

MISE EN VALEUR DES MANGROVES AU SENEGAL

RAPPORT FINAL

Contrat CEE : TSD-A-104 (MR)

---



29 OCT. 1991

P. BOIVIN (ORSTOM Bondy)

J.Y. LOYER (ORSTOM Montpellier)

INSTITUT SENEGALAIS  
DE  
RECHERCHES AGRICOLES  
(I.S.R.A.)

INSTITUT FRANCAIS DE  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DEVELOPPEMENT  
EN COOPERATION  
(ORSTOM)

Commission des Communautés Européennes

Contrat T.S.D. A 104 (M.R.)

# MISE EN VALEUR DES MANGROVES AU SENEGAL

Rapport Final

I.S.R.A.

ALBARET J.J.  
BADIANE S.  
BADIANE-NIANE A.  
BARRY B.  
DEBENAY J.P.  
DEMAY G.  
DIAME F.  
DIAW C.  
DIOUF M.B.  
DIOUF P.S.

FALL A.  
FALL M.  
LE BOUTEILLER C.  
LE RESTE L.  
LO M.  
M'BODJ Y.  
PAGES J.  
POSNER J.L.  
SYLLA M.

ORSTOM

BOIVIN P.  
BRUNET D.  
LAMAGAT J.P.  
LE BRUSQ J.Y.  
LOYER J.Y.  
MONTOROI J.P.  
MOUGENOT B.  
PERAUDEAU M.  
ZANTE P.  
ZOGBI R.

Ø82 ECOSYS  
BOI

F 34.361



1



Aspects de la dégradation  
saline des rizières :

Photo 1 : en bordure de vallée

Photo 2 : en fond de vallée



3



4

ASPECTS DE LA DEGRADATION SALINE.

Photo 3 : palmeraie atteinte de mortalité

Photo 4 : mangrove à Avicennia décimée



5



Dispositifs de mesure  
et d'enregistrement en  
continu :

Photo 5 : sur le tanne vif

Photo 6 : dans le marigot  
de Koubalan



7



Photo 7 : la Centrale  
limnimétrique "Chloe"  
sur le marigot de  
Koubalan.

Photo 8 : un type de barrage  
antisel paysannal.

---

# MISE EN VALEUR DES MANGROVES

## AU SENEGAL

### Rapport final

Contractant :

- 1) l'Institut Sénégalais de la Recherche Agricole, ISRA, 2 rue de Thiong, BP 3120 Dakar, Sénégal
- 2) l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, ORSTOM, 213 rue La Fayette 75480 Paris Cedex 10

Contrat N°: TSD-A-104- (MR)

Chefs de Projet: Faye J. (ISRA); Loyer J.Y. (ORSTOM)

Titre du projet : Programme de Recherche pour la Mise en Valeur des Mangroves au Sénégal.

---

## PLAN DU RAPPORT

INTRODUCTION	4
1-La casamance avant la sécheresse : le milieu naturel	4
2-Objectifs de la recherche	8
I-Première partie : EVOLUTION DU MILIEU NON AMENAGE	11
I-1 Matériels et méthodes	11
I-2 Eaux de surface	12
I-3 Les nappes superficielles	17
I-3-1 Nappes superficielles des plateaux	17
I-3-2 Nappes superficielles des bas-fonds	17
I-4 Les sols	20
I-4-1 La salure	20
I-4-2 L'acidité	22
I-4-3 Evolution intersaisonnière	24
I-5 La végétation	25
I-5-1 La mangrove	25
I-5-2 La riziculture	28
I-6 Ressources halieutiques	29
I-6-1 Captures de crevettes	29
I-6-2 Poissons	29
I-6-3 Autres ressources	31
Conclusion de la première partie	31
II-Deuxième partie : LE MILIEU AMENEGE	34
II-1 Les aménagements hydro-agricoles	34
II-1-1 Introduction	34
II-1-2 Barrage écluse de Guidel	35
a) Les eaux de surface	37
b) Les eaux de nappe	37
c) Les sols	39

d) La végétation	41
e) Ressources halieutiques et pêche	41
f) Autres aspects	42
g) Conclusion	42
II-1-3 Les petits barrages anti-sel	42
a) Les eaux de surface	42
b) Les eaux de nappe	45
c) Les sols	45
c-1) Salure	46
c-2) Acidité	47
d) La végétation	48
e) Ressources halieutiques et pêche	48
f) Autres aspects	48
g) Conclusion	49
 Conclusion du chapitre II-1	 50
 II-2 Mise en valeur des sols sulfatés acides	 51
II-2-1 Déssalement des sols sulfatés acides poldérisés	51
II-2-2 Amendement et récupération des sols sulfatés acides	54
a) Amendements classiques	54
b) Récupération des sols sulfatés acides déssalés	54
b-1) Cases lysimétriques	54
b-2) Essais au champ	57
 Conclusion de la partie II-2	 56
 CONCLUSION DU RAPPORT FINAL	 58
 BIBLIOGRAPHIE	 60

## INTRODUCTION

Les mangroves du Sénégal sont essentiellement composées des mangroves du Sine Saloum et de l'estuaire de la Casamance (cf carte de situation, fig.1). Ces dernières sont les plus importantes, tant par leur extension que par leur place prépondérante dans l'économie de la région casamançaise. Cette région est considérée comme l'une des régions à fort potentiel de développement au Sénégal, devant jouer, avec la vallée du fleuve, un rôle primordial dans l'indépendance alimentaire et économique du pays. Les mangroves de l'estuaire du fleuve Casamance ont donc été le siège de notre recherche dans le cadre du projet intitulé ci-dessus.

Ce rapport présente les résultats et conclusions dégagés au cours des trois années de recherche, tout en rappelant les grandes lignes des travaux effectués. Les références bibliographiques citées en caractères soulignés correspondent aux publications et rapports rédigés à partir de résultats obtenus dans le cadre du projet. Quelques autres références sont citées et apparaissent en caractères ordinaires.

### 1-La Casamance avant la sécheresse : Le milieu naturel

La mangrove Casamançaise occupe les bas fonds qui bordent largement l'estuaire de la Casamance (fig. 2), depuis l'embouchure jusqu'à la région de Sedhiou. Le réseau hydrographique découpe profondément le plateau continental, favorisant ainsi la pénétration de la mangrove dans l'ensemble du paysage. Nous désignerons également ce milieu sous le terme de domaine fluvio-marin.

La répartition du réseau hydrographique trouve son origine dans la géologie de la région. La basse Casamance est la partie méridionale du vaste bassin sédimentaire Sénégal-Mauritanien occupé par les formations sédimentaires de l'ère secondaire et qui a connu sa plus grande extension au Lutétien (Michel, 1971). A partir de l'Eocène se produit un fort mouvement de subsidence à l'ouest d'une ligne de flexure continentale

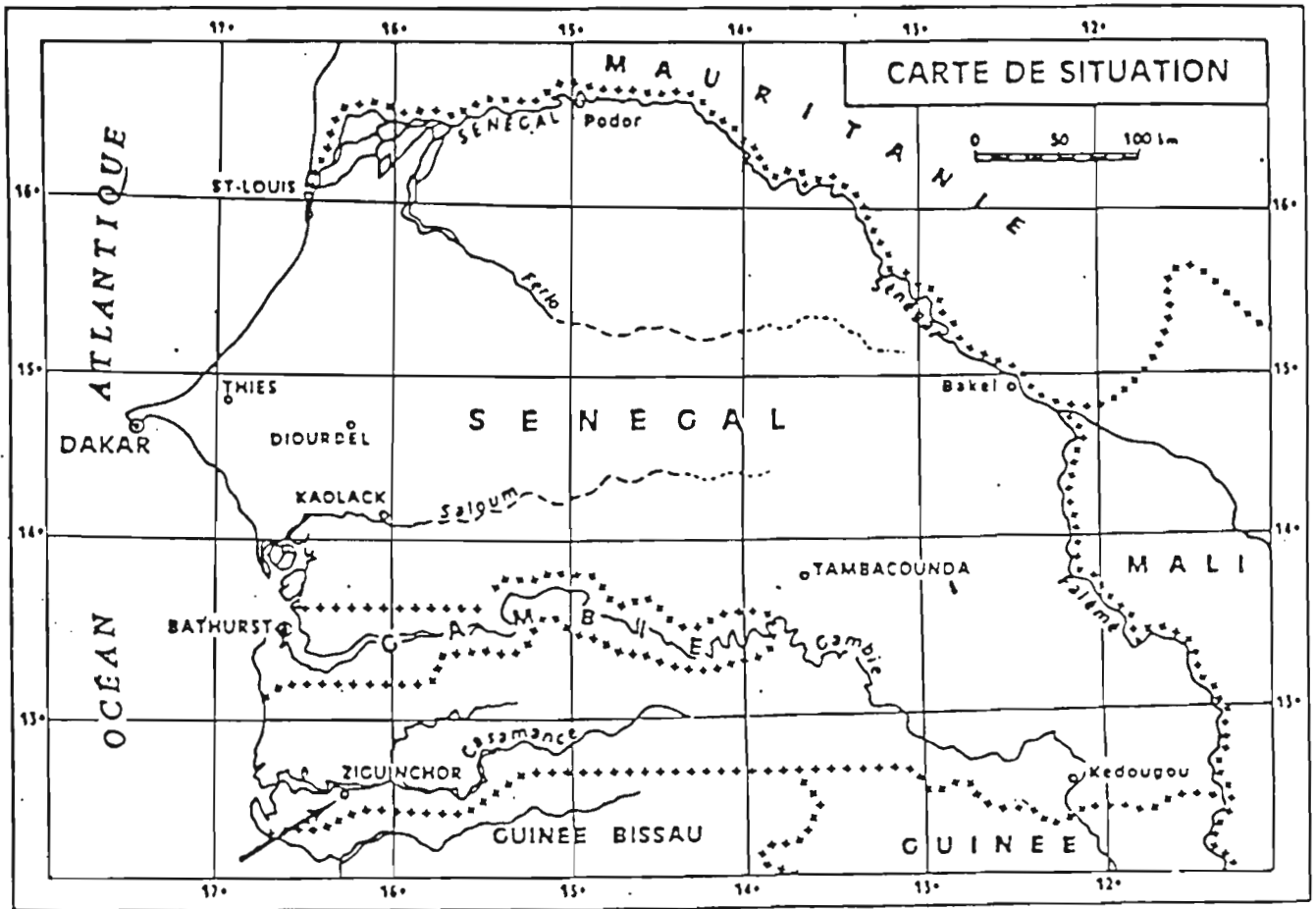


Figure 1 : Carte de situation générale

# CASAMANCE - ISOHYÈTES MOYENNE ANNUELLES

----- Isohyète (1978 SOMIVAC)

———— Isohyète (1968 ORSTOM)



Bassin versant du marigot de BAÏLA

Echelle: 1/500 000

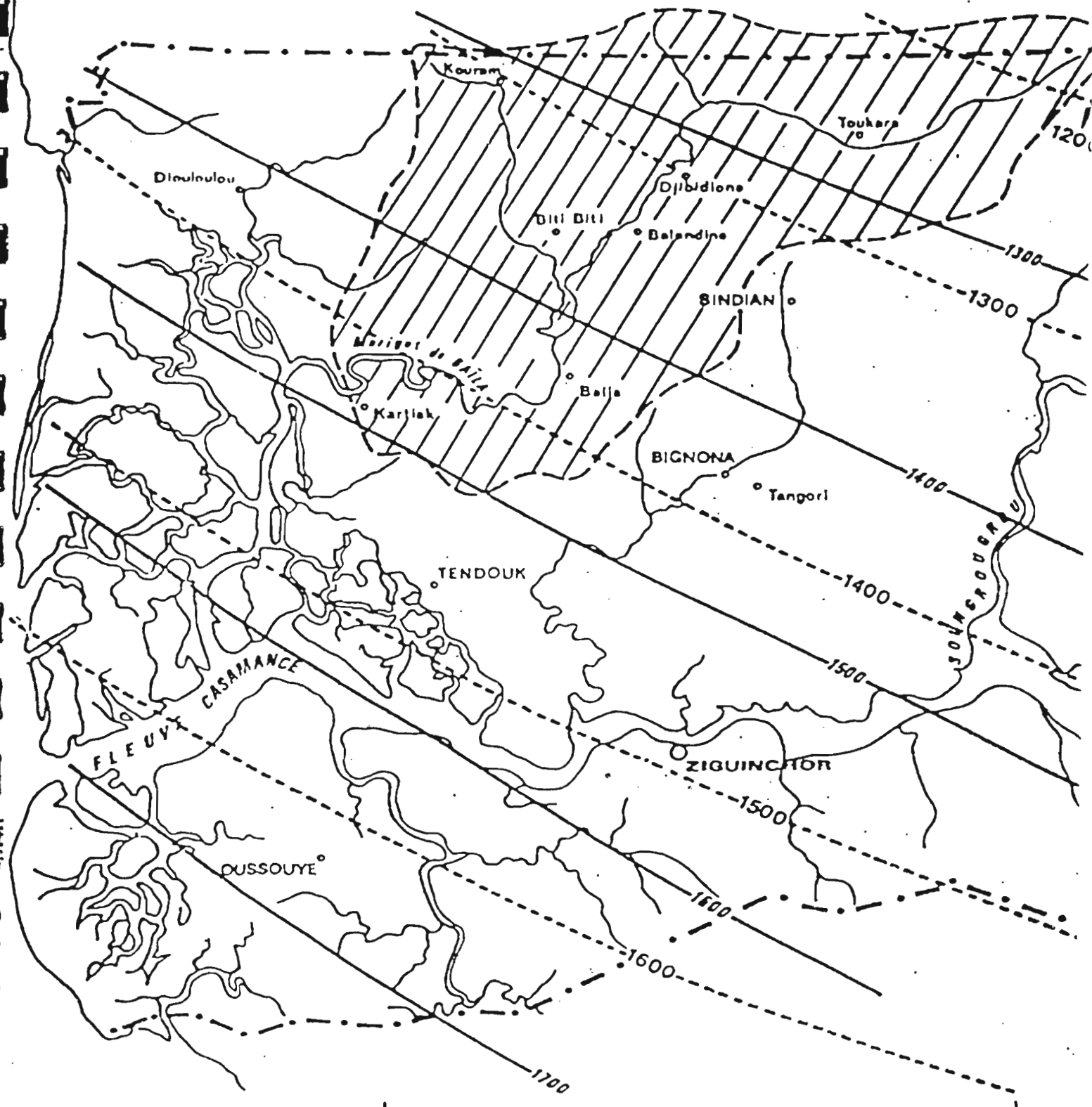


Figure 2 : La basse Casamance, réseau hydrographique et isohyètes

Sédhiou/Dagana. Un dépôt de sédiments secondaire-tertiaire de plusieurs milliers de mètres en basse Casamance et de quelques 400-600 mètres en haute Casamance se met en place. Le miocène s'est caractérisé par des mouvements tectoniques responsables des coudes brusques affectant le cours de la Casamance et de ses affluents appelés bolongs. La mer s'est manifestée par une série de transgressions et de régressions suivies de dépôts de sédiments. Les derniers, déposés principalement en milieu continental, consolidés en grès argileux bariolés, forment le continental terminal de faciès sidérolithique. Ce matériau a été déposé sous l'influence d'un climat tropical à tendance subaride, à pluviométrie irrégulière, en période de rhéxistase. Ces dépôts datent de la fin du tertiaire.

En basse Casamance, le continental terminal a été modelé en bas-plateaux mollement ondulés. Dans la partie Sud de l'estuaire (région d'Oussouye), ils sont très morcelés et ceinturés d'alluvions de différentes époques du quaternaire. Par contre, dans la partie nord (région de Bignona), le plateau est tranché au dessous des sédiments récents par un système de failles mettant en évidence, à travers les entailles du réseau hydrographique, plusieurs niveaux cuirassés.

Sous l'impulsion de la houle du nord-ouest, s'est mis en place un système de flèches et de cordons littoraux qui ont fermé le vaste golfe déblayé lors de la grande régression pré-holocène (15 000-20 000 B.P.) responsable du creusement des vallées, plus ou moins colmatées lors du Nouakchottien, qui dissèquent le plateau du continental terminal dont notamment les vallées de Bignona et de Baïla.

La transgression Nouakchottienne (5 000 B.P.) entraîne le comblement général de l'estuaire et des basses vallées, et la construction des terrasses étagées, sableuses, fréquentes dans l'estuaire et ourlant parfois le plateau du continental terminal.

Entre les cordons littoraux, les terrasses et les plateaux, s'est produite une sédimentation récente qui est à l'origine des vasières à mangrove, sillonnées de chenaux profonds.

Pour la suite de cet exposé, nous devons souligner que l'ensemble du profil longitudinal de la Casamance et de ces affluents est à peu près plat. Les pentes sont très faibles voire nulles jusqu'à 250km de l'embouchure. Ce fait aura de graves conséquences ces dernières années, nous les détaillerons ci-après.

Le climat de la Casamance est connu par les stations suivantes :

- Ziguinchor (1921)
- Diouloulou (1937)
- Bignona (1956)

Jusqu'aux années soixante dix, la description du climat était la suivante :

Il était caractérisé par deux saisons très contrastées. Il n'y a aucune précipitation pendant l'hiver, de Novembre à Mai, par contre, les pluies sont abondantes en Août et Septembre, mais très irrégulièrement réparties. La pluviométrie moyenne diminue rapidement du sud-ouest au nord-ouest, de 1800 à 1200 mm

Le déficit pluviométrique est apparu en Casamance dès 1968. Il se caractérise par une diminution du cumul des précipitations, une réduction de la durée totale de la saison des pluies (ou hivernage), et enfin une grande irrégularité dans la répartition des pluies. Il prend un caractère exceptionnel en 1974, mais ses effets seront évidents sur le milieu naturel à partir de 1980.

Le domaine fluvio-marin de basse Casamance a été largement étudié sous ses divers aspects avant cette période. Citons notamment Brunet-Moret (1970, hydrologie), Vieillefon (1974) et Marius (1980, pédologie), pour les travaux ORSTOM, Gora-Beye (agronomie, pédologie) pour l'ISRA.

Si le réseau hydrographique connaît déjà des périodes de salure, Brunet-Moret mesure néanmoins des écoulements dans la plupart des

affluents et dans le cours principal de la Casamance. Ces écoulements se prolongent durant la presque totalité de la saison sèche. En conséquence, les niveaux de salure atteints en fin de saison sèche dans les eaux de surface restent faibles, en tout cas inférieurs au taux marin.

Les nappes superficielles des plateaux ne sont pas salées, et se trouvent à une cote nettement supérieure à celle des eaux de surface du réseau hydrographique. Les nappes des sols de bas fonds elles mêmes ne sont pas toujours salées.

La salure des sols de Mangrove reste faible : les précipitations d'hivernage autorisent un déssalement de ces vases, qui sont cultivées en rizières inondées.

La pédogénèse dominante de ces sols est potentiellement sulfatée acide. Ceux ci représentent la majeure partie des sols de bas-fonds. Les sols sulfatés acides, associés aux "tannes" vifs (étendues salées sans végétation), occupent eux un espace limité dans le paysage entre la mangrove et les terrasses herbacées. Le pH "in situ" y est voisin de 4.5, la jarosite (minéral jaune pâle) est presque toujours le caractère distinctif de ces sols.

La végétation de mangrove à palétuviers occupe l'essentiel des zones dont la cote topographique est proche de celle des eaux de surface. Ce milieu abrite une activité biologique naturelle intense: production de bois, d'huîtres, de poissons, auxquelles s'ajoutent les activités humaines : la riziculture y est pratiquée, en association avec la pisciculture (Pélissier P. 1966).

Les populations locales mettent à profit l'association bas-fonds/ plateau qui caractérise la région. Leur subsistance se base sur la riziculture et la pêche, auxquelles s'ajoutent quelques cultures de plateau, notamment celle du mil. Les calendriers cultureux et l'organisation sociale sont adaptés à ces options.

## 2-Objectifs de la recherche :

La sécheresse que connaît la zone sahélienne sévit également dans cette frange Sud du Sahel que représente le milieu de mangrove de Basse Casamance. Les effets sont devenus évidents sur le paysage à partir des années 1980. En résumé, on a pu constater :

- une hypersalure inhabituelle des eaux de surface: cours de la Casamance et affluents, ainsi que des nappes superficielles,
- la disparition massive de la mangrove, de l'amont vers l'aval, plus grave chaque année,
- la péjoration simultanée des résultats de pêche et de production de bois,
- la régression des surfaces rizicultivables non-salées, et la disparition de la riziculture traditionnelle en zone salée.

Ces constatations ont induit une crise de l'aménagement dans la région, les ouvrages conçus sur des données pluviométriques périmées s'avérant inefficients, voire dangereux, tandis que l'évolution très rapide du milieu ne permettait pas d'élaborer de nouveaux schémas d'aménagement.

Dans le même temps, les chercheurs de l'ISRA et de l'ORSTOM commencèrent à étudier les transformations subies par le milieu.

C'est dans ce contexte que fut élaboré le programme de recherche intitulé ci-dessus, et dont les objectifs étaient les suivants:

- définir le mode d'évolution du milieu naturel en conditions non aménagées, et les conséquences de cette évolution naturelle sur l'écologie du milieu et sur les spéculations humaines qui en dépendent,
- définir l'impact des différents types d'aménagement du milieu, réalisés ou en cours de réalisation, sur l'évolution de ce milieu et sur les diverses spéculations humaines,
- définir les modes d'aménagement les mieux adaptés à la nouvelle situation.

Dans la suite de ce rapport, nous présenterons les matériels et méthodes employés et les principaux résultats obtenus en insistant sur la comparaison entre milieu aménagé et milieu non aménagé.

## Première partie

### I- EVOLUTION DU MILIEU NON AMENAGE

#### I-1 Matériel et méthodes

Le détail des différentes actions de recherche entreprises figure dans les rapports semestriels. Nous ne rappellerons ici que les grandes lignes des matériels et méthodes employés.

Les données concernant les eaux de surface et de nappe ont été recueillies par les différentes équipes concernées : CRODT, ISRA, ORSTOM. Les sols ont été plus particulièrement étudiés par les pédologues de l'ORSTOM tandis que l'étude des systèmes de culture et des aménagements hydro-agricoles était réalisée par l'ISRA.

Les prélèvements d'eau ont nécessité des missions sur les différents cours d'eau pour les eaux de surface, l'installation de réseaux piézométriques pour les eaux de nappe.

Des technologies de mesure ont du être mises au point:

-mise au point et fonctionnement en milieu hyper-salé d'une sonde limnimétrique CHLOE (technologie ORSTOM/ELSYDE) équipée d'une sonde conductivimétrique (Péraudeau M., 1986);

-mise au point d'une station automatique de mesure des paramètres chimiques des eaux et des sols (Loyer, J.Y. dans Péraudeau M., 1986)(photos 5 et 6 p.59);

-mise au point d'une station de mesure in situ du pH et du Eh de sols acides et salés (Le Brusq et al., 1986).

La plupart des résultats ont été obtenus par le suivi de sites tests. Ce sont par exemple les vallées de Koubalan et Djiguinoum pour la rive nord de la Casamance, ou les vallées de Katouré, Guidel ou Balingore pour la rive sud. De nombreux essais au champ ont été entrepris (pédologie et agronomie), des cases lysimétriques ont été réalisées.

Un travail de connaissance préliminaire du milieu a dû être accompli en amont de la recherche. Citons notamment l'étude de la réponse spectrale des aspects de surface des sols (Mougenot et Zante, 1986), préliminaire à l'utilisation de la télédétection, l'étude de la variabilité spatiale des principaux paramètres du sol (Boivin, 1986), destinée à maîtriser les problèmes de mesure et d'estimation. De même un logiciel de cartographie automatique des sols a été rédigé (Boivin, 1988).

## I-2 Eaux de surfaces

L'onde de marée est perceptible dans le cours de la Casamance et de ses affluents, jusqu'à 250km de l'embouchure. Ainsi, pour le marigot de Koubalan, le marnage moyen est de 60cm en hivernage.

Les eaux du cours de la Casamance et de ses affluents ont connu une augmentation régulière de leur niveau de salure depuis le début de la sécheresse (fig. 3). Dans ce phénomène, on peut distinguer deux états saisonniers : saison sèche et saison des pluies.

En saison sèche, le gradient de salure s'est peu à peu inversé d'amont en aval, jusqu'à observer une salure croissante de l'aval vers l'amont, et ce jusqu'à 250 km de l'embouchure où le taux de salure a atteint cinq fois celui de la mer en 1984 (fig 3).

En saison des pluies, la variation du taux de salure des eaux de la Casamance dépend du volume des précipitations reçues sur le bassin versant. Pour les années les moins déficitaires, on constate un effet de "chasse", déplaçant les maximas de salinité vers l'embouchure, tandis que le taux de salure chute sur l'ensemble du cours. En revanche, le gradient de salure croissant de l'amont vers l'aval est conservé même en fin de

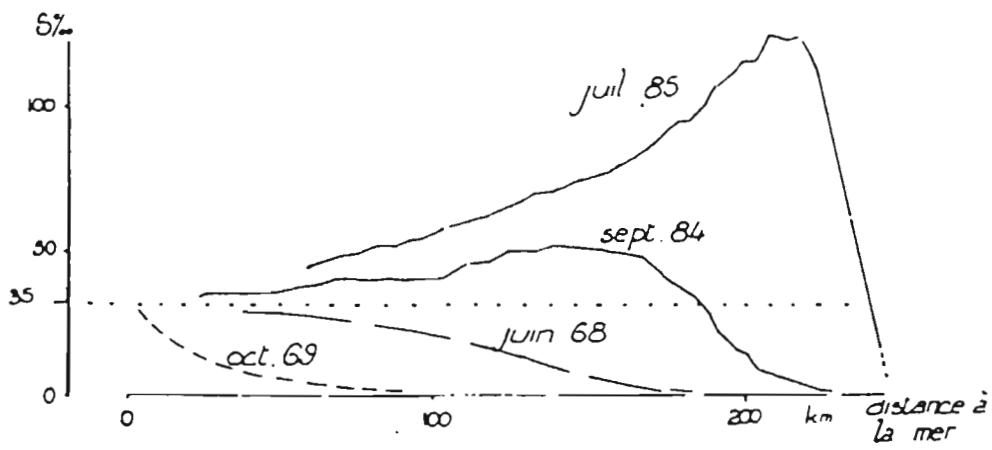
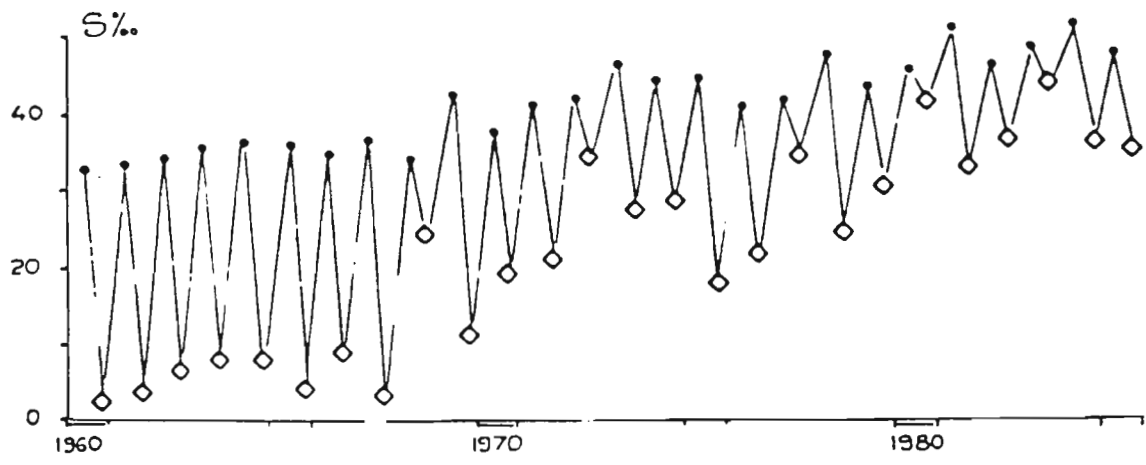


Figure 3 : Augmentation de la salinité de la Casamance

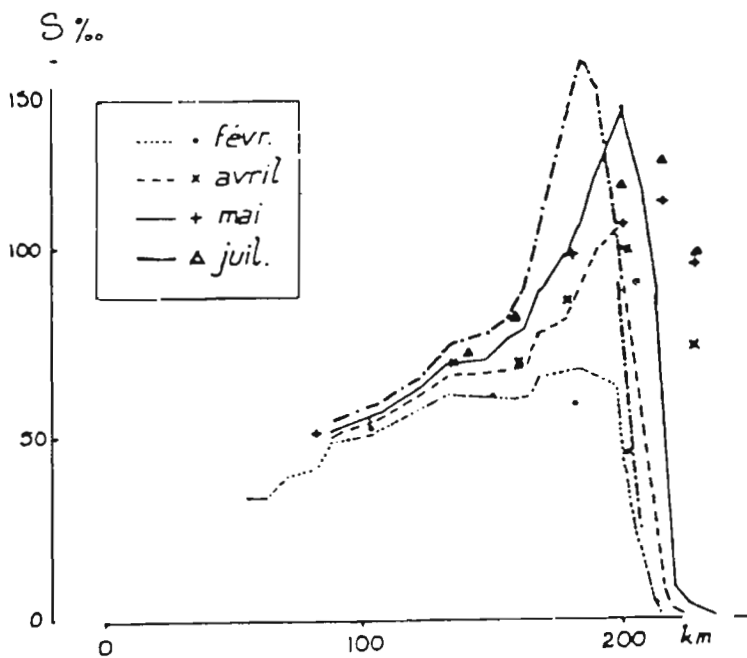


Figure 4 : Eaux de surface de la Casamance: salinité durant l'hivernage 1985

saison des pluies les années les plus déficitaires (1983, fig 4).

La salure réapparaît très rapidement après les dernières pluies: ainsi en 1985, et malgré un hivernage relativement favorable, la salure réatteignait son niveau maximal de l'année précédente trois semaines après les dernières pluies dans le marigot de Koubalan.

Grace aux mesures effectuées par le matériel CHLOE (centrale automatique de mesure de hauteurs d'eau et de conductivité électrique) (photo 7, pl4), Péraudeau (1986) met également en évidence le caractère éphémère de l'influence d'une pluie supérieure à 40mm sur les cotes et la salinité des eaux de surface (fig. 5). Au coeur de la saison des pluies, le volume des apports pluviaux du bassin versant reste très faible par rapport aux volumes mis en mouvement par la marée. Enfin, la brutalité des variations de salinité est soulignée.

Si l'on considère les caractéristiques analytiques des eaux dans leur ensemble, on peut assimiler l'évolution des eaux de la Casamance à celle d'un milieu confiné (Debenay et al, 1986; Pages et al, 1986). Toutes les caractéristiques d'un tel milieu sont ici réunies. Notons qu'une telle évolution semble unique dans la bibliographie, s'agissant d'un estuaire.

A l'origine de ce phénomène se trouve bien sûr le déficit pluviométrique que connaît la région depuis deux décennies. On a pu montrer que les écoulements d'eau douce dans le cours de la Casamance et de ses affluents ont pratiquement disparu ces dernières années. Si des apports d'eau douce se produisent encore en saison des pluies, les écoulements sont difficilement mesurables et d'un effet aussi bref que négligeable.

Dans ces conditions et compte tenu du profil rigoureusement plan de la partie fluvio-marine du bassin versant, ce dernier se transforme en bassin évaporatoire pendant les neuf mois de saison sèche. Seule l'intrusion des eaux marines par l'estuaire vient alors compenser les pertes par évaporation. L'apport de sels marins ainsi assuré chaque année n'a pas encore pu être chiffré, malgré les diverses approches mises

EVOLUTION DES HAUTEURS ET CONDUCTIVITE DE L'EAU DU MARIGOT DE  
KOUBALAN PENDANT L'HIVERNADE 1985

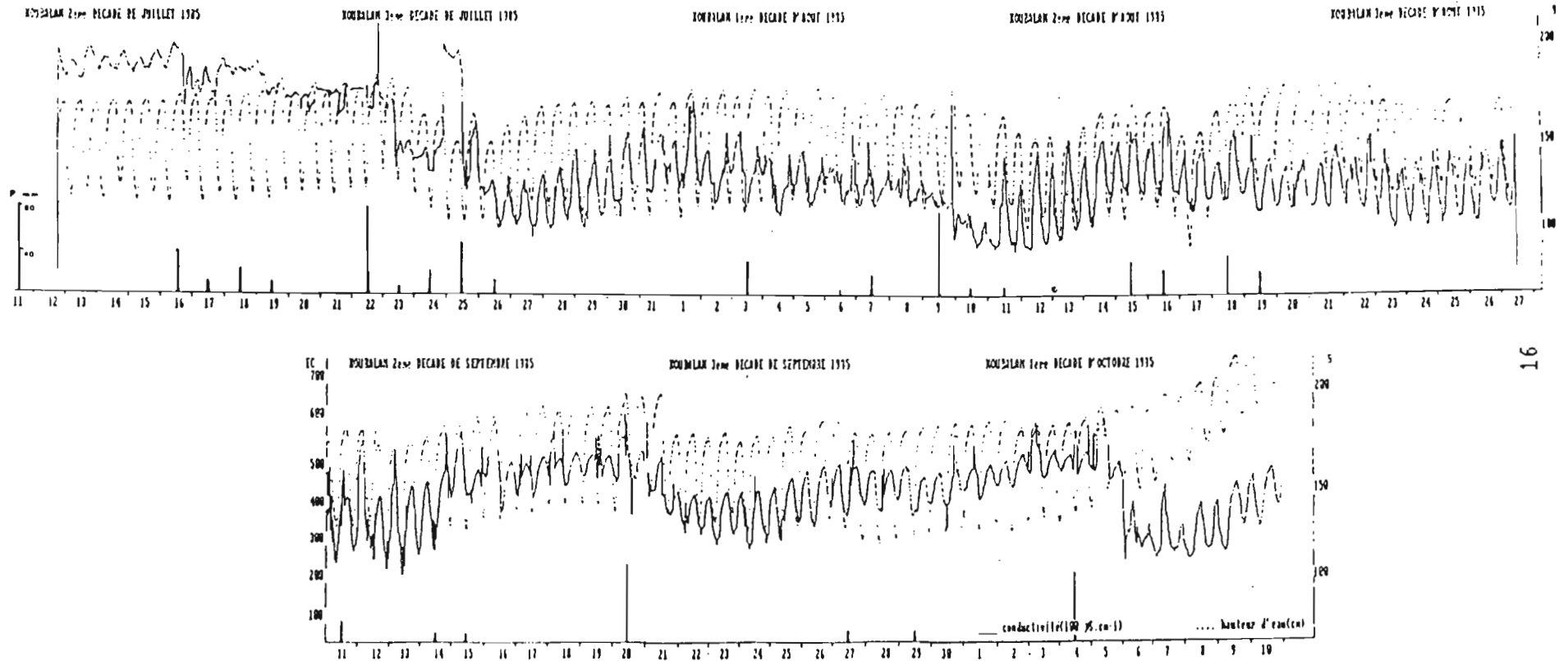


Figure 5 : Enregistrements hauteur d'eau/ salinité du marigot de  
Koubalan à l'aide du dispositif CHLOE

en oeuvre: télédétection, modélisation, mesures hydrologiques. Le réseau hydrographique n'est plus un drain mais une source de sel pour le milieu.

Les discussions sur la réversibilité du phénomène en cas de retour à une pluviométrie normale se basent sur des arguments qualitatifs, en l'absence de modèle régional. Dans un premier temps, il faut noter que la relative amélioration pluviométrique de ces dernières années n'a pas enrayé la dynamique de progression des sels en saison sèche.

Notons enfin que les teneurs en chlorophylle a des eaux de surface restent élevées (Barry et al, 1986b).

### **I-3 Les nappes superficielles**

#### **I-3-1 Nappes superficielles des plateaux**

Les nappes superficielles des plateaux s'abaissent de 0.5m à 1m chaque année depuis plus d'une décennie (Le Priolle, 1983). Des rabattements de plus de 20m ont été constatés. D'autre part, on a pu montrer localement que les infiltrations d'eau en saison des pluies n'atteignent pas la nappe: la nappe n'est plus rechargée par les précipitations d'hivernage, sauf peut-être en bordure de plateau. La nappe superficielle se trouve à une profondeur moyenne de 18m à 25m en basse Casamance: ceci la situe presque toujours à une cote inférieure à celle de la mer et des eaux de surface, maintenant salées, du réseau hydrographique.

#### **I-3-2 Nappes superficielles des bas-fonds**

Nous venons de signaler que le gradient de charge favorise un écoulement des eaux de surface salées vers les nappes douces du plateau. En début de séquence (fig. 6) se trouvent les bas fonds dont les nappes sont hypersalées: de deux à cinq fois plus salées que l'eau de mer. Si l'on schématise le fonctionnement des nappes, sur une séquence marigot-palmeraie (la palmeraie se situe en bordure du plateau), on obtient les situations de la figure 7 : le gradient de charge permet une

KOUBALAN — PROFIL TOPOGRAPHIQUE DE LA SÉQUENCE

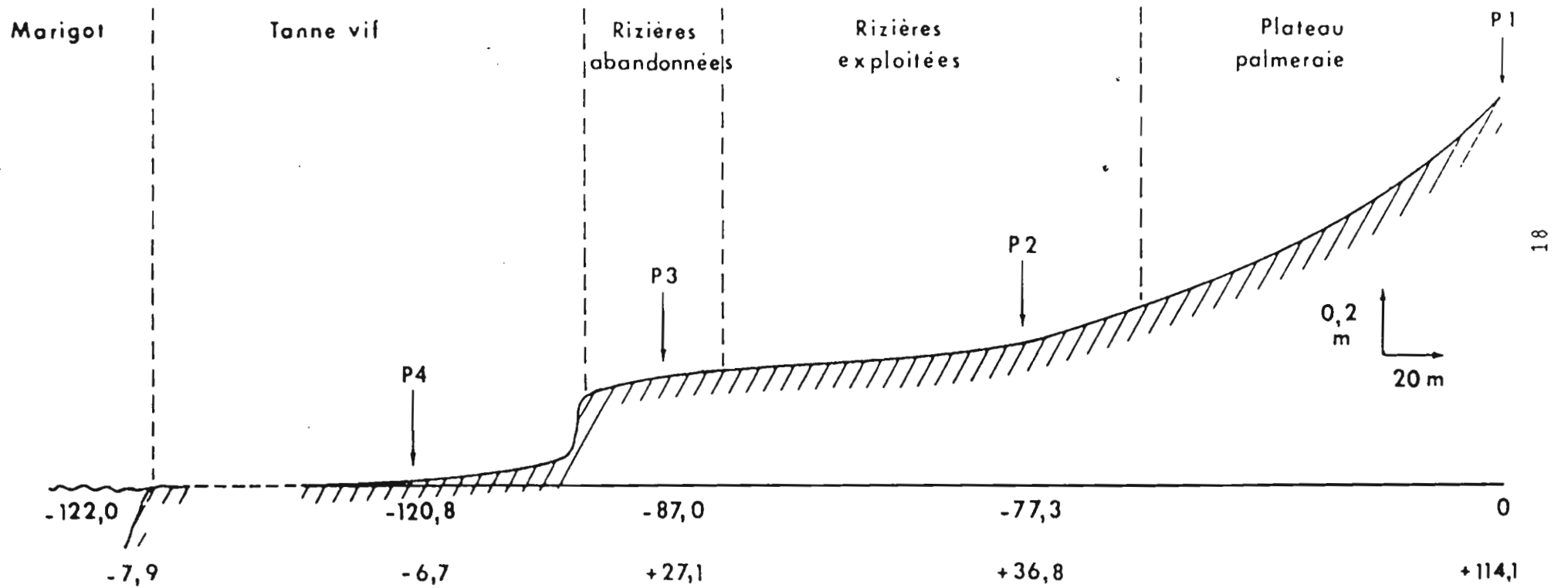
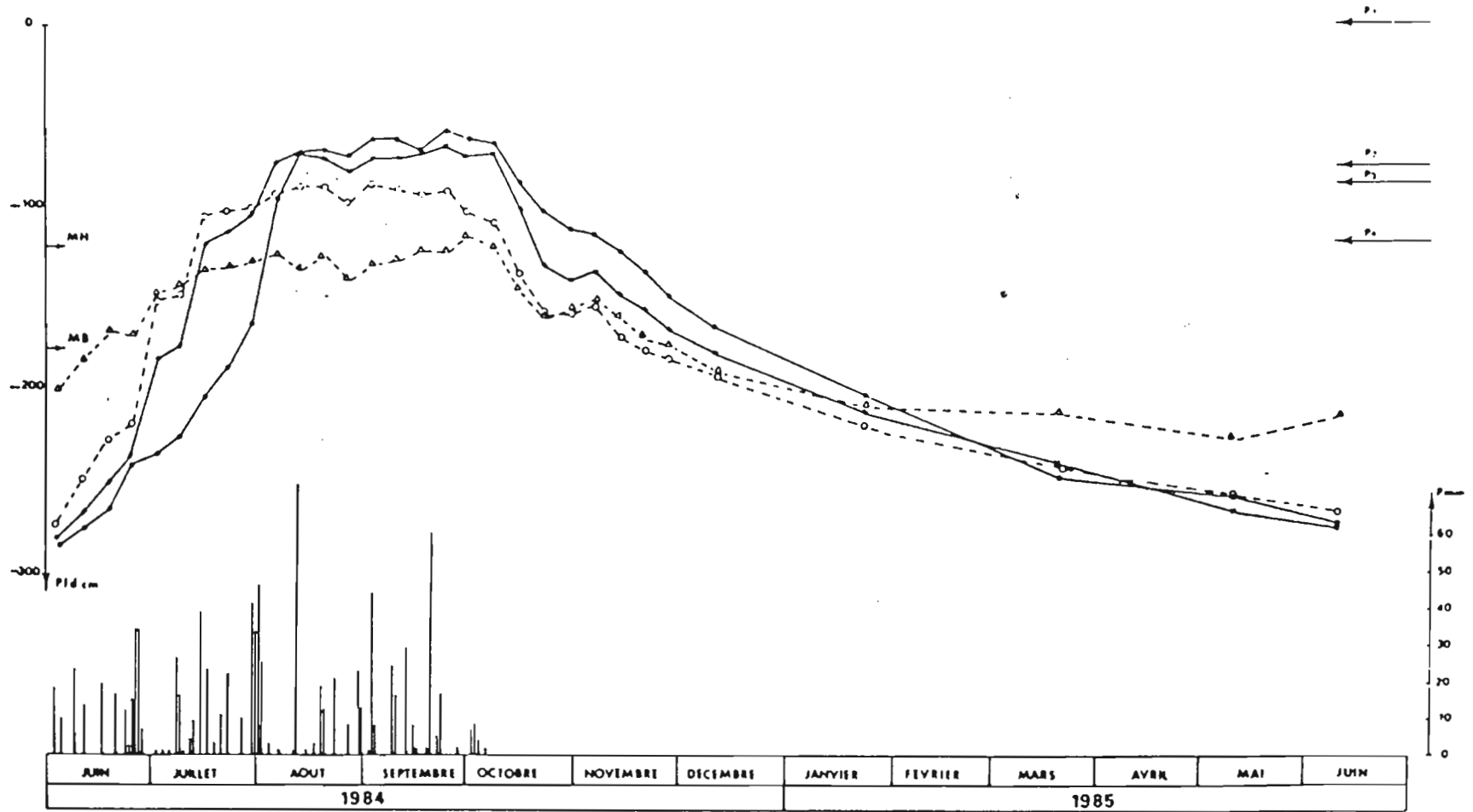


Figure 6 : Koubalan : une séquence topographique classique

- P<sub>1</sub>
- P<sub>2</sub>
- P<sub>3</sub>
- △- P<sub>4</sub>

Fig 7 KOUBALAN — VARIATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE 1984 — 1985



progression des eaux salées pendant environ neuf mois de l'année. Le mouvement s'inverse pendant environ trois mois, à la faveur des précipitations d'hivernage. Le bilan annuel est une nette progression de la salure dans le paysage (Zante et al, 1986).

Il est difficile de donner à l'échelle régionale une vitesse de propagation de la salure, ou de chiffrer par une quelconque méthode l'accumulation des sels. Un programme de télédétection disposant de plusieurs images par année et associé à des méthodes modernes de cartographie de la salure (Boivin et al, 1988a) pourrait cependant permettre de décrire spatialement le phénomène.

Localement, des études sont en cours pour déterminer les paramètres de transfert au niveau des nappes et des sols (Boivin et al, 1988b; Touma et Boivin, 1988). Ces résultats pourront, dans une certaine mesure, servir de référence aux aménagistes.

Les nappes de bas fonds sont peu profondes : de quelques cm à 2m en général. Aussi leur forte teneur en sel a-t'elle des incidences sur les sols et la végétation naturelle ou cultivée.

#### I-4 Les sols

Les sols de mangrove ont été affectés par deux phénomènes majeurs : salure et acidité. Ces deux phénomènes sont dus au déficit hydrique.

##### I-4-1 La salure

Durant la saison sèche, la salure se propage à partir du réseau hydrographique à l'ensemble du paysage environnant. Deux phénomènes interviennent :

-l'invasion par les eaux salées des zones à topographie basse, à la faveur des fortes marées.

-la remontée des sels dans les profils de sols depuis la nappe salée. Cette remontée se produit en saison sèche et pendant les interruptions de pluies en hivernage. Les sols de bas fonds ne sont plus

ici les seuls concernés : cette salure affecte également les sols des basses terrasses et souvent maintenant les sols gris de la palmeraie (photo 3, p21).

La mesure de la salure dans les sols sulfatés acides peu évolués pose des problèmes. La méthode de référence, mesure de la conductivité électrique sur extrait de sol, donne des résultats peu précis et non reproductibles. Différentes méthodes ont été testées (Job et al., 1987; Boivin et Al., 1988a), la mesure de la conductivité électrique in situ à l'aide d'un conductivimètre électromagnétique semble être la méthode la plus performante. On pourra également se baser sur la conductivité électrique des eaux de nappe.

Les taux de salure atteints par les sols de bas fonds sont très élevés, dépassant souvent les 10mS/cm sur extrait 1/5 de sol. Ce résultat est valable pour tous les sites prospectés. Nous verrons que ces taux de salure interdisent le développement d'une végétation naturelle, même halophile, et interdisent également toute mise en culture.

#### I-4-2L'acidité

Les nappes des zones de bas fonds se sont rabattues en même temps que leur salure a augmenté. La chute de la cote des nappes varie de quelques centimètres à 2m selon la position dans le paysage et la distance nappe/cours d'eau (fig. 7). Chaque fois que des sols potentiellement sulfatés acides (en général des sols de mangrove à Rhizophora) se sont trouvés ainsi exondés, ces sols se sont acidifiés. C'est ainsi que dans la plupart des affluents de la Casamance, les vastes étendues de sols de mangrove se sont acidifiées. On note alors l'apparition dans le profil de Jarosite (minéral jaune pâle), localisée essentiellement dans les anciens conduits racinaires de Rhizophora (photo 10, p53). Le pH in situ chute très rapidement, à des valeurs inférieures à 4,5. L'ensemble des modifications subies par le sol sont conformes à celles décrites de façon détaillée par Vieillefon (1974) et Marius (1980).

On a pu noter une disparition presque totale des sols non

acidifiés dans la plupart des marigots de la rive Nord. Pour le marigot de Koubalan (Boivin et Le Brusq, 1984), on estime que la superficie de sols sulfatés acides est passée de 13% à 65% des zones basses de 1969 à 1984. Le sol sulfaté acide est devenu le type de sol dominant.

Cette évolution vers les sols sulfatés acides a donc un caractère régional. La présence de vastes zones acidifiées a provoqué secondairement une acidification des nappes, et semble-t'il une propagation de l'acidité. En effet on note fréquemment des pH in situ inférieurs à 4 pour des sols présentant tous les caractères morphologiques d'un sol potentiellement sulfaté acide (dont le pH est en principe voisin de la neutralité). Nous insistons sur le fait que ces évolutions se produisent en milieu naturel, sans intervention humaine. Contrairement à ce qui a pu être écrit, le facteur anthropique n'a ici qu'un rôle tout à fait secondaire.

Mais depuis 1984, une évolution plus importante est constatée. Il s'agit de sols à très forte acidité (pH in situ voisin de 2), exprimée essentiellement sous forme d'aluminium en solution et échangeable. Ces sols sont décrits par Le Brusq et al (1987). En surface, ils précipitent des sulfates d'aluminium et de fer, à des pH voisins de 1,5.

Ce type de sol appelle deux remarques importantes:

-il correspond à une acidité et à des formes minérales jusqu'alors inconnues dans un milieu naturel. Un nouveau type de sol a été proposé pour la classification dans le référentiel français : les sulfatosols aluniques (Marius, C., AFES, 1987), sa description a permis d'élargir le concept de pédogénèse en milieu sulfaté acide;

-les surfaces présentant ce type de sol s'accroissent chaque année. Nous disposons d'hypothèses géochimiques pour expliquer cette genèse (Le Brusq et al, 1987), les recherches en cours tentent de les discuter. Cette pédogénèse est d'autant plus préoccupante qu'elle s'accompagne d'une forte libération d'aluminium dans le milieu et qu'elle semble se développer plus intensément dans les milieux aménagés et en cours de dessalement (cf deuxième partie). En effet, les fortes

concentrations en aluminium peuvent être à l'origine de carence en phosphore pour les cultures. Nous exposerons ci-après l'approche que nous avons réalisé de ce problème.

#### I-4-3 Evolution intersaisonnière

Outre l'évolution interannuelle que nous venons de résumer, nous avons essayé de distinguer les évolutions géochimiques des sols au cours des divers régimes saisonniers. L'intérêt de cette recherche est d'évaluer, en cas de retour à une normale pluviométrique et en conditions naturelles :

- la réversibilité des phénomènes d'acidification des sols, notamment la présence d'aluminium en solution;
- la réversibilité des phénomènes de salure des nappes et des sols.

Pour réaliser ces études, des matériels de mesure "in situ" et en continu des caractéristiques chimiques des sols et des eaux ont été mis au point (Le Brusq et al, 1987b). Cette mise au point s'est avérée particulièrement délicate en raison de l'agressivité chimique du milieu à l'égard des électrodes et des capteurs. Les solutions techniques retenues figurent dans les références citées.

Les stations de mesure n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque variation du pH "in situ" des sols non aménagés au cours de la saison des pluies. Et ce malgré une nette chute du potentiel d'oxydo-réduction pendant la phase de submersion.

De même la salure des sols, mesurée à partir de sondes quadripôles implantées "in situ", est restée stationnaire.

Comparées aux résultats obtenus lors du suivi du réseau hydrographique, ces observations nous conduisent aux conclusions suivantes:

- les premières pluies saturant rapidement les sols de bas fonds, leurs nappes se trouvant alors affleurantes (fig. 7);

-les précipitations suivantes ruissellent alors, sans incidence sur la salure interne des sols. Dans ces conditions, les précipitations importantes ont une influence nette mais brève sur la salure des bolongs secondaires (Péraudeau , 1986);

-le pH des eaux de surface est souvent inférieur à 7 pour les bolongs secondaires. Ceci atteste d'une relative évacuation d'acidité par les pluies. Cependant, le pouvoir tampon du sol est beaucoup trop important pour qu'une remontée de son pH soit mesurable;

-malgré la chute du potentiel d'oxydo-réduction, le pH du sol "in situ" reste constant. Le pouvoir tampon du sol est à nouveau en cause. Il faut ajouter que la microfaune du sol, responsable des phénomènes d'oxydo-réduction des composés soufrés, est sans doute peu active dès lors que les pH sont inférieurs à 3,5;

-en saison sèche, l'oxydation des sols est brutale. Le Brusq et al (1987) ont montré qu'une phase d'hyperacidification était alors possible, soit par évolution des sols sulfatés à Jarosite, soit directement à partir des composés sulfurés.

La modification du régime hydrique est donc responsable d'une catastrophe écologique à l'échelle régionale. Salure et acidité en sont les expressions. La réversibilité de ces phénomènes est tout à fait douteuse en l'absence d'aménagement.

## I-5 La végétation

Un grand nombre d'observations ont été réalisées, au niveau de la végétation naturelle et des cultures. La végétation naturelles est la mangrove à palétuviers et son cortège, d'halophytes, la riziculture inondée est la seule culture pratiquée dans ce milieu.

### I-5-1 La mangrove

Les deux variétés de palétuviers présentes traditionnellement sont le Rhizophora et l'Avicennia.

Le Rhizophora (doté de racines échasses) colonise les bordures de marigots. L'Avicennia, aux pneumatophores caractéristiques, se situe

entre les Rhizophora et les tannes vifs, grace à sa meilleure résistance à la salure. Une séquence classique est décrite par Vieillefon (1974).

Ces deux espèces colonisaient la totalité des sols de bas fonds, les paysans défrichant la mangrove pour pratiquer la riziculture inondée.

Actuellement, les étendues de mangrove offrent un spectacle de désolation : souches d'arbres morts et grandes étendues désertes constituent le paysage. Pour la plupart des marigots de la rive nord de la Casamance en amont d'Oussouye (cf. carte de situation fig. 2), le taux de mortalité est voisin de 100%. La conclusion du programme de télédétection encore en cours devrait permettre de donner un chiffre pour la mortalité globale de la mangrove. Les estimations varient de 70 à 90% (photo 4, p21).

Des essais en pot ont été effectués, destinés à tester la tolérance à la salure des palétuviers: aucune des espèces ne tolère une salure supérieure à celle de l'eau de mer. La mortalité est de 100% en quelques jours pour une conductivité des eaux de 60mS/cm (Badiane, 1986). Or la conductivité des eaux de surface dépasse fréquemment 90mS/cm (Barry et al, 1986a et fig. 3).

Dans ces conditions, il est même surprenant de trouver encore des specimen vivants.

Il en va de même pour les diverses plantes halophytes qui tapissent les sols de mangrove. L'espèce la plus résistante est *Sesuvium portulacastrum*.

Cette totale disparition de la végétation aboutit à un paysage de tannes vifs ou vastes étendues salées dénudées. Leur seul intérêt est l'utilisation des croutes de sel pour l'alimentation.

Enfin, la progression des sels dans le paysage atteint maintenant les palmeraies qui marquent la limite entre plateaux et marigots. En de nombreux sites, cette palmeraie est déjà décimée. Une

nouvelle ressource importante pour les populations est ici compromise (photo 3, p21).

La palmeraie est constituée du palmier *Elaeis Guineensis* Jacq, espèce soudano-guinéenne répandue en Casamance et plus particulièrement dans sa partie maritime. Cette palmeraie représente une activité agricole très appréciable, notamment grâce au commerce du vin de palme et de l'huile de palme, ainsi que des diverses utilisations dont elle est l'objet (Fall et al, 1987).

### I-5-2 La riziculture

Pour la riziculture, la constatation est identique : les taux de salure atteints par les sols excluent tout repiquage du riz. Le mode d'aménagement traditionnel prévoit un endiguement et un billonnage des parcelles. Le déficit pluviométrique provoque l'échec de ce système à plusieurs niveaux (photos 1 et 2, p.27) :

-le taux de salure initial impose un temps d'attente trop long avant le repiquage : bien souvent, ce repiquage ne peut être réalisé que début Septembre. Il ne reste alors en général qu'un mois de pluies;

-outre son raccourcissement, la saison des pluies est devenue irrégulière. Il n'est pas rare de constater un arrêt des précipitations pendant une semaine. L'évaporation provoque alors une remontée des sels depuis la nappe phréatique proche. Cette remontée est fatale au riz (Barry et al, 1986a; Boivin et Loyer, 1985).

A l'échelle régionale, cet état de fait s'est traduit par un abandon de la riziculture inondée, principale source traditionnelle de nutrition des populations. Une pénurie alimentaire et un profond déséquilibre social sont ainsi apparus.

Les paysans ont tenté de compenser leur manque de récolte par des spéculations sur le plateau : cultures du mil, de l'arachide et du maïs. La pression démographique grandissante a conduit à un défrichement massif des forêts. De plus la forêt, non régénérée normalement en période de sécheresse (Vanden Berghen, 1984), s'est trouvée plus gravement

touchée par les feux de forêts. En dernier lieu, on constate sur ces sols surexploités et non protégés de dangereux signes d'érosion hydrique ravissante.

On le voit, si l'étude des plateaux dépasse le cadre de notre travail, les transformations subies par le milieu de mangrove ne lui sont pourtant pas étrangères. Ceci renforce le caractère dramatique des dégâts subis par la région.

## I-6 Ressources halieutiques

Les pêches se subdivisent en deux grands domaines : poissons et crevettes.

### I-6-1 Captures de crevettes

L'augmentation de salinité des eaux du cours de la Casamance s'est dans un premier temps -avant 1983- traduite par une augmentation du tonnage des captures.

Ceci correspond en fait à la présence, favorisée par la hausse de salinité, d'individus de grande taille dans les captures.

Il semble qu'un seuil de tolérance ait été ultérieurement franchi. Les tonnages de capture ont alors considérablement chuté, justifiant une fermeture partielle des usines de conditionnement en 1983 (Le Reste, 1986a et 1986b).

### I-6-2 Poissons

Nous reviendrons sur les caractéristiques de l'environnement aquatique dans la deuxième partie. Au niveau des juvéniles, les trois espèces les mieux représentées sont : *Sarotherodon melanothron*, *Ethmalosa fimbriata* et *Tilapia guineensis*. Comme pour tout milieu confiné, l'évolution des populations va dans le sens d'une diminution de la diversité spécifique plus que vers une réduction du tonnage des captures (Pages et al, 1986; Albaret, 1986).

RENDEMENT (Kg)

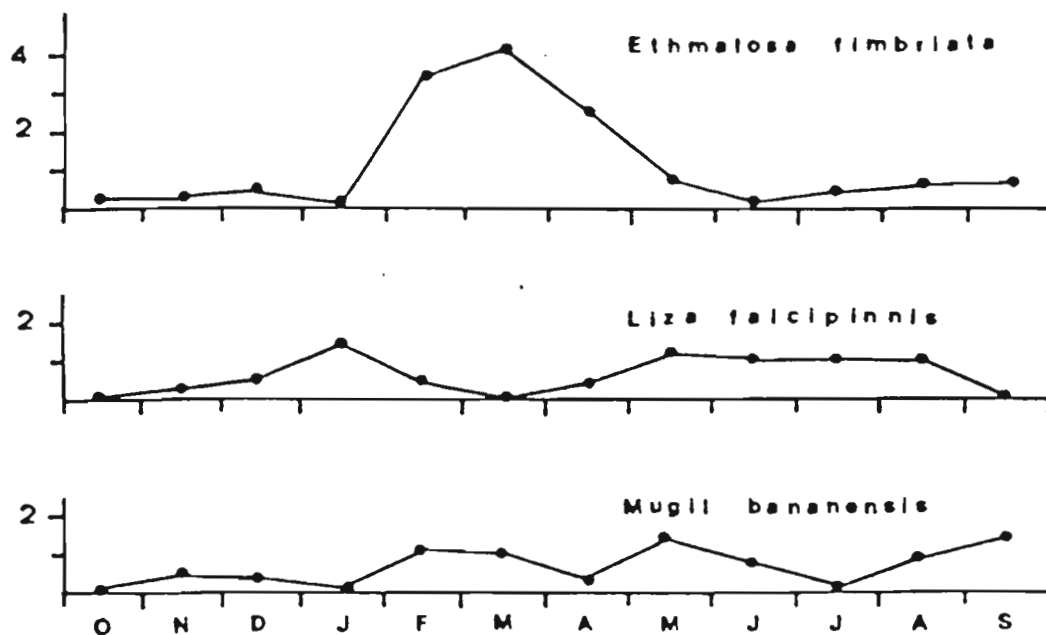


Fig 8 : Variations saisonnières des rendements en subadultes et adultes des principales espèces dans la zone 4.

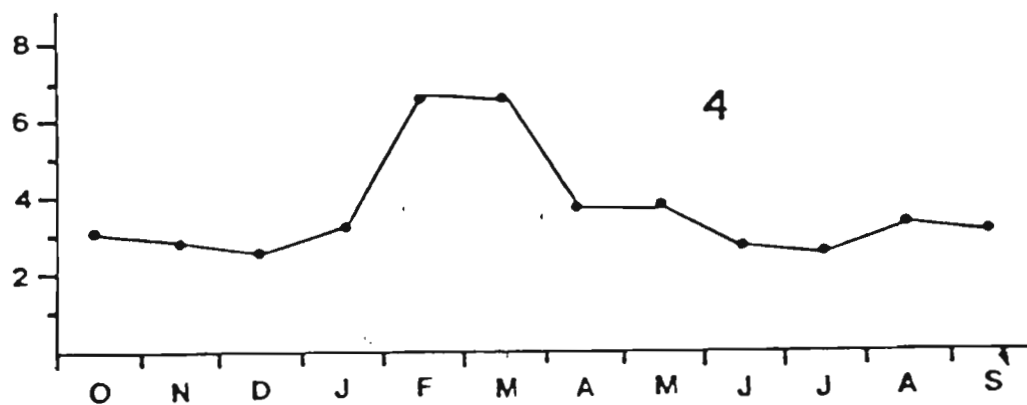


Figure 9 : Variation saisonnière des captures, toutes espèces confondues, bolong de Sindone.

Il semble que les brusques variations des niveaux de salinité (Péraudeau, 1986) soient plus nocives pour les poissons que le taux de salure lui-même (Barry et al, 1986a; Le Reste, 1986c).

La figure 8 illustre les variations saisonnières des rendements en subadultes et adultes des principales espèces représentées dans le bolong de Sindone. La figure 9 présente les captures toutes espèces confondues. Les variations les plus évidentes concernent les captures d'*E. fimbriata* qui accusent un net maximum en Février et Mars.

Le tableau 1 présente les rendements moyens pour deux coups de filets sur une période d'étude de un an.

#### I-6-3 Autres ressources

Cormier (1986) signale les difficultés rencontrées pour évaluer les récoltes d'huîtres. Il semble cependant que ce secteur économique soit lui-aussi durement atteint par la salinité excessive. Le taux de salure nuit directement aux huîtres, en instaurant des conditions qui sont difficilement supportables, mais il nuit aussi indirectement en supprimant les palétuviers *Rhizophora* qui sont le support principal des huîtres par leurs racines échasses.

#### Conclusion de la première partie

Bien qu'appartenant au domaine tropical subguinéen (Brigaud, 1965), le milieu de mangrove de la Casamance est très fortement affecté par la sécheresse qui caractérise le climat de la zone sahélienne depuis 1968 (Loyer et al, 1986; Boivin et al, 1986).

Le déficit hydrique est à l'origine d'une transformation spectaculaire du milieu naturel, dramatique à bien des égards. Cette transformation revêt deux aspects majeurs à partir desquels tout s'enchaîne.

Tableau 1 Rendement moyen (g) pour deux coups de filet  
(un avec la maille 25 et un avec la maille 30)  
pour l'ensemble de la période d'étude.

ESPECES	ZONES		
	2	1	4
<i>Liza falcipinnis</i>	1 488	610	781
<i>L. grandisquamis</i>	404	824	496
<i>L. dumerili</i>	280	93	307
<i>Mugil bananensis</i>	75	468	516
<i>M. cephalus</i>	13	69	23
<i>Elops lacerta</i>	260	89	186
<i>Ethmalosa fimbriata</i>	148	434	953
<i>Sarotherodon melanotheron</i>	1 301	1 074	190
<i>Tilapia guineensis</i>	26	38	9
<i>Hemichromis faciatus</i>	25	14	9
<i>Geres melanopterus</i>	1	10	21
<i>G. nigri</i>		3	36
<i>Syphyraena piscatorum</i>	100	32	36
<i>Polydactylus quadrifilis</i>		3	17
<i>Pocadasys jubelini</i>		6	4
<i>Pseudotolithus typus</i>			13
<i>P. brachygnatus</i>	37	107	26
<i>P. elongatus</i>	23	29	46
<i>Arius gambiensis</i>	19	100	99
<i>Calinectes sp.</i>	52	8	1
TOTAL	4 252	4 011	3 769

Ce sont :

-une disparition des écoulements dans le réseau hydrographique et une chute du niveau des nappes superficielles. L'estuaire devient alors un milieu confiné, fonctionnant de manière inverse comme apport d'eau salée. La salinisation des sols et des eaux en est l'aboutissement;

-le fragile équilibre physico-chimique des sols de mangrove (Vieillefon, 1974) s'est trouvé rompu. Le processus d'acidification s'est alors déclenché à l'échelle régionale. De plus, la brutalité du phénomène d'oxydation autorise la formation de sols hyper-acides, jusqu'alors non décrits. Leur richesse en aluminium soluble et échangeable est l'une de leurs caractéristiques les plus dangereuses.

La dynamique de ces phénomènes est toujours en cours. Le fait que leur réversibilité, dans l'hypothèse d'un retour à une normale pluviométrique, soit peu probable, associé au fait que le milieu ainsi transformé est devenu impropre au développement de la faune et de la flore, souligne l'urgence d'une intervention humaine. Cette intervention doit permettre d'éviter une nouvelle dégradation des sites exploités. Elle doit permettre si possible de réhabiliter les zones dégradées.

Par l'étude comparative des aménagements hydro-agricoles existants, nous avons pu aborder cet aspect qui fait l'objet de la deuxième partie de ce rapport.

## Deuxième partie

### LE MILIEU AMÉNAGÉ

#### II-1 Les aménagements hydro-agricoles

##### II-1-1 Introduction

L'étude comparative des aménagements hydro-agricoles se résume, en Casamance, à une opposition entre deux conceptions.

La première est le barrage écluse "type Guidel", représentée ces dernières années par le barrage écluse expérimental de Guidel (à l'Est de Ziguinchor, en rive Sud). Un second barrage du même type, mais beaucoup plus important est maintenant en service à Afiniam, il contrôle l'accès au marigot de Bignona.

Le principe est le suivant : un ouvrage bétonné équipé de vannes et de portes, contrôle l'accès d'une vallée à proximité du point de confluence. Le système de vannes est conçu pour retenir les eaux de ruissellement dans le bassin versant en saison des pluies, puis pour permettre l'admission d'eau salée dans ce même bassin en saison sèche. Ceci dans le but de conserver une cote minimale des eaux supérieure à celle des sols potentiellement acides, de façon à éviter de déclencher le processus d'acidification. Précisons que ce scénario et ce barrage ont été conçus sur des données pluviométriques antérieures à la sécheresse. Guidel n'a jamais reçu, à partir de sa mise en service, le volume de précipitations sur la base duquel il a été calculé.

Enfin signalons que l'ensemble de l'ouvrage est assez coûteux, et doit donc équiper des sites de taille moyenne à grande (bassin versant de 145 km<sup>2</sup> pour Guidel, dont 1150 hectares de terres salées aménageables) (Barry et al, 1986b).

La seconde conception en matière d'aménagement hydro-agricole est celle du petit barrage anti-sel "type PIDAC" (PIDAC : Projet Intégré de Développement Agricole de la Casamance, dépendant de la SOMIVAC :

Société de Mise en Valeur de la Casamance). Ces ouvrages sont parfois appelés digues paysannes anti-sel (photo 8, p.14).

Il se présentent de la manière suivante : un ouvrage régulateur (déversoir) en béton armé exécuté dans le lit mineur du bolong comporte selon le site de deux à quatre ouvertures qui permettent d'évacuer les eaux chargées de sel en début d'hivernage, ainsi que les excès d'eau en saison des pluies. Chaque ouverture est équipée d'un système de deux rangées de planches en bois parallèles d'environ 1,5m de long, placées de part et d'autre du déversoir. L'espace entre les deux rangées est rempli par les paysans, avec de la terre compactée. Le nombre de planches est augmenté ou diminué selon la hauteur d'eau souhaitée dans la retenue. L'ensemble de la vallée est barrée par une digue en terre parfois ensachée, construite par les paysans, et venant se raccorder à l'ouvrage bétonné. La digue fait généralement moins de 1000m de long, pour une surface protégée qui varie de quelques hectares à 1000 hectares environ. Ce système d'aménagement, largement pris en charge par les paysans est peu coûteux. Il est réalisé par un ou deux groupements villageois en général, pour une superficie limitée à leurs rizières.

Les objectifs principaux sont de bloquer l'accès des eaux salées tout en conservant les eaux de ruissellement très en amont des vallées (Barry et al, 1986a; Fall et al, 1987).

Remarquons enfin que le système de portes tel qu'il est décrit est difficile à manoeuvrer et nécessite beaucoup de main d'oeuvre. Ceci joue un rôle dans le fonctionnement de l'aménagement que nous décrirons.

Les deux types d'aménagement ont été étudiés pour leur impact sur les principales composantes du milieu et sur les diverses spéculations agricoles. Les résultats sont présentés ci-après.

## II-1-2 Barrage écluse de Guidel

Le détail des différentes études figure en majorité dans le rapport de Barry et al (1986b). On pourra également consulter les actes du séminaire sur les eaux de la Casamance (ISRA, 1986) tenu à Ziguinchor.

Un plan général du site est donné en figure 10.

GUINCHOR

CABAMHOE

# CARTE DE SITUATION

ECHELLE : 1/50000

NIAGUIS

BARRAGE

NORD



BOULOMP

SOUKOUTA

CHANTIER  
SOUKOUTA I

BARAKA BOUNAO

GUIDEL

Figure 10 : Guidel, plan d'ensemble

## a) Les eaux de surface

Le suivi de la qualité et de la cote des eaux de la retenue de Guidel a permis d'en tirer les enseignements suivants :

-la salinité des eaux chute de manière non négligeable au cours de l'hivernage, d'autant plus que l'hivernage est abondant et que le cours d'eau est peu profond (fig. 11);

-si le cours d'eau atteint une certaine profondeur (4m à Guidel), une stratification des eaux apparaît : les couches les plus salées se trouvant en profondeur;

-la salinité des eaux de surface se caractérise par une grande variabilité spatiale et temporelle, nécessitant un grand nombre de mesures;

-lors d'hivernages favorables (1985), la salinité des eaux du cours principal a suffisamment chuté pour que les eaux soient propres à l'irrigation. Cependant la variabilité de la salinité, signalée ci-avant, oblige à la prudence et à de fréquents contrôles;

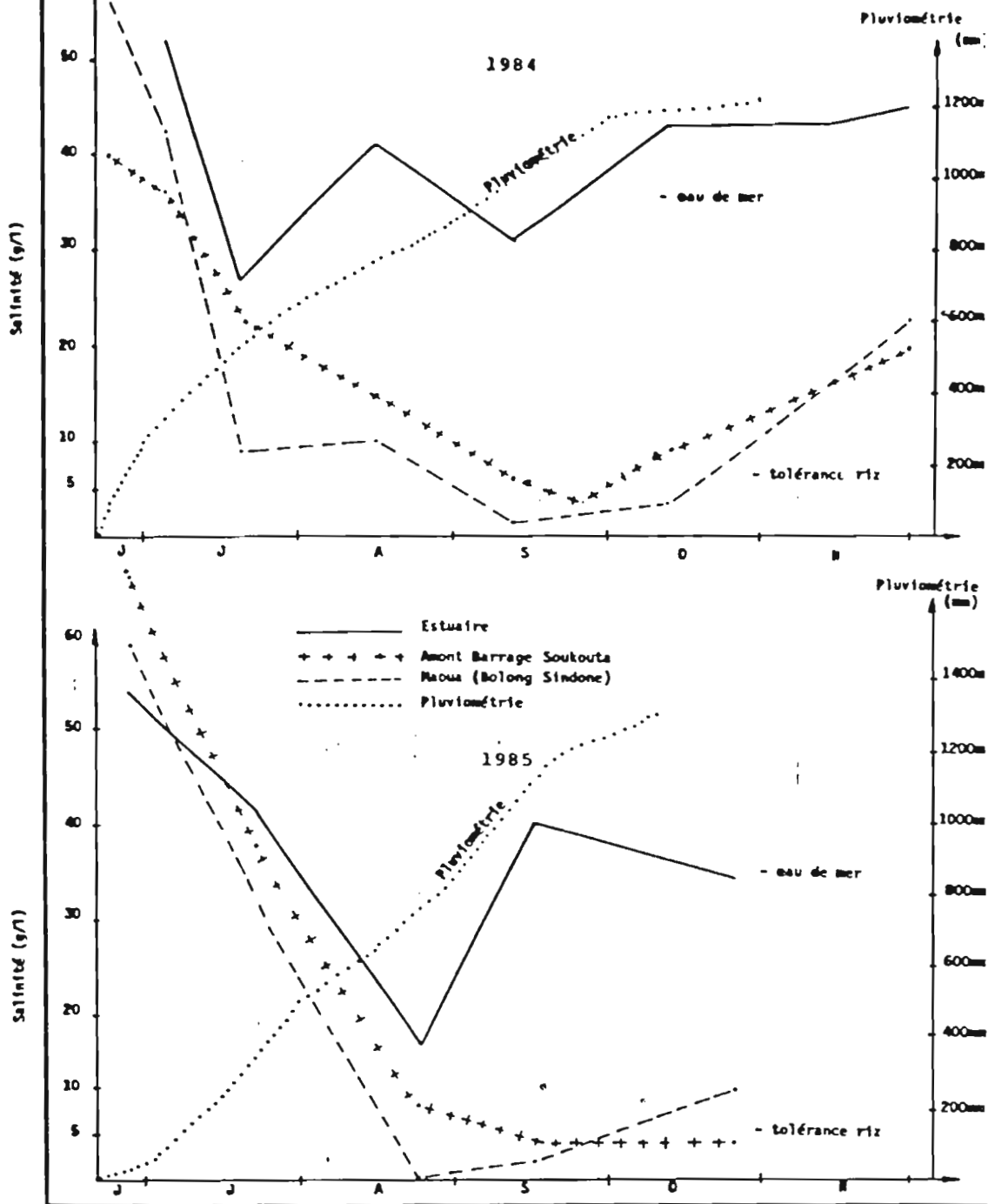
-le bilan hydro-salin (entrée d'eau salée en saison sèche)-(lacher d'eau en saison des pluies) pour 1984 et 1985 montre une nette évacuation des sels. Il n'est donc pas exclu que le barrage de Guidel occasionne, dans le long terme, une limitation significative de la salure de la zone protégée;

-toutefois, le niveau de salinité en amont du barrage redevient équivalent à celui de l'aval en fin de saison sèche. Le barrage provoque donc une augmentation de l'amplitude de variation de la salinité, qui a semble t'il des conséquences négatives sur la reproduction des poissons (ci-après).

## b) Les eaux de nappe

Les résultats acquis en matière de salinité et cote des eaux de

Fig. n° 11 ETUDE COMPAREE DE LA SALINITE DES EAUX DES BOLONGS DE GUIDEL ET DE SINDONE DURANT LES CAMPAGNES 84 ET 85 AU NIVEAU DES STATIONS DE MAOUA ET SOUKOUTA



nappe sont nettement moins favorables.

-la salinité des eaux de nappe reste généralement à un niveau intolérable pour le riz. Or au moment du repiquage, la nappe est affleurante ou très proche de la surface (fig. 12). En l'absence de drainage rabattant la nappe, toute riziculture est alors interdite ou en tout cas gravement menacée;

-il semble qu'une relation étroite lie les caractéristiques des nappes salées et les couches profondes salées des eaux de surface. De même ces nappes réagissent très rapidement à l'ouverture du barrage. Ces faits soulignent la nécessité d'un rabattement des nappes et d'une évacuation des eaux en profondeur pour optimiser le déssalement.

### c) Les sols

L'acidification des sols a effectivement pu être évitée dans le périmètre de Guidel. A ce niveau, le barrage a bien fonctionné et les sols sont actuellement peu différents de ceux décrits par Marius et Cheval (1980 et 1983) après l'expérience ILACO.

En revanche, leur taux de salure reste très élevé, interdisant la pratique de la riziculture traditionnelle dans le périmètre depuis la fermeture du barrage et jusqu'à cette année. De ce point de vue, Guidel est un échec.

La dynamique saisonnière a été plus particulièrement étudiée (Boivin et Loyer, 1985; Barry et al, 1986b) de manière à discerner les points de blocage.

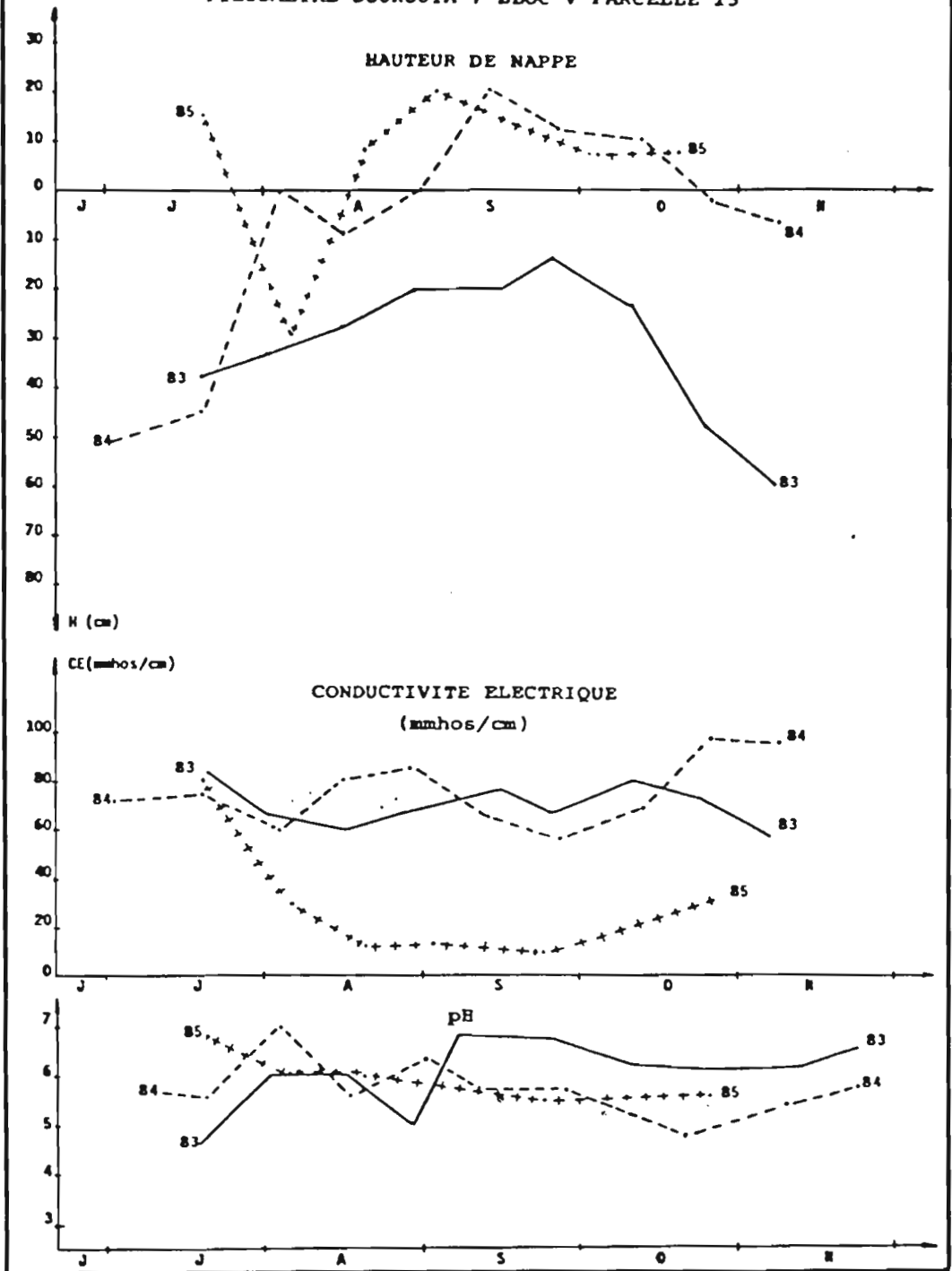
On a pu mettre en évidence les phénomènes suivants :

-le pH du sol reste à des valeurs raisonnables, même dans le cas d'une oxydation partielle de plus de 30 jours. Ceci est dû en partie à la présence d'un horizon de mangrove à *Avicennia* de 40 à 50 cm, surplombant l'horizon potentiellement acide;

Fig. n° 12

ETUDE COMPARATIVE DE LA NAPPE PHREATIQUE DURANT  
LES CAMPAGNES 83-84-85

PIEZOMETRE SOUKOUTA 7 BLOC V PARCELLE 15



-en revanche, les sols des casiers aménagés (drains et billons) ne connaissent qu'un dessalement très partiel en cours d'hivernage. La présence d'une nappe affleurante en est responsable;

-en conséquence, la moindre interruption de quelques jours dans les précipitations, phénomène fréquent sous le nouveau régime pluviométrique, occasionne une remontée des sels dans le profil, remontée fatale au riz.

Dans ces conditions, tous les essais de repiquage du riz ont avorté dès les premiers jours (casier de Soukouta).

#### d) La végétation

La végétation de mangrove a été préservée et même nettement régénérée en amont du barrage ces dernières années (Barry et al, 1986b; Badiane, 1986). En ce sens également, le barrage de Guidel a sans doute joué un rôle positif.

En revanche les essais de plantation de *Melaleuca*, moins résistant au sel, ont été décimés par la salure.

Nous avons déjà mentionné les échecs des tentatives de repiquage du riz.

#### e) Ressources halieutiques et pêche

Les études de Albaret (1986) et Lereste (1986 a, b, c) permettent de donner quelques indications sur les ressources aquatiques et la pêche comparées en milieu non aménagé et dans le périmètre de Guidel.

Du point de vue qualitatif et en tonnage pêché, les eaux de l'amont et de l'aval sont équivalentes. En revanche, les eaux de l'amont sont nettement plus pauvres en individus juvéniles. Les auteurs incriminent ici l'amplitude et la brutalité des variations de salinité.

Par ailleurs, l'espèce *E. fimbriata* est nettement moins abondante en amont du barrage qu'en aval.

#### f) Autres aspects

Tant sur le plan technique qu'humain, la gestion de la lame d'eau retenue pose de difficiles problèmes. L'unicité de la retenue ne permet pas d'adapter la cote du plan d'eau à chaque site de la vallée. Pour ces raisons, les divers villages concernés ne peuvent être simultanément satisfaits par les choix réalisés. La gestion du barrage est donc source de conflits.

Dans certains cas, ce conflit a abouti à la réalisation de retenues secondaires à l'intérieur de la zone aménagée, les paysans chechant ainsi à récupérer leur autonomie de gestion des eaux.

#### g) Conclusion

Les effets du barrage de Guidel peuvent se résumer de la façon suivante :

- une réelle protection du milieu naturel, par rapport aux effets de la sécheresse, est constatée aux niveau des sols, de la flore et dans une moindre mesure de la faune;

- aucun des objectifs de mise en valeur du périmètre aménagé ne sont atteints ni ne semblent susceptibles d'être atteints dans les conditions actuelles d'exploitation.

## II-1-3 Les petits barrages anti-sel

Les rapports de Barry et al (1986a) et de Fall et al (1987) contiennent le détail des opérations de recherche effectuées, dont nous ne donnons ici que la synthèse.

#### a) Les eaux de surface

Les portes à batardeaux ne sont généralement fermées sur toute

la hauteur qu'en milieu de saison des pluies: le travail du sol étant préalablement réalisé avant et pendant des premières pluies.

Une première période d'évacuation des sels apparaît en début d'hivernage, lorsque les portes sont totalement ouvertes. Cependant, la lourdeur du système de fermeture ne permet pas de jouer sur le phénomène de marée: ouverture à marée basse et fermeture à marée haute. Il n'est donc pas possible d'éviter la réintroduction de sels à marée haute.

Une période de dilution des sels fait suite à la fermeture des portes. Des salinités très faibles sont alors enregistrées (moins de 1mS/cm). Cette eau est donc propre à l'irrigation. En revanche il faut noter que les lachers d'eau n'évacuent pas de sel dans ce cas.

Une période de concentration des sels a lieu en fin d'hivernage: l'eau douce s'évapore et l'on revient progressivement à la situation de l'année précédente (fig 13).

L'aménagement joue bien son rôle de barrage anti-sel (à condition de rester fermé en saison sèche), et permet de stocker en quantité de l'eau douce. On peut lui reprocher de ne pas permettre une évacuation optimale des premières eaux de ruissellement, les plus chargées en sels.

Le pH des eaux se comporte d'une façon surprenante. On constate systématiquement, comme l'illustre la figure 14, que les premières eaux retenues ont un pH extrêmement bas (de 2 à 3,5). Une fois ces eaux évacuées, la retenue retrouve un pH normal, voisin de la neutralité.

Deux explications à ce phénomène :

-d'une part, les premières eaux de ruissellement entraînent les précipitations superficielles de sulfates mixtes d'aluminium de fer et de magnésium (cités en première partie), très acides et très solubles. Ce phénomène a été observé (Le Brusq et al, 1987);

-cependant, l'acidité de ces eaux est généralement représentée

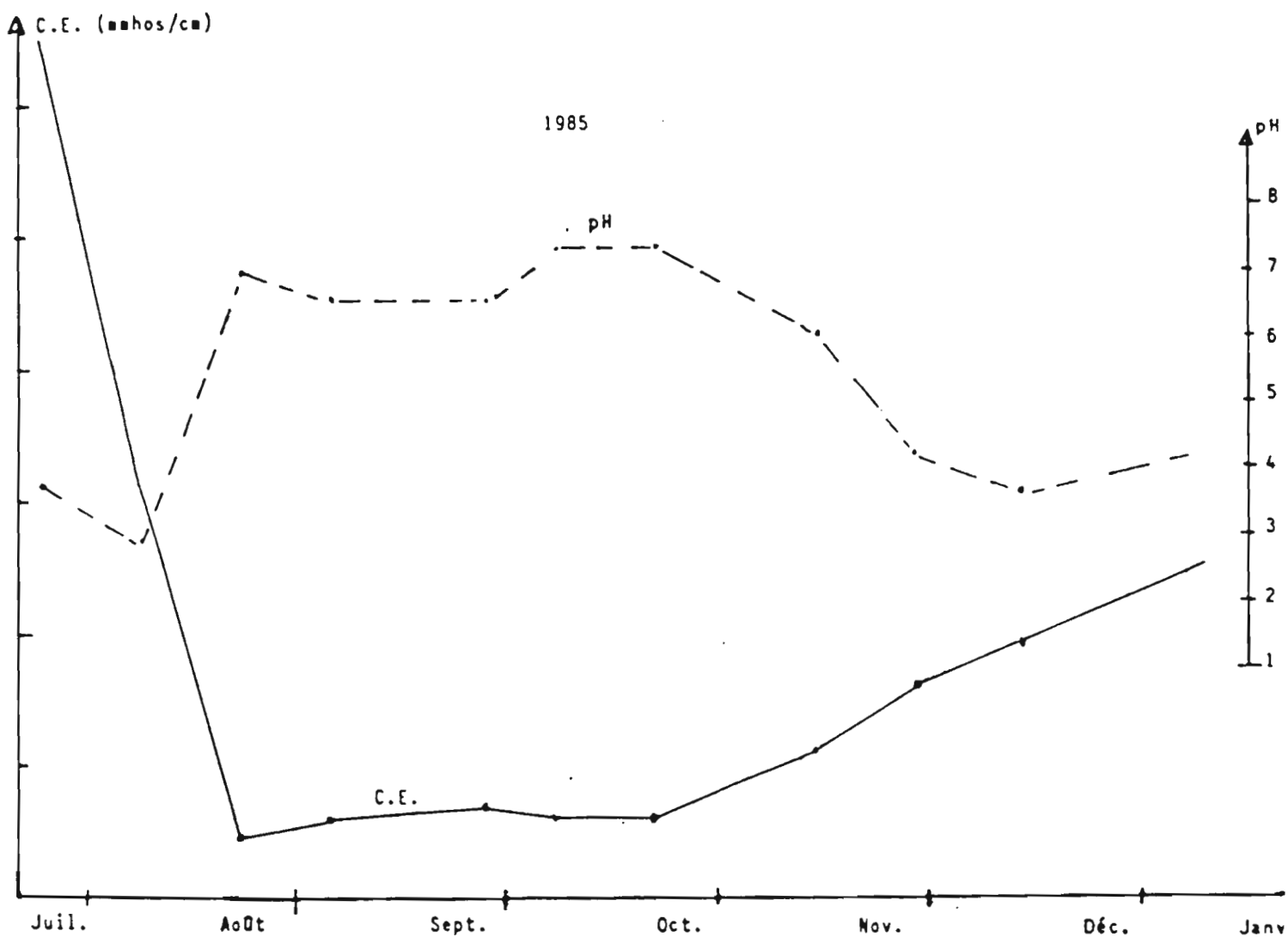


Figure 13 : Petit barrage anti-sel de Katoure, pH et conductivité des eaux de surface en saison des pluies

à plus de 50% par des protons, et l'on trouve peu d'aluminium en solution. Les eaux sont par contre chargées en fer ferreux et ferrique, occasionnant respectivement des toxicités pour le riz (Prade, K, 1987) et d'importants dépôts. On constate en outre l'existence d'un fort gradient de potentiel d'oxydo-réduction depuis la surface de l'eau jusqu'au sol sous jacent, même pour une lame d'eau de quelques centimètres. Il est donc probable que le couple  $Fe^{++}/Fe^{+++}$  joue aussi un rôle important dans l'acidité des premières eaux de ruissellement. Cet aspect reste à démontrer.

#### b) Les eaux de nappe

La salinité des eaux de nappe semble peu affectée par la présence de la digue : les différences entre nappe en amont et nappe en aval de l'ouvrage restent faibles. Cependant des différences sont apparues selon le type de milieu. La relation avec la salure des sols étant étroite, nous traiterons cet aspect dans le prochain paragraphe.

Le pH des eaux de nappe est lui aussi en relation avec celui du sol, sans que l'on puisse déceler un rôle joué par la retenue. Précisons qu'il est difficile d'apprécier les paramètres chimiques de la nappe par rapport aux eaux de surface dès lors que le barrage est en eau.

L'aspect le plus important est sans doute la chute du niveau des nappes en saison sèche, lorsqu'elles ne sont plus réalimentées par les eaux saumâtres du marigot. Nous en étudierons les conséquences apparentes sur les sols et la végétation ci-après.

#### c) Les sols

L'impact de l'aménagement sur les sols de la vallée est le point le plus important. Les deux aspects à prendre en compte sont toujours le dessalement des rizières et l'évolution de l'acidité des sols.

Rappelons que les sites aménagés sont d'une façon générale hyper-salés, et que l'acidité des sols s'y est développée d'une façon

naturelle selon le processus décrit en première partie. La réalisation d'une digue anti-sel, qui constitue en fait une véritable poldérisation, ne peut donc pas être responsable d'une acidification qui s'est déjà produite.

#### c-1) Salure

L'influence de l'aménagement sur la salure des sols dépend de la nature du sol, qui peut être divisée en deux cas.

Dans le premier cas, les sols sont essentiellement sableux, parfois recouverts d'une couche de 25cm d'argile, les vallées sont allongées et une pente latérale existe. C'est le cas de la vallée de Katoure et des sites du Kamobeul en général (partie aval de la Casamance). Dans ces conditions, un déssalement des sols a été obtenu de façon évidente.

Le second cas est celui des sols argileux, les plus fréquents et presque systématiques en rive nord en amont de Ziguinchor. Les sols contiennent alors en moyenne plus de 60% d'argile, mélange de kaolinite et de smectites.

Ces sols sont très lourds et peu perméables, d'autant qu'ils subissent un tassement après le dessèchement qui accompagne la fermeture du barrage en saison sèche.

Les pentes mesurées sont nulles, d'amont en aval comme transversalement. Dans ces conditions, le déssalement s'annonce difficile.

Il faut ajouter que la gestion du système de porte décrit ci-avant ne permet pas d'évacuer les premières eaux de ruissellement, les plus chargées en sel.

De fait, quelle que soit la méthode d'évaluation de la salure employée, le taux de salure apparaît tout à fait constant d'une année à l'autre (Boivin et al, 1988a). Seules des redistributions dans le paysage

semblent se produire. Au cours de la saison des pluies, on peut effectivement constater que le sol reste très salé immédiatement sous la lame d'eau douce. Nous présenterons plus loin les solutions que nous avons pu tester face à ce problème.

### c-2) Acidité

Les sols de la tête de vallée aménagée sont presque totalement oxydés et acidifiés avant la fermeture du barrage, ou sont issus d'une évolution d'anciens sols sulfatés acides comme à Katoure. Nous avons également mentionné en première partie la tendance à l'apparition d'un nouveau type de sol sulfaté acide à sulfates d'aluminium, à pH très bas et contenant essentiellement de l'aluminium en solution et échangeable.

Il faut donc savoir de quelle façon ce type de sol est représenté et évolue en amont des barrages, par comparaison à l'aval.

De ce point de vue, la situation semble identique de part et d'autre des barrages, c'est à dire tout aussi défavorable.

A cela il faut ajouter l'argument géochimique avancé par Le Brusq et al (1987), selon lequel l'élimination de l'ion  $\text{Na}^+$  de la couche d'échange des argiles favoriserait la pédogénèse hyper-acide. Il n'est donc pas exclu, bien que ce ne soit pas démontré, que les petits barrages anti-sel, lorsqu'ils favorisent le dessalement des sols, puissent également favoriser une pédogénèse sulfatée-acide aboutissant aux "sulfatosols aluniques". En effet, les conditions d'oxydation brutale des sols sont bien réunies. La réalisation de schémas de drainage doit être entreprise avec cette réserve.

Pratiquement, ce sujet est toujours à l'étude, de même que la récupération des sols ainsi dégradés qui sera évoquée dans le chapitre II-2.

#### d) Végétation

Pour la végétation naturelle comme pour les sols, les petits barrages anti-sel interviennent dans des zones déjà dégradées. Dans la plupart des cas, seuls des palétuviers résiduels subsistent. La poldérisation ne va pas dans le sens d'une réhabilitation de la mangrove. Nous ne discuterons donc pas l'impact des petits barrages sur cette formation végétale.

Au niveau de la végétation herbacée, les effets des petits barrages sont spectaculaires. Les tannes vifs sont repeuplés en deux ou trois ans par *Eleocharis*. Les tannes herbacés se développent.

Des effets spectaculaires sont également enregistrés au niveau de la palmeraie, très nettement restaurée.

Seules les plages de sols hyper-acides (à sulfates d'aluminium) échappent à cette amélioration.

Pour la riziculture, les résultats sont liés à l'état de salure des sols. Les sols sableux comme ceux de Katoure ont obtenus d'excellents résultats: récupération de rizières, augmentation des rendements, sécurisation de la récolte.

Les sols argileux, comme à Djiginoum et Oulampane, mal déssalés, sont restés généralement improductifs en l'absence de drainage.

L'impact des petits barrages anti-sel sur la végétation naturelle est positif, les résultats en matière de riziculture restent variables.

#### e) Pêche

Les retenues d'eau créées sont exploitées par les paysans pour la pisciculture. Celle-ci consiste à faire entrer des alevins, la récolte des poissons se faisant en décrue en fin d'hivernage. Nous ne possédons pas de données chiffrées, mais les paysans apprécient cette ressource d'appoint.

#### f) Aspects divers

Sur les plans techniques et humains, les petits barrages anti-sel se révèlent, à tous les niveaux, bien adaptés à la situation.

Peu coûteux ( par exemple deux millions CFA pour Djiguinoum), ces ouvrages sont réalisés par les paysans avec l'assistance du PIDAC ou d'une O.N.G..

L'entretien de la digue est assuré par les paysans, avec les outils traditionnels (Kayendo).

La gestion de la lame d'eau, même si elle donne lieu à des discussions, permet de satisfaire le plus grand nombre. Les décisions sont prises à une échelle habituelle pour les paysans: le village ou le groupement de village.

Enfin, la réalisation des digues crée des voies de franchissement des vallées en saison des pluies, qui sont un facteur de désenclavement des villages. Ce fait est à lui seul jugé comme essentiel par les villageois.

#### g) Conclusion

Les petits barrages anti-sel constituent une véritable poldérisation des têtes de vallée. Cet aménagement intervient sur des sites entièrement dégradés par la salure et l'acidification, ou sur le domaine des terrasses non salées, menacées par la salure et ne connaissant pas d'acidité actuelle ou potentielle.

Un premier résultat très positif est obtenu, puisque l'avancée de la salure est stoppée, et qu'une végétation naturelle, différente de la mangrove, peut se développer.

Les résultats sont variables en matière de riziculture, et un doute persiste concernant les risques chimiques pour les sols.

Nous préconisons la création de portes à crémaillères sur les ouvrages, permettant d'évacuer les eaux hypersalées des ruissellements de début d'hivernage, à la faveur des marées basses. Le système doit pour cela être manoeuvrable par une seule personne.

Un réseau de drainage paraît indispensable pour les sols lourds. Son implantation devra se faire en présence d'un suivi strict des caractéristiques chimiques du sol.

Les petits barrages anti-sel sont des réalisations positives, qui doivent de toute urgence se généraliser dans la région. Mais leur implantation seule n'est pas suffisante et justifie de nouvelles études destinées à assurer la valorisation des sols protégés. Cette recherche a été amorcée. Elle doit traiter des points suivants:

- dessalement des sols (drainage)
- contrôle de la chimie des sols (acidité)
- amendement des sols acides dessalés
- modification éventuelle des pratiques culturales (systèmes de culture)

Le dernier point nécessite une bonne connaissance de l'état actuel des systèmes de culture.

Tout ces points ont été abordés et font l'objet du chapitre II-2.

#### Conclusion du chapitre II-1

Les différents résultats que nous avons présenté plaident nettement en faveur des petits barrages anti-sel.

Le barrage écluse, couteux, ne permet qu'une partielle protection du milieu non dégradé et ne se justifie pas sur milieu déjà dégradé. Or il reste fort peu de sites non atteints actuellement.

Quoiqu'il en soit, les résultats en matière de mise en valeur sont à peu près nuls.

Les petits barrages anti-sel cumulent les avantages. La formule n'est cependant pas totalement au point et justifierait une suite à la recherche entreprise.

## **II-2 Mise en valeur des sols sulfatés acides**

La mise en valeur des sols sulfatés acides est la clé d'une réhabilitation de la riziculture en Casamance, sous réserve d'une généralisation de la création des petits barrages anti-sel, qui sont maintenant au nombre de 25.

Cette mise en valeur passe par la maîtrise des contraintes suivantes:

- désalage des sols;
- amendement et récupération des sols hyper-acide, contrôle de leur évolution;
- modification de systèmes de culture, et notamment mécanisation, pour éviter les problèmes de main d'oeuvre.

### **II-2-1 Désalage des sols poldérisés**

Nous avons décrit précédemment l'inefficacité de la digue anti-sel pour assurer à elle seule le désalage des sols argileux. Une modification des portes de l'ouvrage est envisagée, à laquelle doit s'ajouter la réalisation d'un réseau de drainage et/ou un recalibrage du réseau naturel.

Des expériences ont été conduites, d'une part destinées à connaître les meilleures techniques de désalage à l'échelle de la parcelle, d'autre part pour évaluer les potentialités rizicoles des sols traités avec les méthodes connues.

Rappelons tout d'abord que la réalisation de drains et de

diquettes est une activité traditionnelle en Casamance, où la majorité des paysans utilise le *Kayendo*, sorte de pelle plate équipée d'un long manche. Cet outil se révèle très fonctionnel dans les sols lourds et saturés.

Comparé au labour et au grattage des parcelles, le billonnage réalisé au *Kayendo* (incluant terre et débris végétaux), associé à des drains ouverts, s'est révélé la méthode la plus efficace de dessalement. Il faut noter ici l'échec du labour motorisé. Ce dernier réalise des billons instables sous les premières pluies, en raison de la grande instabilité structurale des sols salés.

Un système de drains à ciel ouvert et de parcelles billonnées, implantées dans les périmètres des barrages de Guidel (parcelles de Soukouta) et de Djiguinoum, a été testé avec repiquage de riz.

Ces deux sites ont vu avorter toutes les tentatives de repiquage traditionnel depuis de nombreuses années, par excès de salure. Nous avons vu précédemment que la présence d'une nappe phréatique salée affleurante était en cause (Boivin et Loyer, 1985).

Dans le cas de Guidel, le drainage a du être réalisé par pompage dans les drains, de façon à abaisser le plan de nappe: notons que cela revient à lutter contre les effets du barrage.

Dans les deux cas, du riz a pu être récolté, malgré une non-maitrise de la lame d'eau de submersion, responsable de l'enneigement des parcelles. Cette expérimentation était à caractère démonstratif, et doit être reprise par les agronomes.

L'introduction de la mécanisation (labour tracté) serait une réponse possible au manque de main-d'oeuvre en période de préparation des sols. Outre le problème de la stabilité structurale des billons constitués par la charrue (cf. ci-dessus), l'utilisation de la traction bovine est apparue comme contradictoire à la réalisation de drains à ciel ouvert. Les propriétaires des animaux craignent alors de les blesser lors du franchissement des drains (Fall et al, 1987).

## II-2-2 Amendement et récupération des sols sulfatés acides

Cette rubrique aborde deux points: les amendements minéraux "classiques" (N/P/K) et les résultats que l'on peut en attendre d'une part, les amendements et méthodes destinés à lutter contre la toxicité des sols sulfatés acides d'autre part.

### a) Amendements classiques

Aucun des essais d'amendements de type N/P/K effectués sur parcelles n'a pu mettre en évidence une rentabilité de ces pratiques.

Les auteurs mentionnent toujours la grande difficulté à conduire des essais au champ différents des techniques traditionnelles, notamment à cause de l'intervention de facteurs externes tels que divagation des animaux, criquets, non maîtrise de la lame d'eau etc...

Ajoutons que les études pédologiques ont généralement montré la richesse naturelle en matière organique de ces sols. Seule la pauvreté en phosphore assimilable a été soulignée, les formes solubles du phosphore étant bloquées par l'aluminium en solution, sous forme de complexes.

### b) Récupération des sols sulfatés acides déssalés

Des expérimentations ont été conduites, en cases lysimétriques et au champ, destinées à tester des méthodes de récupération des sols sulfatés acides non salés, notamment en limitant la toxicité aluminique, responsable de carence en phosphore.

#### b-1) Cases lysimétriques

Une batterie de cases lysimétriques a été construite (fig 15 et 16) et mise en service. Les divers équipements mis en place figurent dans le rapport de Boivin et Zante (1986), ainsi que le détail des données et des résultats (photo 9, p.53).

Dans ces cases, un sol sulfaté acide a été reconstitué avec

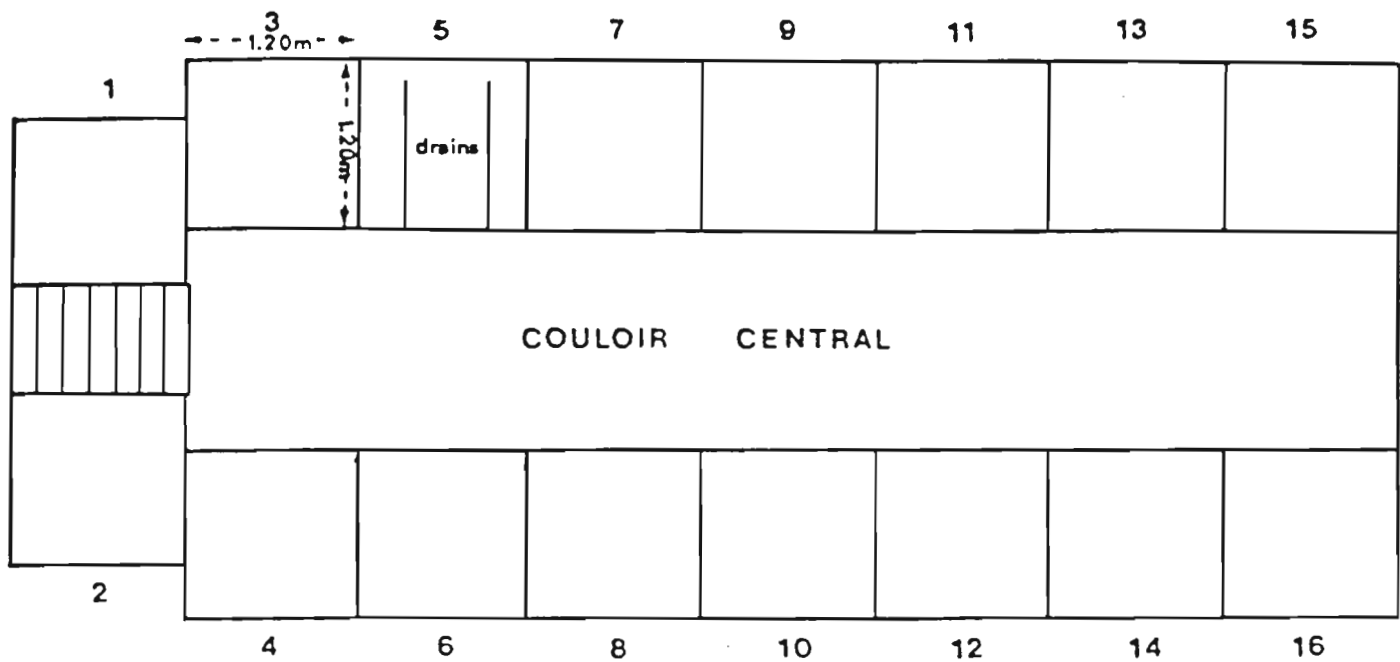


Figure 14 : Cases lysimétriques, plan d'ensemble

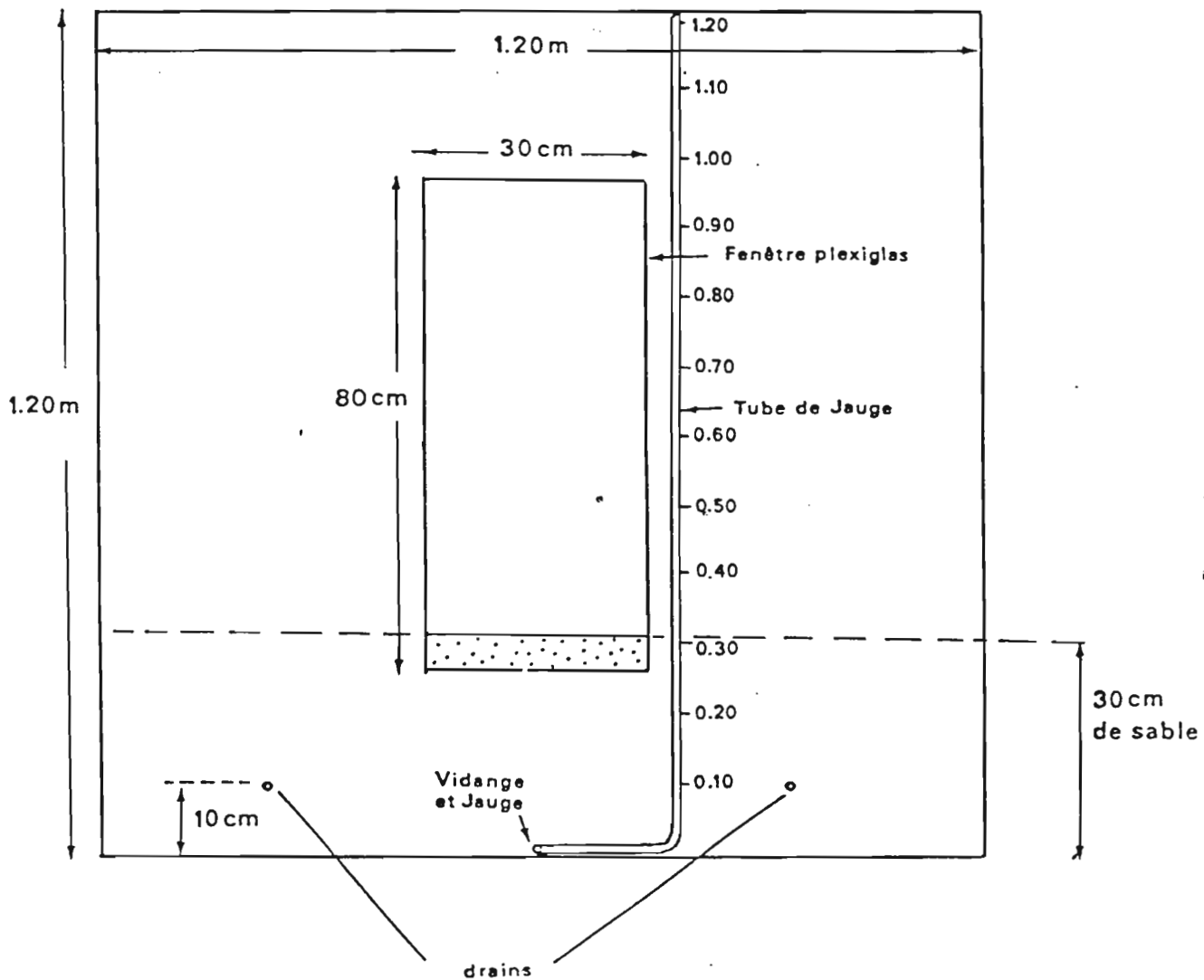


Fig.15 .CASE LYSIMETRIQUE . Vue de Face

deux horizons. Ses caractéristiques moyennes sont représentatives des sols rencontrés en Casamance : présence de Jarosite partiellement hydrolysée, pH = 3,4, acidité représentée à 98% par de l'aluminium, 8 mé/100g d'aluminium échangeable.

Les variations rencontrées d'une case à l'autre sont négligeables par rapport aux variances à faible distance des paramètres caractérisant les sols sulfatés acides naturels (Boivin, 1986).

Les essais d'amendements entrepris ont été choisis en fonction de leur applicabilité dans le contexte paysan local et sont les suivants:

- amendement par coquillages broyés;
- apport de fumier;
- apport de litière (feuilles de manguier);
- apport de phosphates peu solubles : déchets de l'exploitation des phosphates de Taïba;
- apport de phosphogypse : déchet de l'exploitation des phosphates par les I.C.S. (industrie sénégalaise);
- lessivage à l'eau de mer;
- témoin.

Tout d'abord, ces essais ont confirmé la possibilité de cultiver le riz sur un sol sulfaté acide déssalé, le riz se développant sur le témoin.

Ensuite, une très bonne action des déchets de phosphates de Taïba est notée : multiplication par un facteur dix des rendements et de la croissance, raccourcissement du cycle végétatif.

Le phosphogypse est moins efficace, mais a permis d'éliminer une partie de l'aluminium échangeable, remplacé par du calcium. Cette action serait à long terme très favorable.

Les autres traitements sont sans effet évident sur la croissance du riz. Cependant, le traitement aux coquillages broyés a permis d'éliminer la presque totalité de l'aluminium échangeable. Le lessivage seul a permis de récupérer beaucoup d'aluminium dans les drains

et reste donc une méthode intéressante.

En conclusion, nous dirons de ces essais:

-qu'ils confirment la richesse de ces sols, une fois éliminée la toxicité aluminique;

-qu'ils confirment le facteur limitant représenté par l'aluminium en solution et échangeable, responsable de carences en phosphore;

-qu'ils indiquent la supériorité des phosphates peu solubles comme source de phosphore, et l'intérêt d'un amendement calcique pour une récupération à long terme des sols.

#### b-2) Essais au champ

Les essais au champ ont rencontré, dans leur réalisation, les mêmes difficultés que les essais d'amendements classiques. Leur répétition sur deux années est également insuffisante pour en tirer des conclusions quantitatives.

Les tendances dégagées par les essais en cases lysimétriques se confirment néanmoins. Les essais futurs seront donc orientés vers l'emploi de phosphates peu solubles et de phosphogypse, par comparaison aux engrais phosphatés industriels.

#### Conclusion de la partie II-2

Les potentialités rizicoles des sols poldérisés apparaissent donc tout à fait intéressantes. Contrôle de la lame d'eau, réalisation d'un réseau de drainage, apport de phosphates peu solubles et de calcium doivent être assurés conjointement pour rétablir la fertilité des polders.

## CONCLUSION DU RAPPORT FINAL

La réalisation de ce travail nous a permis de montrer que le milieu naturel casamançais est irréversiblement modifié par la sécheresse qu'il subit depuis deux décennies. Les modifications du régime hydrique général ont entraîné sursalure des eaux et des sols et acidification des sols. La totalité des activités humaines de la région en est affectée, certaines spéculations comme la riziculture de mangrove étant en voie de disparition.

Le phénomène de dégradation du milieu est toujours en cours, sans qu'un terme à cette évolution puisse être défini. L'évolution vers de nouvelles formes d'acidité des sols est, entre autres, particulièrement préoccupante.

Un mode d'aménagement apporte des solutions écologiques, techniques et humaines satisfaisantes. Il s'agit des petits barrages anti-sel. Ces derniers permettent, dans un premier temps, de stopper la progression de la salure vers les zones non dégradées. Leur généralisation, en supprimant la fonction "bac évaporatoire" des têtes de vallées, qui sont de véritables marais salants, pourrait améliorer considérablement le bilan hydro-salin de l'ensemble des eaux de surface.

Il manque à ces réalisations une politique efficace de l'aménagement après barrage. Les études entreprises ont permis de définir les orientations : portes à crémaillères sur les ouvrages, réalisation de réseaux de drainage, amendements à base de phosphates peu solubles et de calcium.

Le rôle de la recherche à venir sera d'assurer l'optimisation de ces opérations sur le terrain. Simultanément, l'évolution géochimique des sols doit être suivie avec le plus grand soin. Un effort de recherche plus fondamentale est donc nécessaire en amont. Les aspects à traiter sont l'hydrodynamique des sols de bas fonds associée à l'évolution géochimique des sols à sulfates d'aluminium.

## BIBLIOGRAPHIE

### Références citées:

#### a) Issues du projet CEE

- Association Française pour l'Etude des Sols, 1987, Référentiel Pédologique Français, INRA .
- ALBARET, J.J., 1986, Etat des peuplements ichtyologiques en Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986
- BADIANE, S., 1986, La mangrove de Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986
- BARRY, B.; FALL, A.; POSNER, J.L.; LO, M.; DIOUF, M.B.; BADIANE, S., 1986a, Résultats du suivi des petits barrages anti-sel (hivernage 1985), Multig. ISRA Djibelor, 60 p.
- BARRY, B.; POSNER, J.L.; LERESTE, L.; BADIANE, S., 1986b, Synthèse de trois années de suivis du barrage-écluse de Guidel (basse Casamance), Multig. ISRA Djibelor, 51p.
- BOIVIN, P. et LOYER, J.Y., 1985, Evolution des sols salés de Mangrove du périmètre réaménagé de Soukouta I au cours de la saison des pluies 1984, Orstom Dakar
- BOIVIN, P., 1986, Etude de la variabilité spatiale du pH de quelques sols sulfatés acides et potentiellement sulfatés acides en basse Casamance, 3<sup>e</sup> Symposium international AISS sur les sols sulfatés acides, Dakar, Janvier 1986.
- BOIVIN, P.; LE BRUSQ, J.Y., 1984, Etude pédologique des Kalounayes, cartes des sols des vallées de Koubalan et Tapilane, Rapport ORSTOM Dakar, 70p. + 4 cartes
- BOIVIN, P.; LOYER, J.Y.; MOUGENOT, B.; ZANTE, P., 1986, Sécheresse et évolution de sédiments fluvio-marins au Sénégal. Cas de la Basse Casamance, Symposium INQUA-Dakar
- BOIVIN, P.; ZANTE, P., 1987, Essai de récupération d'un sol sulfaté acide en cases lysimétriques, ORSTOM Dakar
- BOIVIN, P., 1988, Un logiciel conversationnel de calcul géostatistique pour micro-ordinateur compatible IBM-PC, à paraître dans Bull. GFHN Juin 1988.
- BOIVIN, P., BRUNET, D. et JOB, J.O., 1988a, Conductivimétrie électromagnétique et cartographie automatique de sols salés : une

- méthode rapide et fiable, proposé pour publication à Cahier de Pédologie ORSTOM.
- CORMIER-SALEM, M.C., 1986, La filière des huîtres en Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986
- DEBENAY, J.P.; PAGES, J.; DIOUF, P.S., 1986, Zonation de la Casamance basée sur les peuplements de Foraminifères et de Thécamoebiens, comparaison avec d'autres zonations écologiques, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986
- FALL A.; BARRY B.; FALL M.; DIAME F.; DEMAY G.; SYLLA M.; BADIANE S., 1987, Résultat du suivi des petits barrages anti-sel - hivernage 1986, ISRA
- ISRA, 1986, L'estuaire de la casamance : environnement, pêche, socio-économie, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor, 19-24 Juin 1986
- LE BRUSQ J.Y., ZANTE P. et PERAUDEAU, M., 1987, La mesure "In Situ" de paramètres physico-chimiques dans un sols sulfaté acide de Casamance (Sénégal), cahiers de Pédologie Orstom, vol XXIII, n°1
- LE BRUSQ, J.Y.; LOYER, J.Y.; MOUGENOT, B. et CARN, M., 1987, Nouvelles paragenèses à sulfate d'Aluminium, de Fer et de Magnésium et leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal, Science du Sol, 25 (3), 173-184
- LE RESTE, L., 1986a, Contribution à l'étude des variations quantitatives et qualitatives de la production de crevettes en fonction de la salinité dans l'estuaire de la Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986.(19)
- LE RESTE, L., 1986b, La pêche crevettière artisanale en Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986.(20)
- LE RESTE, L., 1986c, Conséquences d'un barrage-écluse anti-sel sur l'environnement aquatique et la pêche, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986
- LOYER J.Y., BOIVIN P., LE BRUSQ J.Y. et ZANTE P., 1986, Les sols du domaine fluvio-marin de Casamance: évolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur, IIIe Symposium International AISS sur les Sols Sulfatés Acides, Dakar, 1986
- MOUGENOT, B. et ZANTE, P., 1986, Study of factors acting on reflectance of salted and acidified soils surfaces in Casamance (Sénégal):

International Symposium on remote sensing for resources development and environmental management, Enschede.

- PAGES J., BADIANE S., DEBENAY J.P., DIOUF P.S. et LEBOUTEILLER C., 1986, Les mécanismes de production dans l'estuaire de la casamance, ISRA-département de recherche sur les productions halieutiques et l'océanographie.
- PERAUDEAU, M., 1986, Rapport de campagne Hydrologique - hivernage 1985, ORSTOM Dakar, multigr..
- ZANTE, P.; LE BRUSQ, J.Y.; BOIVIN, P.; PERAUDEAU, M., 1986, Rapport des campagnes de mesures 1984-1985: pluviométrie et suivi des nappes, ORSTOM Dakar

b) Sources externes au projet:

- BRUNET-MORET, 1970, Etudes hydrologiques en Casamance, rapport définitif sur les campagnes 1967/1968 et 1968/1969, Multigr. ORSTOM Dakar.
- LE PRIOLLE, 1983, Synthèse hydro-géologique de la basse Casamance, Ministère de l'hydraulique, Dakar.
- MARIUS, C., 1980, Les Mangroves du Sénégal, écologie, pédologie et utilisation. Ed. ORSTOM Paris.
- MARIUS, C. et CHEVAL, M, 1980, Note sur les sols de la vallée de Guidel, ORSTOM/DER, Dakar.
- MARIUS, C. et CHEVAL, M., 1983, Carte pédologique de la vallée de Guidel, ORSTOM Paris.
- MICHEL, P., 1971, Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie, étude géomorphologique, thèse à la faculté des lettres de Strasbourg, 1169p., Multigr..
- PELISSIER, P., 1966, Les paysans du Sénégal, imprimerie Fabrègne, Saint Yrieux.
- PRADE, K., 1987, Einfluß der nährstoffversorgung auf die eisentoxizität bei naßreis (*Oryza sativa* L.) in der Basse Casamance / Sénégal. HochschulSammlung Wirtschaftswissenschaft Agrarwissenschaft Band 3.
- VIEILLEFON, J., 1974, Les sols de Mangrove et de tannes de basse Casamance, mémoire ORSTOM, Paris.

#### Autres publications issues du projet:

- BOIVIN, P. et LE BRUSQ J.Y., 1985, Recommandations concernant l'aménagement du domaine fluvio-marin en basse Casamance, Orstom Dakar
- BOIVIN, P. et BARRY, B., 1987, Sécheresse et évolution des conditions d'aménagement des zones fluvio-marines en basse Casamance, Multig. ORSTOM Dakar.
- BOIVIN, P., ZANTE, P. et TOUMA, J., 1988b, Mesure de l'infiltrabilité des sols par la méthode du double anneau. I résultats expérimentaux, proposé pour publication aux cahiers de pédologie ORSTOM.
- BRUNET D., 1987, Carte des sols de la vallée de Badoli, Rapport ORSTOM Dakar
- DI AW, C., 1986, Les conditions historiques du développement de la pêche en Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986
- DI AW, C., 1986, Sociologie contemporaine de la pêche et rapports pêche-agriculture en Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986
- JOB, J.O., LOYER, J.Y. et AILLOUL, M. ,1987, Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols, Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIII, n°2, 1987 : 123-131.
- LAMAGAT, J.P. et LOYER, J.Y., 1985, Typologie des bassins versants en basse Casamance, table ronde sur les barrages anti-sel, Ziguinchor 1985, Orstom Dakar
- MONTOROI, J.P., PERAUDEAU, M. et ZANTE, P., 1986, Essai de mesure de la perméabilité des sols de la séquence de Koubalan par la méthode Porchet, Orstom Dakar
- MONTOROI, P. et ZANTE, P., 1987, Mise en valeur des mangroves au Sénégal, vallée des Kalounayes, site d'étude de Koubalan et Djiguinoum, rapport de campagne 1986, Orstom Dakar
- TOUMA, J. et BOIVIN, P., 1988, Etude de l'infiltrabilité des sols par la méthode du double-anneau. II-Simulation numérique. Proposé pour publication à Cahier de Pédologie ORSTOM.

VANDEN BERGHEN, C., 1984, Observations sur la végétation du massif forestier des Kalounayes (Casamance, Sénégal méridional), 1<sup>ère</sup> partie. Bull. de la Société Royale de Botanique de Belgique, 117-(2): 359-381

ZANTE, P., 1987, Mise en valeur des mangroves au Sénégal, vallée des Kalounayes, site d'étude de Koubalan, comportement hydrique des sols de la séquence au cours de la saison 1984-1985, Orstom Dakar