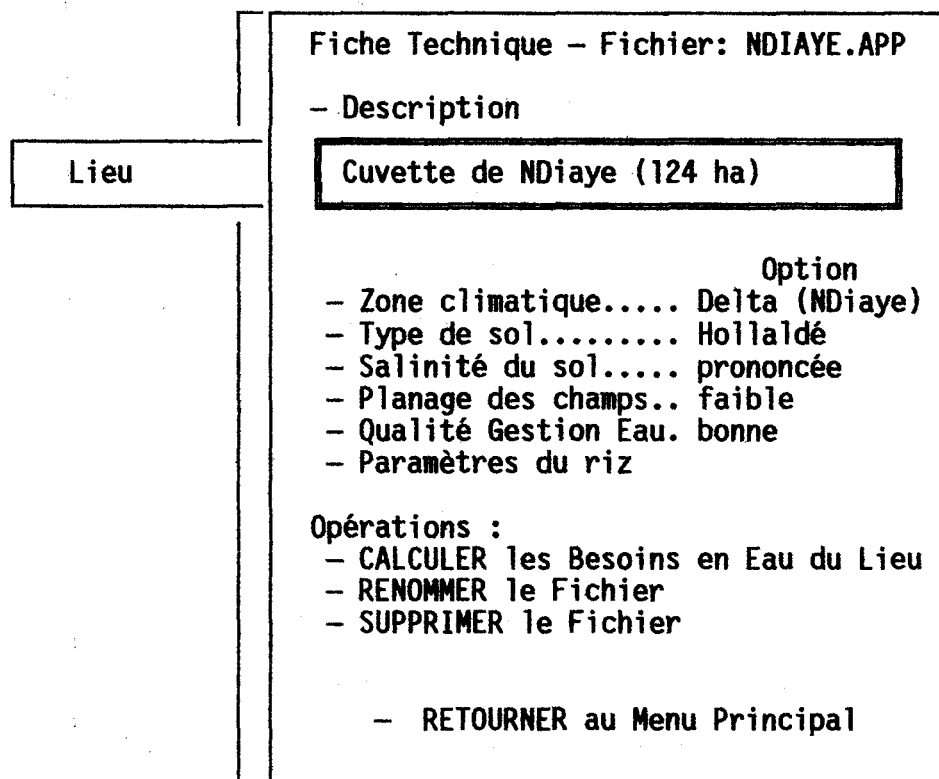


Figure 26.
Fiche Technique du Lieu.

Les paramètres du riz cultivé dans le lieu sont affichés dans le menu Paramètres du Riz (Figure 27). Dans ce menu le cycle (moyen, court ou très court; Figure 28), et les données sur le semis (surface emblavée, date et durée de mise en eau) sont précisées. A l'aide du modèle RIDEV, le logiciel calcule et affiche la longueur du cycle, la date de maturité et le taux de stérilité auquel on peut s'attendre. En plus BIRIZ spécifie la hauteur de pluie survenue en période de maturité.

Pour connaître les besoins en eau d'une culture de riz on positionne le curseur sur un des champ 'CALCULER Besoin en Eau' dans le menu Paramètres du Riz et en validant son choix, les calculs sont exécutés. Si l'on veut connaître

Fiche Technique - Fichier: NDIAYE.APP
- Description

Paramètres du Riz

Paramètres du riz

→ CALCULER

< Cycle	Sémis			Longueur Cycle	Maturité		Stéri- lité	Besoin en Eau
	Surface	Début	Durée		Du - Au	Pluie		
	(ha)	(J/M)	(jours)	(jours)	(Jour/Mois)	(mm/dec)	(%)	
- court	60	20/02	17	125	25/06-11/07	7	0	-
- moyen	120	1/08	21	112	21/11-11/12	0	3	-
-	---	-/-	---	---	-/-	---	---	-
-	---	-/-	---	---	-/-	---	---	-

- RETOURNER à la Fiche Technique

Figure 27. Paramètres riz.

Fiche Technique - Fichier: NDIAYE.APP
- Description

Paramètres du Riz

Paramètres du riz

→ CALCULER

< Cycle	Exemple			Longueur Cycle	Maturité		Stéri- lité	Besoin en Eau
	Cycle	Exemple	Exemple		Du - Au	Pluie		
	(ha)	(J/M)	(jours)	(jours)	(Jour/Mois)	(mm/dec)	(%)	
- moyen	60	20/02	17	125	25/06-11/07	7	0	-
- court	120	1/08	21	112	21/11-11/12	0	3	-
- très court	---	-/-	---	---	-/-	---	---	-
- ENLEVER la culture	---	-/-	---	---	-/-	---	---	-

- RETOURNER à la Fiche Technique

Figure 28. Caractérisation du cycle de riz.

en Eau' dans le menu Paramètres du Riz et en validant son choix, les calculs sont exécutés. Si l'on veut connaître les besoins totaux en eau de toutes les cultures de riz emblavées dans ce lieu (par exemple contre saison suivie d'hivernage), alors il faut retourner à la Fiche Technique du Lieu (Figure 26) et se positionner sur le champ 'CALCULER les besoins en Eau du Lieu' et valider son choix.

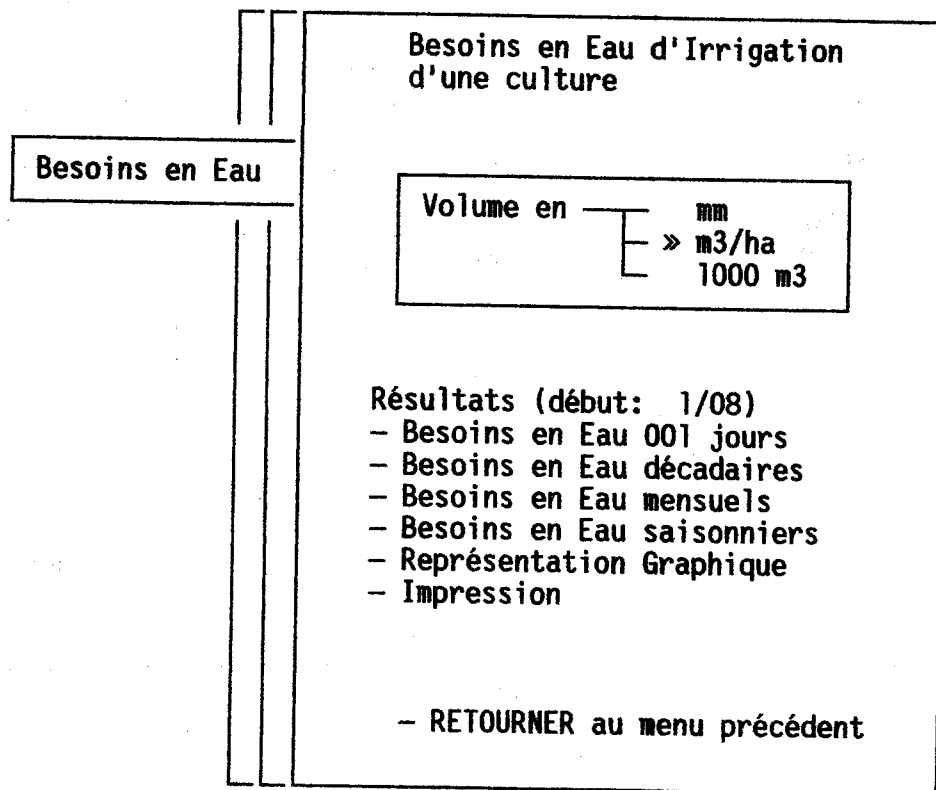


Figure 29.
Besoins en eau d'Irrigation.

Dans le menu 'Besoins en Eau d'Irrigation' (Figure 29) le logiciel offre la possibilité d'avoir les résultats journaliers, hebdomadaires, décadaires, mensuels (Figure 30) ou saisonniers (Figure 31) du calcul des besoins en eau. BIRIZ offre la possibilité d'afficher les résultats avec différentes unités de volume, d'imprimer ces résultats et de les représenter sous forme de graphique (Figure 32).

Zone Climatique..	Delta (NDiaye)	Cycle riz	Surface(ha)	Période
Sol - Type.....	Hollaldé	moyen	120	1/08-12/12
Salinité...	prononcée			/ - /
Planage....	faible			/ - /
Gestion de l'Eau..	bonne			/ - /

Besoins en Eau d'irrigation mensuels			
Mois	Année humide 1000m3	Année normale 1000m3	Année sèche 1000m3
08	751	773	792
09	499	531	549
10	471	482	488
11	212	212	212
12	0	0	0
01	0	0	0
02	0	0	0
03	0	0	0
04	0	0	0

- défilement de la liste
- Quitter

Figure 30. Besoins mensuels en eau d'irrigation.

Zone Climatique..	Delta (NDiaye)	Cycle riz	Surface(ha)	Période
Sol - Type.....	Hollaldé	moyen	120	1/08-12/12
Salinité...	prononcée			/ - /
Planage....	faible			/ - /
Gestion de l'Eau..	bonne			/ - /

Paramètres		Besoins en Eau d'Irrigation saisonniers			
	m3/ha	Année	humide	normale	sèche
			m3/ha	m3/ha	m3/ha
Imbibition	1750	Sous-Total	15486	15486	15486
ETriz	8136	- Précip.Effic.	1793	1336	1029
Lame d'eau	2000	+ Pertes	2416	2497	2551
Percolation	2040	Besoins en Eau	16110	16648	17009
Contrôle sels	1560				
Sous-Total	15486				

- Quitter

Figure 31. Besoins saisonniers en eau d'irrigation.

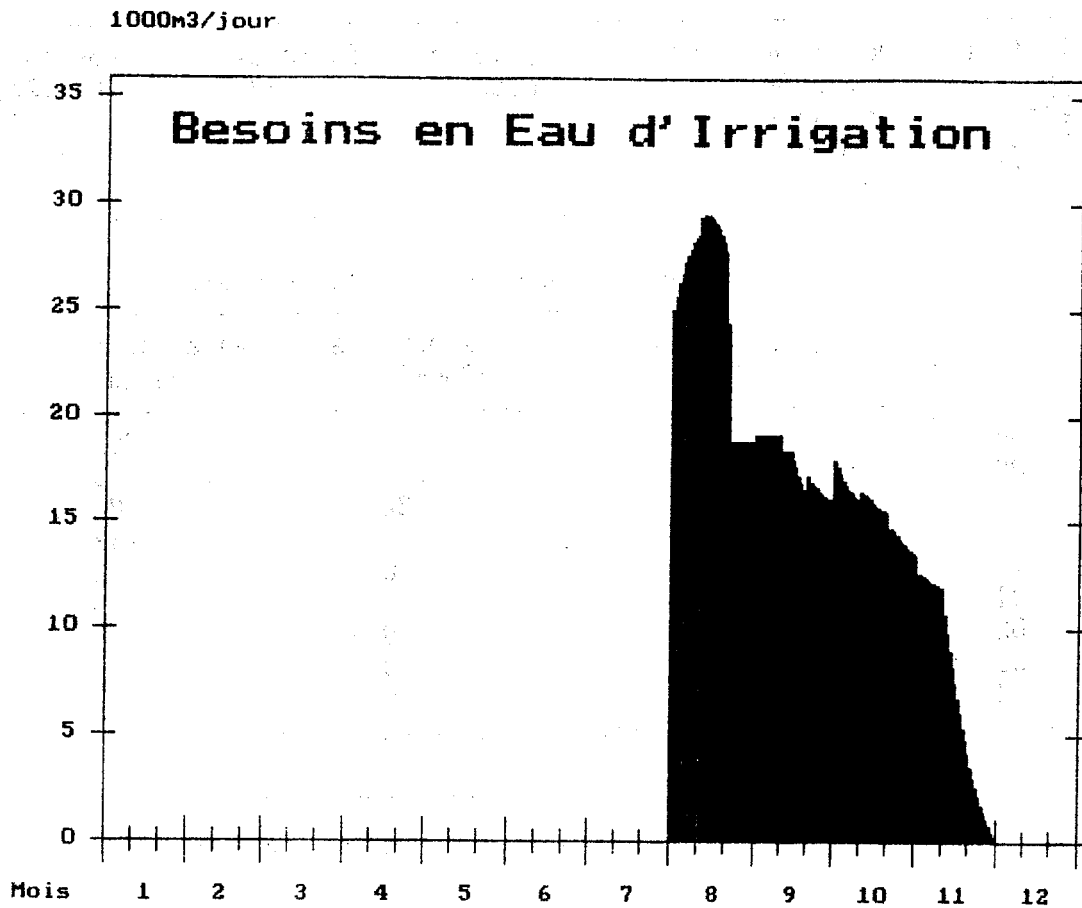


Figure 32.
Représentation Graphique des Besoins journaliers en Eau.

Chapitre 2 La Formation

Parallèlement aux travaux de recherche entrepris en gestion de l'eau, le projet avait un important volet de formation dans ses objectifs. Ce programme de formation était axé sur l'application à la production irriguée des techniques, méthodes et principes du management. Il a intéressé les cadres de la SAED intervenant dans le domaine de la gestion intégrée de l'eau. Son objectif essentiel était de renforcer les compétences et les capacités dans le domaine du management de l'irrigation. La formation a aussi concerné le personnel d'encadrement de la SAED. Elle a été organisée aussi bien au Sénégal qu'en Belgique.

2.1 Formation au Sénégal

Cours

Le projet a initié le personnel cadre de la DFRD (Direction de la Formation et de la Recherche-Développement) à l'étude du système d'exploitation MS-DOS et de logiciels qui aident dans la collecte et le traitement des données. C'est ainsi que le technicien chargé de relever des données journalières de la station agro-météorologique de NDiaye, a reçu une formation lui permettant de rentrer directement les observations à l'ordinateur (logiciel AGROMET).

Le projet a dispensé à la première promotion des conseillères en promotion féminine le module 'Aménagement hydro-agricole et gestion des eaux'.

Séminaires

Le projet a animé des séminaires de restitution et des exposés sur ses travaux de recherche.

Séminaire de restitution sur l'établissement d'un bilan d'eau

Du 25 au 26 Mai 1992, le projet a organisé à NDiaye un séminaire de restitution sur les techniques d'établissement des bilans d'eau. Ce séminaire a regroupé les directeurs de périmètres et les responsables de la gestion de l'eau (DAGE) de l'ensemble des délégations et du BEC (Bureau d'Etudes et de Contrôle).

Exposé sur les besoins en eau du riz

Dans le cadre des activités du PNVA (Programme National de Vulgarisation Agricole), le projet a animé des discussions destinées aux conseillers agricoles et conseillères en promotion féminine sur les besoins en eau du riz.

Sessions de travail

Dans le cadre de la préparation des activités hivernales de 1992, le projet a organisé des séances de travail en Juin et Juillet à Ross-Béthio, Boundoum, Nianga, Fanaye et Diomandou sur la méthodologie d'établissement de bilan

Chapitre 3

Conclusions

Durant les quatre années d'existence du projet, l'équipe du projet s'est évertuée à collecter des informations des données pour d'une part connaître le milieu et d'autre part pour développer des outils d'aide à la gestion.

Bulletins Techniques

Les travaux de recherche et les conclusions auxquelles nous sommes parvenus ont fait l'objet de publications régulières dans les Bulletins Techniques diffusés largement :

- n°1. **AGROMET** - logiciel pour le traitement des données agrométéorologiques (Septembre, 1990).
- n°2. **Analyse statistique des pluies enregistrées à NDiaye** (Novembre 1990).
- n°3. **Analyse du bilan d'eau de deux cuvettes du delta du fleuve Sénégal - Campagne Hivernale 1990** (Juin 1991).
- n°4. **La Bilharziose (Schistosomiasis) associée à la riziculture irriguée** (Juillet 1991).
- n°5. **Analyse de la pluviométrie et de l'évapotranspiration dans la zone du Delta du fleuve Sénégal** (Juin 1992).
- n°6. **Bilan d'eau et Coût d'énergie de périmètres rizi- coles - Delta et Vallée du fleuve Sénégal, Campagnes de 1991 et 1992** (Juillet 1993).
- n°7. **Détermination des besoins en eau - Zone de la Vallée du fleuve Sénégal** (Juillet 1993).
- n°8. **Les sols du delta du fleuve Sénégal - Propriétés physiques et chimiques** (Septembre 1993).

En plus de la publication de ces Bulletins Techniques, le projet a organisé des séminaires en direction de l'encadrement de la SAED pour des échanges de points de vue sur ces recherches et pour la présentation des conclusions les plus saillantes.

Logiciels

Avec l'introduction de plus en plus poussée de l'informatique dans les structures de la SAED, le projet a développé des logiciels pour la collecte et le traitement des données :

AGROMET - logiciel pour le traitement des données agrométéorologiques, et

EXPO - logiciel pour l'exploitation des stations de pompage.

Le modèle BIRIZ

Pour synthétiser les résultats de recherche le modèle BIRIZ a été conçu. Le modèle calcule les besoins en eau d'irrigation d'une ou plusieurs rizières. Il offre aussi la possibilité d'avoir les besoins en eau d'un ensemble de cuvettes, d'une zone géographique bien donnée ou même de plusieurs zones regroupées.

C'est réellement un outil d'aide à la gestion intégrée de l'eau, parce qu'à chaque moment de l'année il est possible de quantifier les volumes d'eau à pomper des grands-axes qui alimentent les différents périmètres considérés. Il aidera ainsi à déterminer les superficies à emblaver pour les différentes périodes de l'année en fonction du débit disponible.

En cas de conflit entre l'apport et les besoins en eau, le logiciel offre la possibilité d'évaluer plusieurs variantes pour trouver les solutions les plus appropriées. On peut intervenir par exemple sur les surfaces irrigués en les majorant ou minorant, sur les dates de semis en les décalant dans le temps, sur les périodes de mise en eau en les étalant, on peut aussi changer les variétés cultivées, etc. Le logiciel montre les conséquences agronomiques et les conséquences sur les volumes d'eau à apporter de chacune de ces modifications prises individuellement ou ensemble.

La Formation

La formation dispensée aux cadres de la SAED à la KULeuven de la Belgique sera nul doute d'un apport certain dans le perfectionnement du personnel et dans la maîtrise de logiciels spécifiques à une gestion intégrée de l'eau.

