

Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération
(ORSTOM)

Institut Sénégalais de Recherche Agricole
(ISRA)

DEUXIEMES JOURNEES DE L'EAU
AU SENEGAL

"EAU ET DEVELOPPEMENT"

(8-10 Décembre 1988)

Le présent document regroupe l'ensemble des communications présentées par l'ISRA et l'ORSTOM au cours des deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, organisées conjointement par le Département de Géologie de l'Université Cheikh Anta Diop et la Direction des Études Hydrauliques du Ministère de l'Hydraulique avec le soutien du Centre de Recherche pour le Développement International.

Les présentations ont eu lieu dans le cadre des deux thèmes suivants:

* L'état de l'art en hydrogéologie (tendances actuelles, travaux en cours et récents):

- *Tentative d'évaluation des transferts hydriques et salins dans un bas-fond aménagé* (B. BARRY, P. BOIVIN, D. BRUNET, J.P. MONTOROI, B. MOUGENOT, J. TOUMA, P. ZANTE).

Présentation: J. TOUMA.

* Maîtrise coordonnée des eaux souterraines et superficielles dans l'aménagement du territoire:

- *Sécheresse et modification des ressources hydriques en basse Casamance. Conséquences pour le milieu naturel et son aménagement* (B. BARRY, P. BOIVIN, D. BRUNET, J.P. MONTOROI, B. MOUGENOT, J.L. SAOS, J. TOUMA, P. ZANTE).

Présentation: J.P. MONTOROI.

- *Evolution des stratégies d'aménagement hydro-agricoles des sols salés en basse Casamance* (B. BARRY, P. BOIVIN, D. BRUNET, J.P. MONTOROI, B. MOUGENOT, J. TOUMA, P. ZANTE).

Présentation: B. MOUGENOT.

- *Barrage-écluse de Guidel. Historique et problématique de gestion* (B. BARRY).

Présentation: B. BARRY.

- *Impact d'un barrage anti-sel sur la dynamique de la nappe superficielle d'un bas-fond* (B. DIAWARA, B. BARRY, P. BOIVIN, J.P. MONTOROI, J. TOUMA, P. ZANTE).

Présentation: B. DIAWARA.

TENTATIVE D'EVALUATION DES TRANSFERTS HYDRIQUES ET SALINS
DANS UN BAS-FOND AMENAGE

Communication aux deuxièmes journées de l'eau au Sénégal
"EAU ET DEVELOPPEMENT"
(8-10 Décembre)

B. BARRY (1), P. BOIVIN, D. BRUNET, J.P. MONTOROI,
B. MOUGENOT, J. TOUMA, P. ZANTE (2).

- (1) : ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agricole), Département
systèmes agraires, centre de Djibélor, BP 34, Ziguinchor.
- (2) : ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le
Développement en Coopération), centre de Dakar, BP 1386, Dakar.

Résumé

Différents périmètres d'un même bas-fond équipé d'un barrage anti-sel ont été sélectionnés. Emboîtés les uns dans les autres, ils sont représentatifs du milieu étudié et correspondent à différentes échelles d'observation. Une caractérisation des transferts hydriques et salins est entreprise sur ces sites et à ces échelles.

INTRODUCTION

La mise au point des aménagements anti-sel, l'optimisation de leur gestion, le contrôle de leur influence sur la chimie des sols, sont autant de sujets à maîtriser pour réussir le développement et/ou la restauration de la riziculture en Casamance.

Pour que l'aménagement soit efficace, il est nécessaire de connaître les phénomènes physico-chimiques qui régissent la transformation du milieu: ce sont en premier lieu les transferts hydriques, associés aux solutés qu'ils véhiculent : sel marin et acidité.

Nous présenterons dans cet exposé un ensemble d'expérimentations qui se sont fixées ces objectifs. Cette recherche est entreprise par une équipe conjointe ORSTOM / ISRA, dans le cadre d'une Action Thématique Programmée CNRS / ORSTOM / INRA / CIRAD : "Influence des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux des sols".

SITE D'ETUDE ET EXPERIMENTATIONS

Le site retenu est la vallée de KATOURE, dont le marigot est un affluent du Kamobeul bolong, en rive Sud de la Casamance, à quelques kilomètres au sud-ouest de Ziguinchor (fig. 1).

Cette petite vallée a fait l'objet d'un aménagement anti-sel sous forme d'un barrage "type PIDAC (*)": une digue en terre complétée par un ouvrage bétonné muni d'un déversoir. La surface de rizières concernées par le barrage est estimée à 700 hectares. Ce site est suivi depuis lors tant pour les eaux que pour les sols (BARRY et POSNER, 1985).

Nous avons effectué plusieurs observations à différentes échelles (fig. 2). Ce sont:

- un réseau de 98 piézomètres répartis sur 100 hectares;
- soixante essais d'infiltration sous charge par la méthode du double-anneau, répartis sur 8 hectares;
- trois sites d'essais de caractérisation hydrodynamique du sol, afin de déterminer les relations pression effective de l'eau et conductivité hydraulique / teneur en eau volumique. Ils sont disposés en des points représentatifs de la parcelle de 8 hectares.

(*) Projet Intégré de Développement Agricole de la Casamance.

Les recherches entreprises à partir de ces différents dispositifs se définissent et s'articulent comme suit :

a) Le réseau piézométrique

Ce réseau a pour objectif l'évaluation des transferts hydriques au niveau des nappes superficielles de la vallée.

Les piézomètres ont été implantés sur un maillage aléatoire : 98 points ont été tirés au hasard dans une grille à maille carrée de 50m de côté.

La mesure des cotes des piézomètres a permis de dresser la carte topographique de la vallée. Le niveau de la nappe, mesuré régulièrement au droit de chaque piézomètre, permet d'établir les cartes isopièzes et les lignes de courant, et donc le sens d'écoulement de la nappe (fig. 3).

La vitesse d'écoulement de la nappe étant conditionnée par la perméabilité de l'aquifère, ce paramètre a été mesuré. Les résultats sont présentés par ailleurs (DIAWARA et al, 1988).

La qualité des eaux est également suivie : salinité, pH et aluminium en solution, afin de corrélérer les variations de ces paramètres avec l'écoulement de la nappe.

Le suivi piézométrique met en évidence un transfert vertical important: l'abaissement de la nappe en saison sèche est à peu près constant sur l'ensemble du site.

b) Mesure de l'infiltrabilité des sols

Ce paramètre est mesuré suivant la technique dite du double anneau: deux cylindres concentriques sont enfoncés d'une dizaine de centimètres dans le sol. Une lame d'eau d'épaisseur constante est maintenue en surface, la lame infiltrée dans le cylindre intérieur étant mesurée en fonction du temps. Outre sa simplicité, cette méthode présente l'intérêt de se placer dans des conditions proches de celles rencontrées naturellement pendant la saison des pluies. Ce type d'essai permet d'approcher la conductivité à saturation du sol (BOIVIN et al, 1988; TOUMA et BOIVIN, 1988).

Soixante essais, répartis sur une surface de 8 hectares, ont été effectués. Une analyse géostatistique des résultats obtenus montre que la conductivité à saturation du sol est une grandeur structurée spatialement: en deça de 40 m de distance entre deux sites, les valeurs sont corrélées, la corrélation étant d'autant plus forte que la distance est courte. D'autre part, ce paramètre est distribué selon une loi lognormale (fig. 4). Dans l'état actuel des travaux, il n'est

pas possible de le relier à des propriétés morphologiques du sol.

c) Caractérisation hydrodynamique

Deux sites du périmètre d'essai précédent ont été retenus pour une détermination "in situ" des caractéristiques hydrodynamiques du sol.

Ces caractéristiques sont obtenues à partir du suivi de la cinétique de redistribution de l'humidité et des pressions dans le profil de sol préalablement humidifié par apport d'eau à la surface. Le dispositif expérimental décrit dans le paragraphe précédent est complété par un tube d'accès pour humidimètre neutronique et une batterie de tensiomètres. Des bougies de prélèvement de la solution du sol permettent d'appréhender les coefficients de transfert des solutés.

A l'heure actuelle, l'analyse des résultats obtenus n'est pas encore achevée. Cependant, nous avons pu mettre en évidence la présence de plusieurs couches au comportement hydrodynamique différencié dans un profil de sol homogène du point de vue textural (MONTOROI et al, 1988, fig. 5).

On notera que les conditions du milieu étant assez sévères (forte salure et acidité), une étude préalable de l'influence des chlorures sur les mesures neutroniques a été entreprise (MONTOROI et ZANTE, 1988). Elle a montré que ces mesures sont très peu affectées sur la gamme de salinité rencontrée dans les sols de rizières.

CONCLUSIONS

Dans l'état actuel des recherches, un certain nombre de résultats sont acquis :

- la perméabilité et l'évolution de la qualité des eaux de l'aquifère,
- l'infiltrabilité du sol,
- la distribution spatiale de ces grandeurs.

L'étude est poursuivie dans l'optique d'identifier et de modéliser les interactions mutuelles entre la nappe et la zone non saturée. En effet, malgré l'importance de cette dernière, puisqu'elle intéresse principalement la croissance racinaire, il n'existe pratiquement aucune donnée la concernant. Il est évident qu'un schéma d'aménagement doit en tenir compte.

BIBLIOGRAPHIE

BARRY B., POSNER J., 1985.

Suivis des zones salées en basse Casamance. IIème Table Ronde sur les barrages anti-sel en basse Casamance, 12-15 juin 1985, Ziguinchor.

BOIVIN P., ZANTE P., TOUMA J., 1988.

Mesure de l'infiltrabilité des sols par la méthode du double anneau. I résultats expérimentaux, Cah. Pédologie ORSTOM, 88, I.

DIAWARA B., 1988.

Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe des formations fluviomarine du bolong de Katouré. D.E.A. Géol. Appliquée, UCAD, Dakar.

DIAWARA B., BARRY B., BOIVIN P., MONTOROI J.P., TOUMA J., ZANTE P., 1988.

Impact d'un barrage anti-sel sur la dynamique de la nappe superficielle d'un bas-fond. Deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.

MONTOROI J.P., TOUMA J., ZANTE P., 1988.

Caractérisation hydrodynamique "in situ" d'un sol sableux de la vallée de Katouré. Rapport de campagne. (à paraître).

MONTOROI J.P., ZANTE P., 1988.

Etalonnage d'une sonde neutronique en milieu chloruré. Multigr., ORSTOM/Dakar.

TOUMA J., BOIVIN P., 1988.

Etude de l'infiltrabilité des sols par la méthode du double-anneau. II-Simulation numérique. Cah. Pédologie ORSTOM, 88, I.

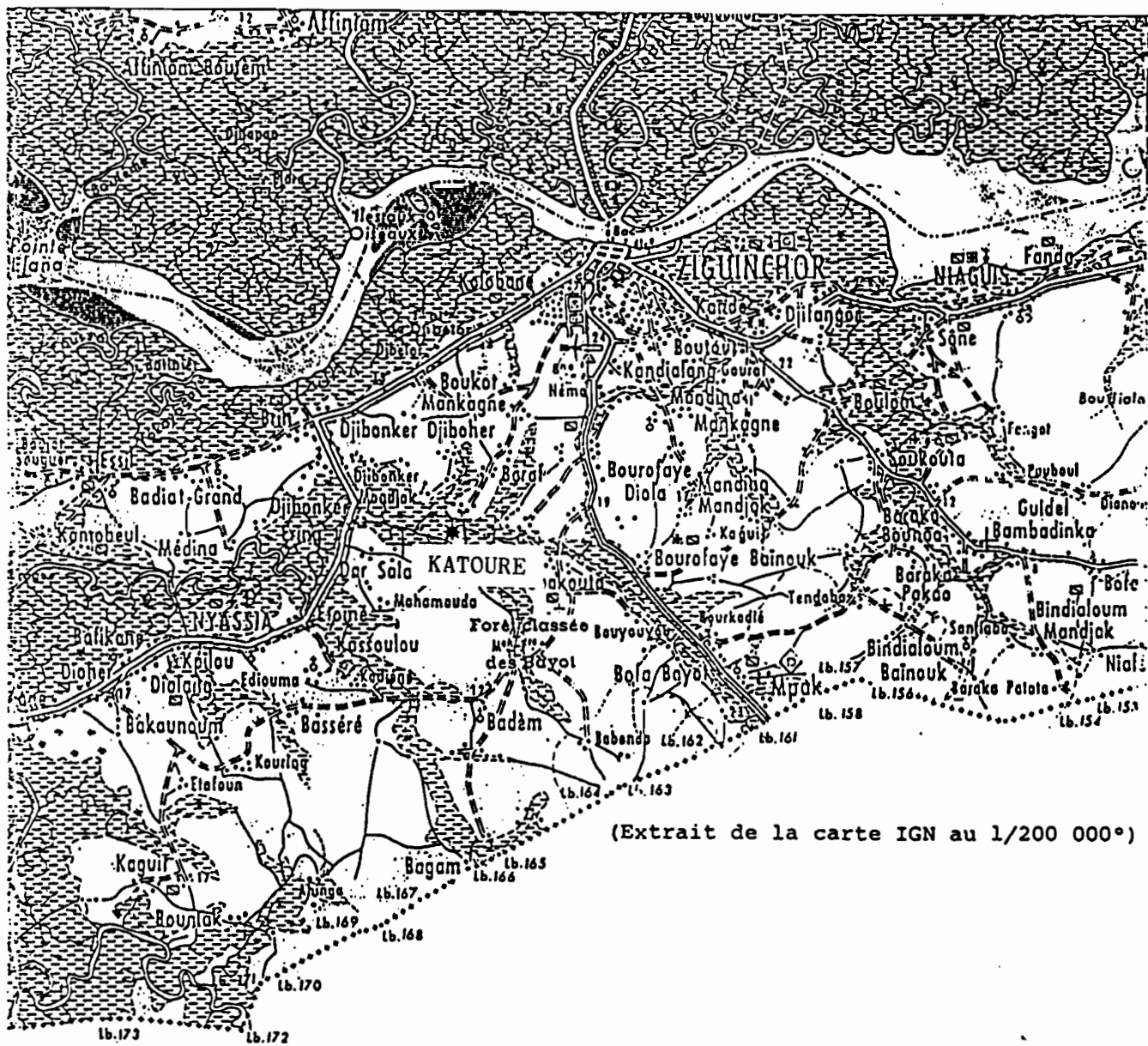
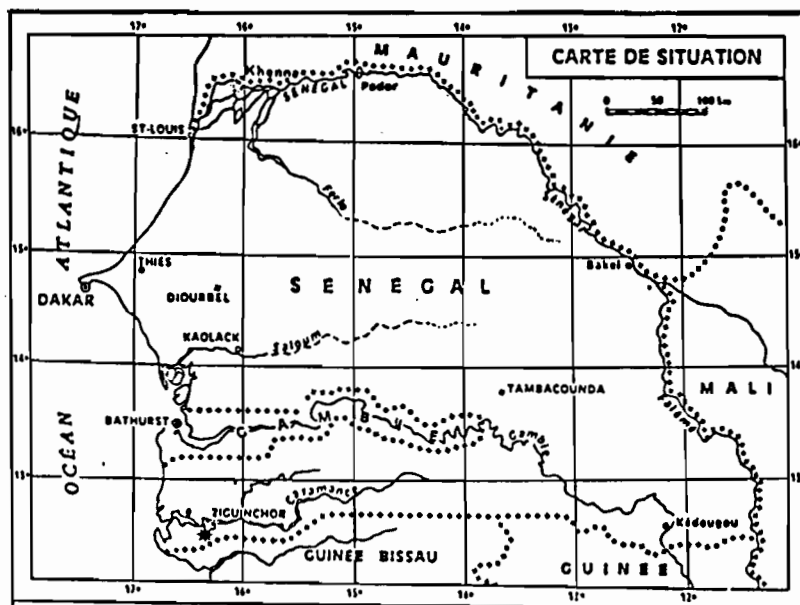
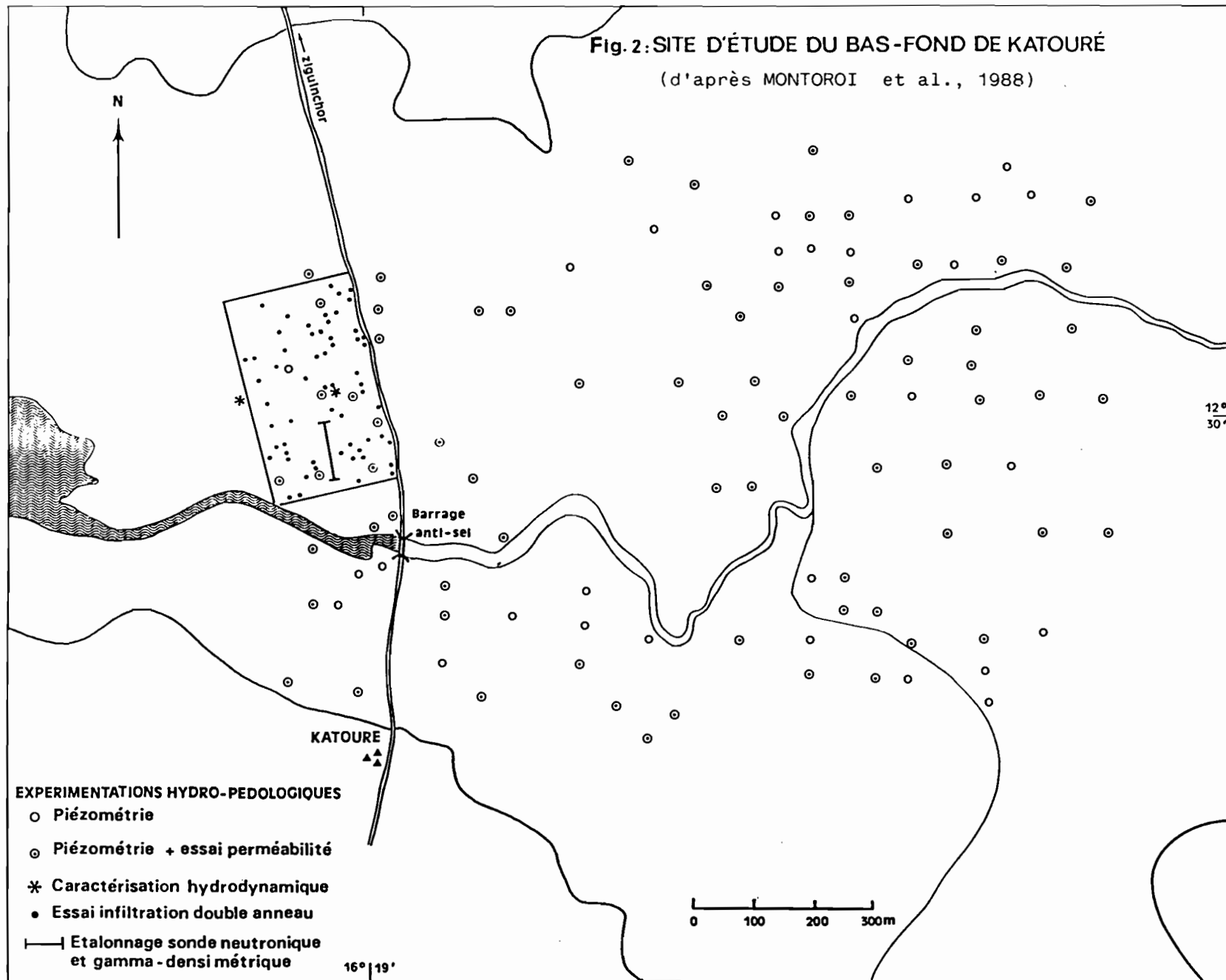


Fig. 1 : Plan de situation





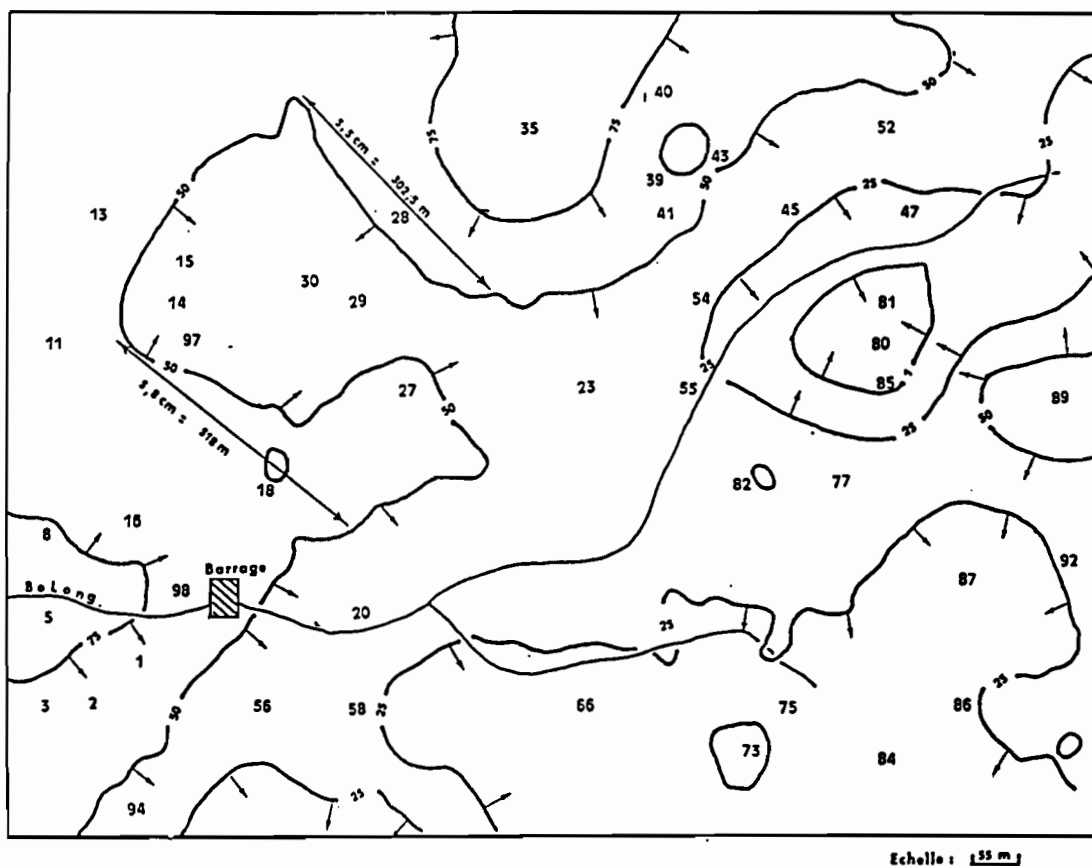


Fig. 3. Carte piézométrique (14.4.87)

Bas-fond de Katouré.

(d'après DIAWARA, 1988)

Fig. 4. Loi de distribution de la perméabilité à saturation
(d'après BOIVIN et al., 1988)

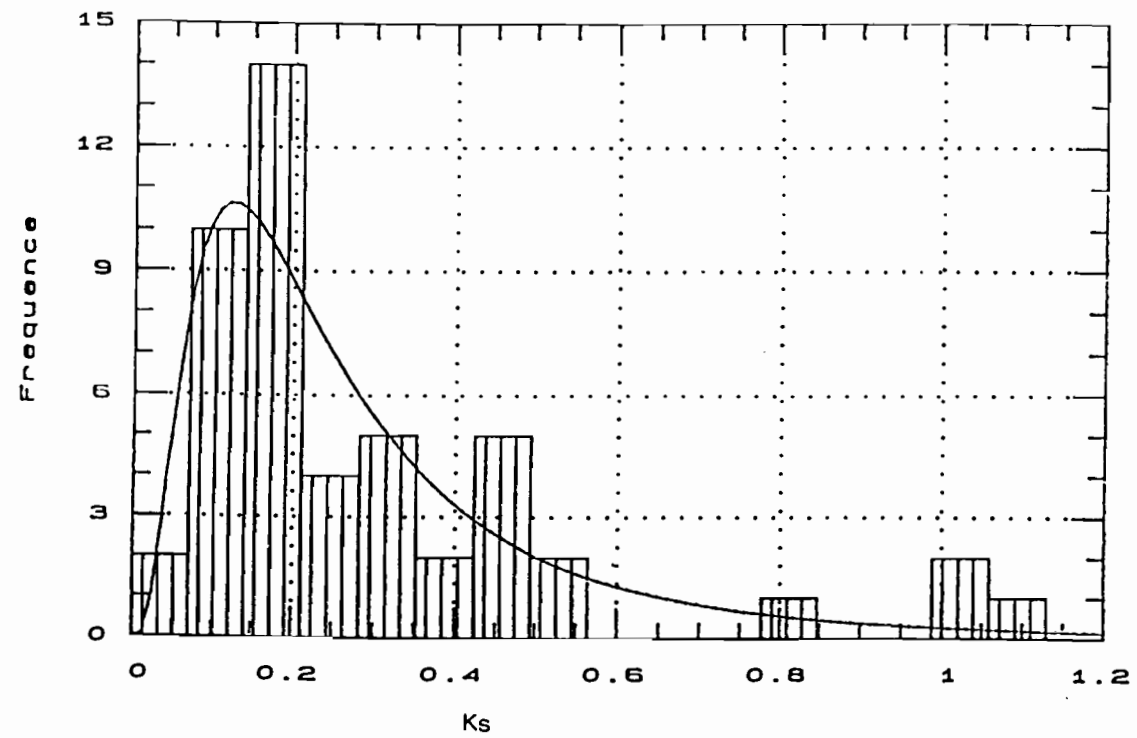
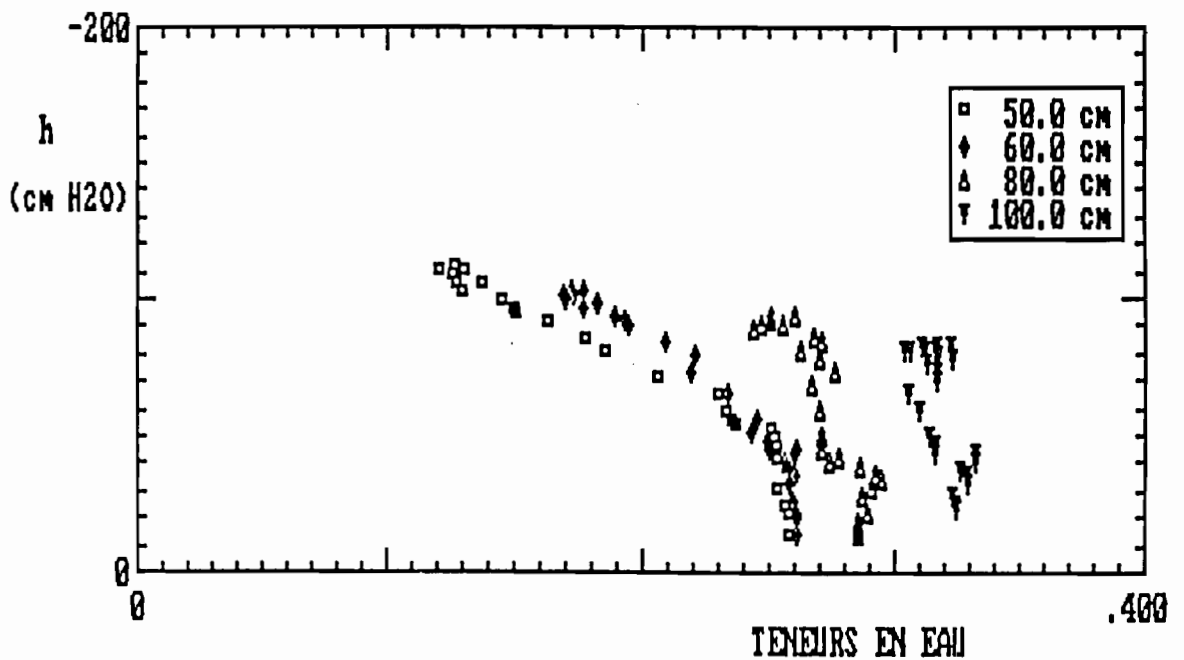
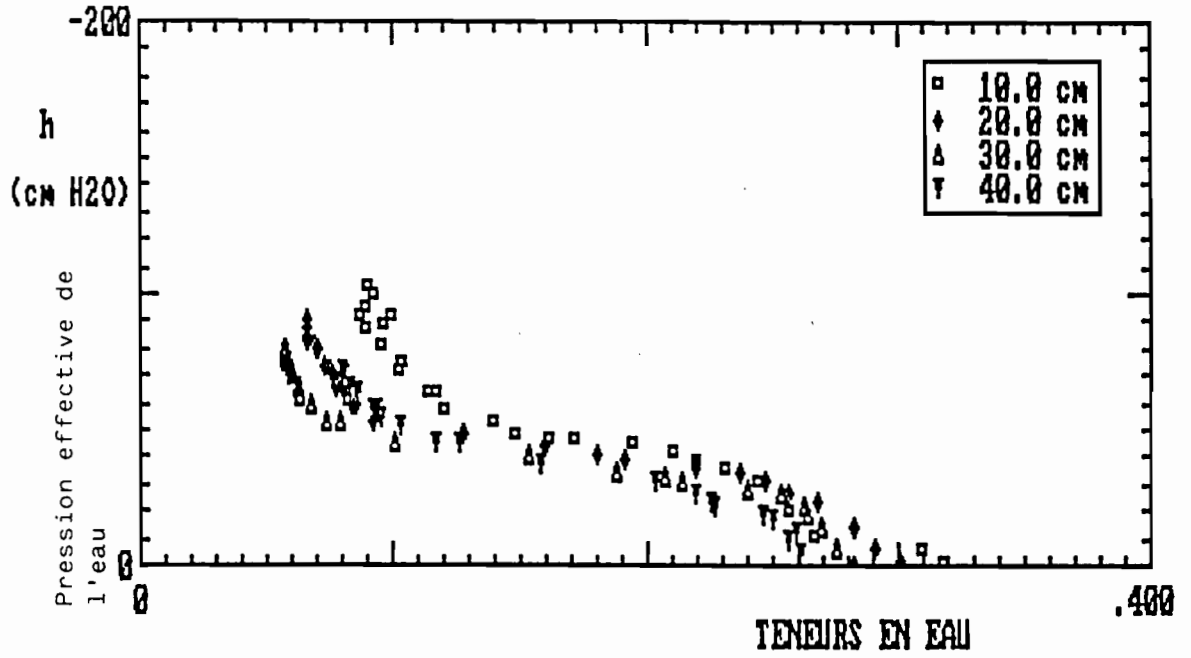


Fig. 5. Courbes de rétention (d'après MONTOROI et al., 1988)



SECHERESSE ET MODIFICATION DES RESSOURCES HYDRIQUES EN BASSE CASAMANCE
CONSEQUENCES POUR LE MILIEU NATUREL ET SON AMENAGEMENT

Communication aux deuxièmes journées de l'eau au Sénégal
"EAU ET DEVELOPPEMENT"
(8-10 Décembre 1988).

B. BARRY (1), P. BOIVIN, D. BRUNET, J.P. MONTOROI,
B. MOUGENOT, J.L. SAOS, J. TOUMA, P. ZANTE (2).

(1) : ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agricole, Département
systèmes agraires, centre de Djibelor, BP 34, Ziguinchor)

(2) : ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le
Développement en Coopération, centre de Dakar, BP 1386, Dakar)

Résumé

La sécheresse que connaît la basse Casamance depuis deux décennies a modifié le régime hydrique du fleuve et de ses affluents. Le fleuve Casamance s'apparente maintenant à une ria, ses eaux ont les caractéristiques d'un milieu confiné.

Les nappes superficielles de la région subissent également la sécheresse. Leur niveau s'est considérablement abaissé, favorisant une pénétration des eaux salées du réseau hydrographique dans le paysage.

Les conséquences de ces transformations sont catastrophiques pour les sols et la végétation et obligent à repenser les systèmes d'aménagement hydro-agricoles de la région.

INTRODUCTION

Le déficit pluviométrique se fait sentir depuis une vingtaine d'années en basse Casamance. La modification de cette donnée fondamentale s'est peu à peu concrétisée dans ses effets sur les composantes du milieu naturel : eaux de surface, nappes superficielles, sols et végétations se trouvent parfois affectés de façon irréversible.

En dernier ressort, ce sont la plupart des activités agricoles et de pêche qui souffrent des aléas climatiques. Face à cette contrainte, de nouveaux schémas d'aménagement sont proposés et expérimentés.

I LES EAUX DE SURFACE

Il faut observer que les pentes des bassins versants de la Casamance et de ses affluents sont généralement très faibles ou nulles : jusqu'à 250 km de l'embouchure pour la Casamance.

Seul un excès de précipitations, provoquant ruissellement et nappes en charge, explique les écoulements identifiés par Brunet-Moret (1970).

A mesure que s'est fait sentir le déficit pluviométrique, les nappes superficielles se sont abaissées, les ruissellements ont diminué : en quantité comme en extension dans le temps. Le bassin versant de la Casamance a commencé alors à fonctionner en véritable "bac évaporatoire", le déficit hydrique étant compensé cette fois par une intrusion des eaux marines dans l'estuaire : la Casamance est devenue une source d'eau salée pour la région.

Ce processus s'est développé au point que le milieu aquatique a été décrit comme "confiné" ou "lagunaire" (Pagès et al, 1986, Debenay et al, 1986). Des salures de deux à cinq fois plus importantes que celle de l'eau de mer ont été enregistrées en fin de saison sèche, les plus fortes salures se trouvant en amont, à plus de 200km de l'embouchure (fig. 1).

Le gradient de salure croissant de l'aval vers l'amont et un taux de salure supérieur en tout point à celui de la mer sont maintenant les caractéristiques des eaux de surface tout au long de la saison sèche. Un effet "de chasse" autorise un relatif déssalement des eaux du cours d'eau au cours de la saison des pluies et selon le volume des précipitations.

II LES NAPPES SUPERFICIELLES

II-1 Les nappes superficielles des bas-fonds

Les nappes superficielles des bas-fonds (Crizières et mangrove), sont directement soumises à l'influence des eaux de surface du réseau hydrographique.

Antérieurement à la sécheresse, ces nappes connaissaient une salure moyenne et temporaire, fonction de leur position par rapport au cours d'eau et du stade saisonnier (Vieillefon, 1974).

A la faveur de la sécheresse, les nappes superficielles, non réalimentées par les nappes des plateaux (ci-après), se sont rabattues.

Le gradient de charge a alors permis une circulation des eaux salées du réseau hydrographique vers les nappes superficielles des bas-fonds.

Ce phénomène a notamment été étudié par piézométrie et suivi de l'humidité des sols sur une séquence représentant les principaux types de sols reliant le plateau au tanne (terme vernaculaire désignant les sols de bas fonds salés) (Zante et al, 1987; Zante, 1987). Cette séquence se situe sur le marigot de Koubalan, dans le massif forestier des Kalounayes, en rive droite de la Casamance (fig. 2 et 3).

Cette opération a permis de mettre en évidence le fonctionnement des nappes au cours d'une saison complète :

a) Niveau et qualité de la nappe

L'étude des variations des niveaux piézométriques permet de déterminer le sens des écoulements de la nappe.

Le niveau de la nappe dans les piézomètres a été relevé une fois par semaine de début juin à fin novembre puis une fois par mois en saison sèche, de décembre 1984 à juin 1985.

L'examen des courbes piézométriques à différentes dates montre une inversion du sens d'écoulement de la nappe entre la saison sèche et la saison des pluies.

En début de saison des pluies, la nappe s'écoule du marigot (point P4 de la figure 3) vers la palmeraie (point P1). L'inversion du sens d'écoulement s'établit progressivement au cours de cette saison de la façon suivante (fig. 4 et 5) :

10/07/84 : P4 = P3 ; pluie cumulée : 259,3 mm
02/08/84 : P4 = P2 ; pluie cumulée : 521,3 mm
13/08/84 : P4 = P1 , pluie cumulée : 598,1 mm

La nappe s'écoule de P1 à P4 du 13 août au 31 octobre, date à laquelle s'amorce le sens d'écoulement de saison sèche (de P4 vers P1). Le régime d'écoulement de saison sèche s'établit progressivement du 31 octobre au 30 janvier, la baisse de niveau la plus rapide étant enregistrée en P3 (fig. 6).

A partir du 30 janvier, la cote en P4 ne varie pratiquement plus. A partir du 7 mars, les cotes en P3, P2 et P1 sont pratiquement identiques et baissent ensemble régulièrement jusqu'à la saison des pluies suivante, provoquant l'augmentation de la charge de P4 vers les zones P3, P2 et P1.

L'amplitude maximale du battement de la nappe a été de 100 cm en P4, 185 cm en P3, 210 cm en P2 et 225 cm en P1. Les salinités sont d'environ 80 (P4), 30 (P3), < 2 (P2 et P1) mS/cm. Elles varient très peu au cours de l'hivernage.

Ces variations annuelles de la nappe ont été également observées (SAOS et DACOSTA, 1987) sur le marigot de Baïla le long de plusieurs séquences piézométriques allant jusqu'aux plateaux (fig. 7).

b) Variations du stock d'eau du sol.

Les mesures piézométriques nous renseignent sur l'évolution du niveau et de la qualité des eaux de nappes; elles sont utilement complétées par les mesures d'humidité du sol qui traduisent les variations du stock d'eau dans le sol et les cinétiques d'infiltration, d'évapotranspiration ou de ressuyage.

Le suivi des variations d'humidité au cours de la saison des pluies a été effectué journalièrement à l'aide d'une sonde à neutrons SOLO 20. Le dépouillement des données a été réalisé à l'aide du logiciel AIDHYS de l'Institut de Mécanique de Grenoble.

L'examen des profils hydriques en infiltration, présentés en figure 8, montre l'importance de la pluie du 23 au 28 juin. Elle provoque l'humectation des profils P3 jusqu'à 145 cm et P2 jusqu'à 165 cm. Par contre en P1 elle n'affecte que les 75 premiers centimètres mais on constate un accroissement d'humidité à la base du profil.

Ce fait nous a amené à examiner plus en détail la période du 29 juin au 3 août (fig. 9). On constate alors qu'en P2 et P3, les profils hydriques se sont humectés sur toute la profondeur dès la pluie du 23 au 28 juin.

Par contre en P1 le phénomène de remplissage du profil par infiltration des pluies et remontée de la nappe se poursuit. Ce n'est qu'à partir du 24 juillet que la tranche de sol intermédiaire, dont le stock d'eau n'a pas varié jusqu'alors, est réhumectée.

Ceci montre que jusqu'au 24 juillet la remontée du niveau de la nappe constatée en P1 ne peut pas se faire par transfert vertical dans le profil de sol.

La remontée du niveau de la nappe constatée dans cette unité de bordure de plateau se fait donc dans un premier temps par apports latéraux. D'après les courbes piézométriques, cet apport pourrait provenir de P2, mais cette hypothèse est difficilement compatible avec l'évolution de la salinité des nappes : ceci supposerait une augmentation de la salinité de la nappe en P1 durant cette période, or on enregistre une diminution.

Il est donc vraisemblable que dans ce cas les premières pluies se soient infiltrées plus haut dans la séquence et réalimentent latéralement la nappe.

II-2 Les nappes superficielles des plateaux

Une synthèse des données récemment acquises a été réalisée par Le Priol (1983). Il souligne l'abaissement général des nappes superficielles dans l'ensemble de la région depuis deux décennies, et estime que l'abaissement moyen annuel est de 0.25m à 0.5m selon les sites.

De fait, des rabattements de 10 mètres et plus ont été constatés. Les puits villageois doivent être régulièrement recreusés et si l'on compare altitude moyenne des plateaux et profondeur moyenne des nappes, on constate que les nappes superficielles des plateaux se trouvent généralement à une cote inférieure à celle des eaux salées du réseau hydrographique.

Des données récentes (en cours de publication) sont fournies, par Saos et Dacosta, venant confirmer cette évolution (fig. 10).

Il semble en outre que les nappes superficielles des plateaux ne soient généralement plus rechargées par l'infiltration des pluies, en raison de leur trop grande profondeur. Dans ces conditions, seuls des transferts latéraux peuvent expliquer une remontée du niveau de la nappe. Or le gradient de charge favorise souvent la circulation des eaux salées des bas-fonds vers les eaux douces du plateau : on voit le risque que comporte actuellement toute entreprise d'irrigation par pompage de la nappe superficielle. C'est le cas notamment de nombreux projets maraichers qui ont vu le jour dans la région, et la salure des eaux de pompage est effectivement une cause d'échec fréquente.

III CONSEQUENCES POUR L'ENVIRONNEMENT

III-1 Les sols

Les sols des bas fonds subissent, en raison de la modification du régime hydrique, deux types de dégradation chimique : salure et acidification.

La salure des sols est due :

- soit à l'invasion des zones basses par les eaux salées du réseau hydrographique, quotidiennement ou non, par le jeu des marées,
- soit à la remontée des sels à partir de la nappe en phase évaporatoire : en saison sèche principalement.

Les sols dont les nappes sont salées connaissent tous des problèmes de salure. Ce sont les sols de la séquence qui assure l'interface entre le cours d'eau et le plateau : sols de mangrove, de rizières et de terrasses herbacées, sols de la palmeraie.

Dans la plupart des cas, particulièrement pour les zones les plus basses, cette salure dépasse le seuil de tolérance de toutes les espèces végétales représentées dans la région.

L'acidification des sols est également due au déficit hydrique. Dans la région et avant la sécheresse, les sols de mangrove étaient, dans leur majorité, des sols potentiellement sulfatés acides. Ces sols sont caractérisés par l'abondance de leurs composés sulfurés. Un potentiel d'oxydo-réduction très bas, grâce à un état de submersion permanent, expliquant le maintien du soufre sous forme réduite.

A la faveur de la chute du niveau des nappes, les sols se sont oxydés. Or l'oxydation des sols potentiellement sulfatés acides aboutit à la formation de sols sulfatés acides. Pour schématiser, on peut dire qu'au cours de cette transformation, les composés sulfurés s'oxydent en produisant de l'acide sulfurique.

Une chute du pH en est la conséquence, un sol sulfaté acide ayant en général un pH "in situ" compris entre 3,5 et 4,5.

La presque totalité des sols de mangrove non submergés quotidiennement par les marées, notamment en amont de Ziguinchor, a connu cette évolution ces dernières années.

Mais il y a plus grave : en raison de la brutalité des conditions d'oxydation, de nouvelles formes d'acidité se sont développées (Le Brusq et al, 1987). Correspondant à des paragenèses minérales jusqu'alors inconnues dans un milieu naturel semblable, ce sont des formes d'acidité très toxiques pour les végétaux, avec des pH pouvant être inférieurs à 2 "in situ".

Ce type de sol a été proposé sous le nom de "sulfatosol alunique" lors de la mise à jour du référentiel pédologique français (Association Française pour l'Etude des Sols, 1987). Son extension est plus importante d'année en année en basse Casamance.

III-2 La végétation.

Plusieurs cas sont à considérer : végétation naturelle ou cultivée, en zone aménagée ou non.

La végétation naturelle, y compris ces derniers temps la palmeraie, a tendance à disparaître en zone non aménagée. Les taux de salure, nous l'avons dit, dépassent les seuils de tolérance de toutes les espèces présentes. C'est le cas notamment de la mangrove (Badiane, S., 1986), dont le taux de mortalité est estimé de 70 à 90% selon les auteurs, mais atteint fréquemment près de 100% en amont de Ziguinchor.

La riziculture salée a, elle aussi, pratiquement disparu.

En zone aménagée, et selon le type d'ouvrage réalisé, des résultats variables sont enregistrés (Barry et al, 1986 a et b, Fall et al, 1987, ISRA-ORSTOM, 1988).

La végétation de mangrove est protégée par les barrages-écluses "type Guidel". Encore cette protection se fait-elle au détriment de la riziculture (Barry et al, 1986, Boivin et Loyer, 1985). D'autre part, ce type de barrage n'a pas fait ses preuves quand à ses capacités à réhabiliter la mangrove en zone dégradée.

Les petits barrages anti-sel "type PIDAC" (Fall et al, 1987) constituent une véritable poldérisation des têtes de vallée. Leur vocation n'est pas de réhabiliter la mangrove. En revanche, des résultats excellents sont enregistrés pour les autres espèces végétales (Chalophytes, palmeraie). Dans les cas favorables, une bonne sécurisation de la riziculture a été obtenue. Dans tous les cas, et sous certaines réserves (ISRA-ORSTOM, 1988), des résultats sont espérés.

IV CONSEQUENCES EN MATIERE D'AMENAGEMENT

Nous venons d'évoquer la comparaison entre les deux types d'aménagement envisagés dans ce milieu : le barrage écluse ou la digue anti-sel.

L'opposition entre ces deux conceptions a été débattue à plusieurs reprises (Table ronde sur les barrages anti-sel, USAID/ISRA, Ziguinchor, 1985; Séminaire "Casamance", Ziguinchor, 1986, ISRA/CRODT) et une synthèse a été esquissée (ISRA-ORSTOM, 1988). Elle est à nouveau évoquée dans la communication de Barry et al (1988a)

Le barrage écluse "type GUIDEL", a été conçu sur des données antérieures à la sécheresse. Nous venons de résumer l'ampleur de la transformation subie, depuis lors, par le milieu naturel. On comprend donc que cet ouvrage n'ait jamais permis d'atteindre les objectifs fixés. Notamment les résultats en matière de riziculture sont restés nuls. Or ce type d'ouvrage est assez coûteux. Malgré tout, des barrages d'un même type sont envisagés ou en voie d'achèvement. Il existe là un risque réel d'investissement perdu si des aménagements secondaires ne viennent pas compléter l'existant. On trouvera dans la communication de Barry (1988) de plus amples détails sur la gestion de Guidel.

Le barrage anti-sel "type PIDAC" est une réalisation moins importante, il s'agit en fait d'une digue anti-sel dont la construction est en grande partie prise en charge par les paysans. La digue excède rarement 1000 mètres, pour généralement moins de 1000 hectares aménagés. Les avantages de cette formule ont souvent été plaidés (Barry et al, 1986b, Fall et al, 1987, Boivin et Le Brusq, 1985, Boivin et Barry, 1987, Loyer et al, 1986, Boivin et al, 1986, ISRA-ORSTOM, 1988). Cette solution est, à notre connaissance, la seule à offrir un espoir pour le développement rizicole de la région, et surtout pour sa protection vis à vis de la dégradation qu'elle connaît. Diverses recherches tendent à optimiser le fonctionnement des petits barrages anti-sel. Certaines sont mentionnées dans les communications de Barry et al (1986b, 1988c).

CONCLUSION

Les ressources en eau douce dont dispose la Casamance ont presque disparu avec la diminution des précipitations : en effet, 900 ou même 1000 mm de précipitations annuelles à Ziguinchor aboutissent à la salinisation totale du réseau hydrographique.

La transformation du climat a engendré une catastrophe écologique qui semble, à bien des égards, irréversible. Elle s'exprime à cause de deux facteurs : l'absence de pente du bassin versant dans sa partie estuarine et la chimie très particulière des sols des bas fonds.

En réaction à la salure et à l'acidité se sont élaborées de nouvelles formes d'aménagement du milieu, qui doivent simultanément être perfectionnées et développées.

BIBLIOGRAPHIE

- AFES, 1987. Référentiel Pédologique Français, INRA.
- BADIANE S., 1986. La mangrove de Casamance, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor. 19-24 Juin 1986.
- BARRY B.(a), POSNER J.L., LE RESTE L., BADIANE S., 1986. Synthèse de trois années de suivis du barrage-écluse de Guidel (basse Casamance), Multig. ISRA Djibelor, 51p.
- BARRY B. (b), FALL A., POSNER J.L., LO M., DIOUF M.B., BADIANE S., 1986. Résultats du suivi des petits barrages anti-sel (hivernage 1985), Multig. ISRA Djibelor, 60 p.
- BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., TOUMA J., ZANTE P., 1988a. Evolution des stratégies d'aménagement hydro-agricole des sols salés en basse Casamance, deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., TOUMA J., ZANTE P., 1988b. Tentative d'évaluation des transferts hydriques et salins d'un bas fond aménagé, deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT, B., TOUMA J., ZANTE P., 1988c. Impact d'un barrage anti-sel sur la dynamique de la nappe superficielle d'un bas fond, deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- BARRY B., 1988. Historique et problématique de la gestion du barrage-écluse de Guidel, deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- BOIVIN P., LOYER J.Y., 1985. Evolution des sols salés de Mangrove du périmètre réaménagé de Soukouta I au cours de la saison des pluies 1984, Multigr., Orstom Dakar.
- BOIVIN P., LE BRUSQ J.Y., 1985. Recommandations concernant l'aménagement du domaine fluvio-marin en basse Casamance, Multigr., Orstom Dakar.
- BOIVIN P., LOYER, J.Y., MOUGENOT, B., ZANTE, P., 1986. Sécheresse et évolution des sédiments fluvio-marins au Sénégal. Cas de la basse Casamance, Symposium INQUA-Dakar.
- BOIVIN P., BARRY, B., 1987. Sécheresse et évolution des conditions d'aménagement des zones fluvio-marines en basse Casamance, Multigr. ORSTOM Dakar.
- BRUNET-MORET, 1970. Etudes hydrologiques en Casamance, rapport définitif sur les campagnes 1967/1968 et 1968/1969, Multigr. ORSTOM Dakar.

- 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 (Chivernage 1986), ISRA.
- ISRA/CRODT, 1986. L'estuaire de la casamance : environnement, pêche, socio-économie, ISRA, actes du séminaire tenu à Ziguinchor, 19-24 Juin 1986.
- ISRA/ORSTOM, 1988. Mise en valeur des mangroves au Sénégal, contrat CEE TSD A 104 (MR), rapport final, 64p.
- LE BRUSQ J.Y., LOYER J.Y., MOUGENOT B., 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 PRIOL J., 1983. Synthèse hydrogéologique de la basse Casamance Ministère de l'hydraulique, Dakar.
- LOYER J.Y., BOIVIN P., LE BRUSQ J.Y., ZANTE P., 1986. Les sols du domaine fluviomarain 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.
- PAGES J., BADIANE S., DEBENAY J.P., DIOUF P.S., LEBOUTEILLER C., 1986. Les mécanismes de production dans l'estuaire de la casamance, ISRA-département de recherche sur les productions halieutiques et l'océanographie.
- SAOS J.L., DACOSTA H., 1987. Evolution hydrologique d'un bassin versant margino-littoral : le marigot de Baïla (basse Casamance), Equipe Pluridisciplinaire d'Etude des Ecosystèmes Côtiers, rapport final, pp 59-76, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- USAID/SOMIVAC/ISRA, 1985. Actes de la IIème Table Ronde sur les barrages anti-sel, 12-15 juin 1985, Ziguinchor.
- VIEILLEFON, J., 1974. Les sols de mangrove et de tannes de basse Casamance, mémoire ORSTOM, Paris.
- ZANTE P., LE BRUSQ J.Y., MONTOROI J.P., 1987. Mise en valeur des mangroves au Sénégal, sites d'étude de Koubalan et Djiguinoum, rapport de campagne 1986. 55p, Multigr. ORSTOM Dakar.
- ZANTE P., 1987. Mise en valeur des mangroves au Sénégal, vallée des Kalounayes, site d'étude de Koubalan. Comportement hydrique dessous de la séquence au cours de la saison 1984-1985, 79p, Multigr. ORSTOM Dakar.

F I G U R E S

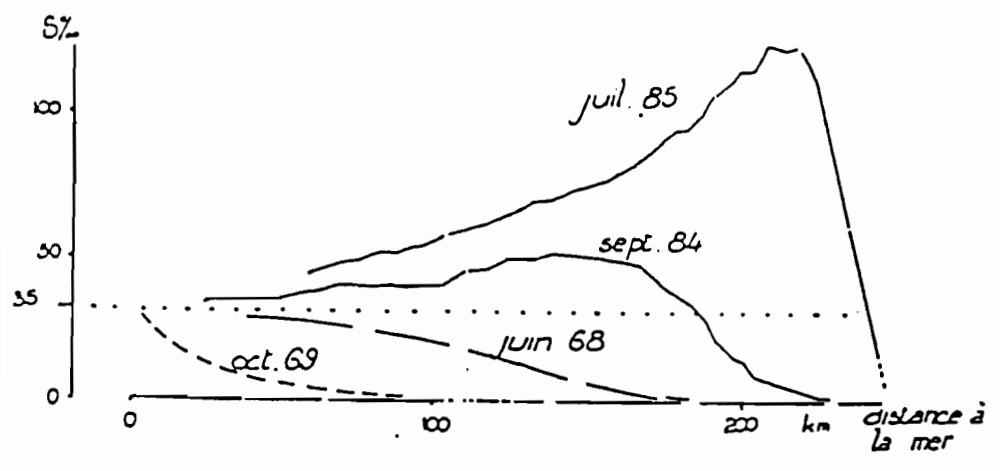
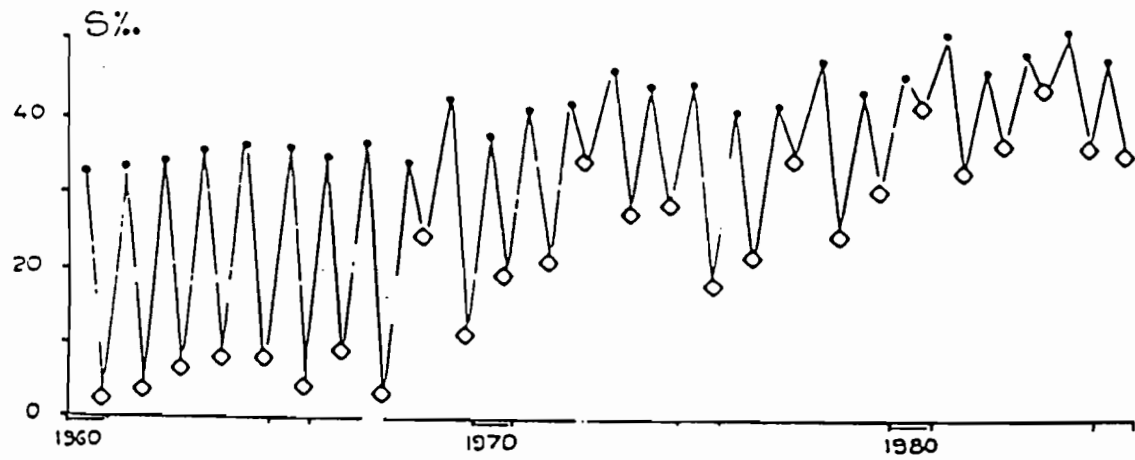


Fig: 1 AUGMENTATION DE LA SALINITE DE LA CASAMANCE d'après PAGES et al. 1986

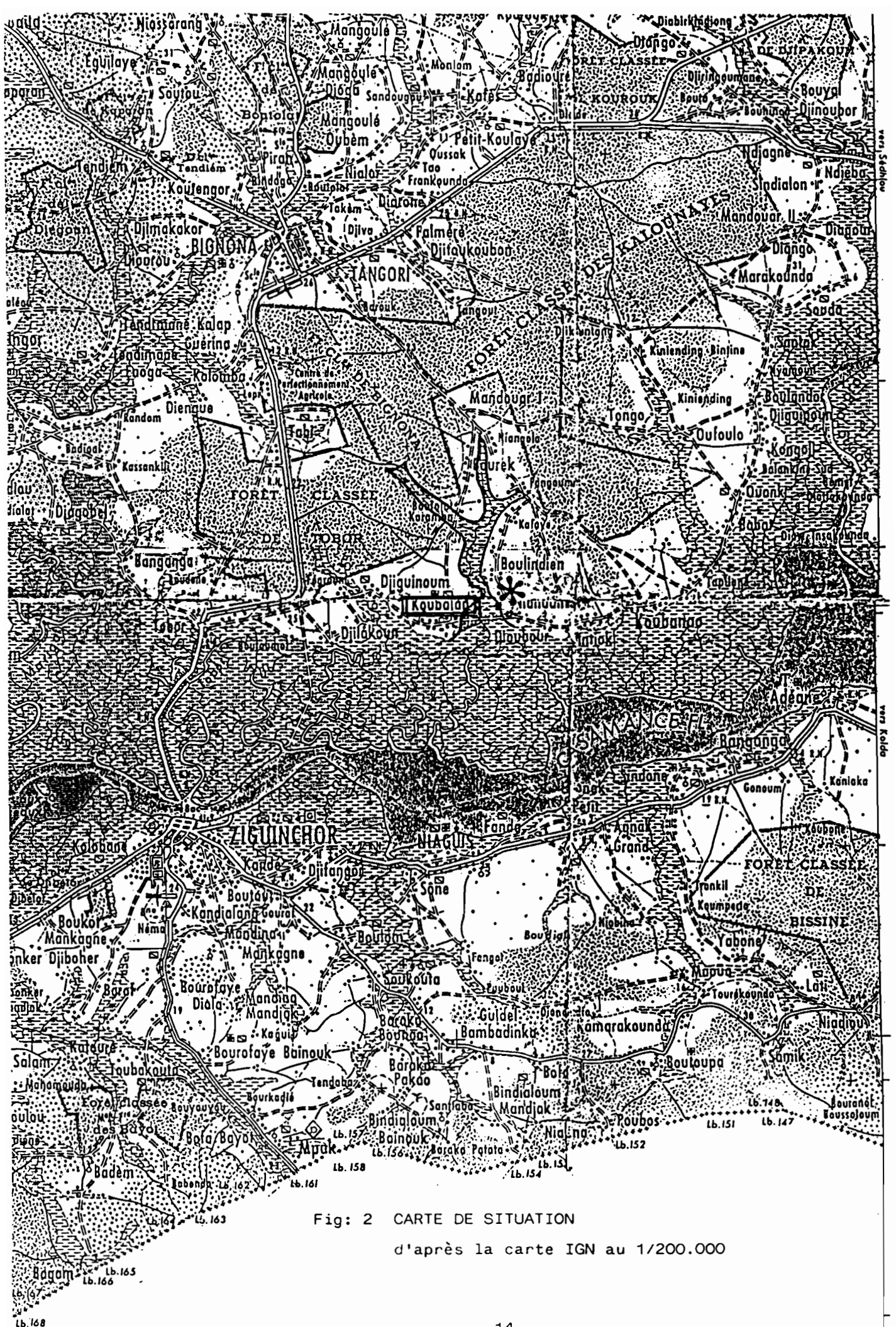
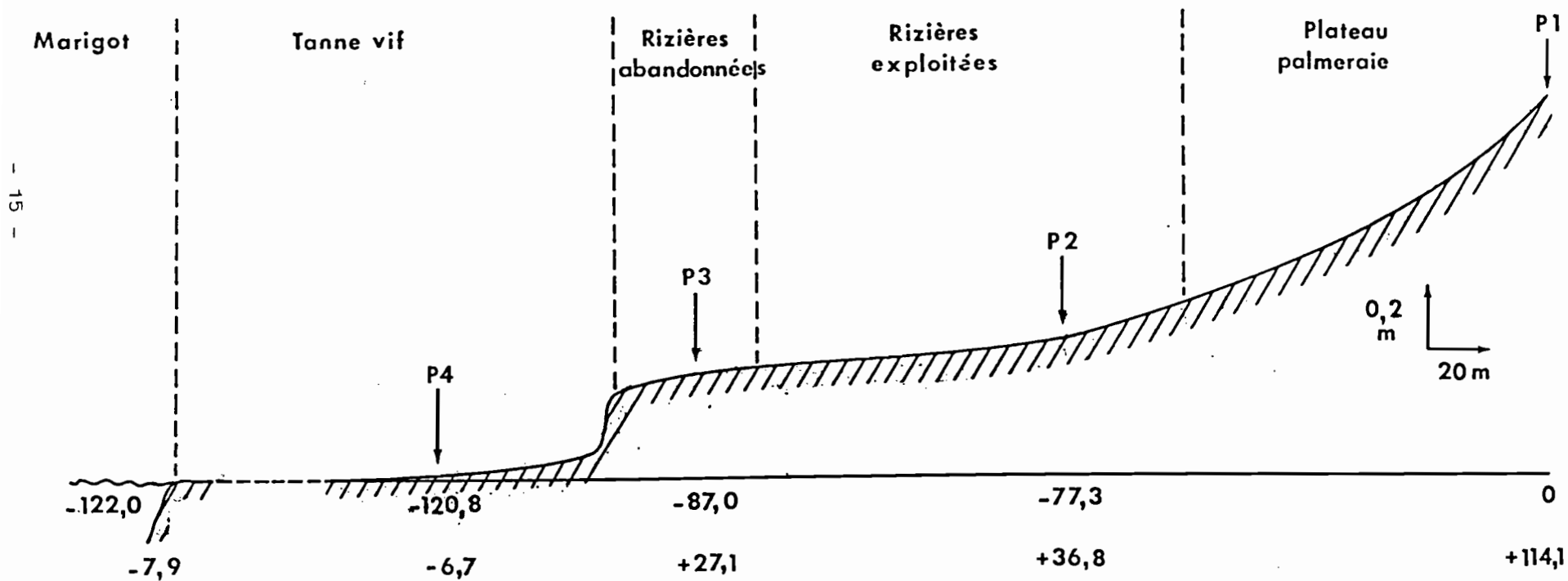


Fig: 2 CARTE DE SITUATION
d'après la carte IGN au 1/200.000

Fig:3 KOUBALAN — PROFIL TOPOGRAPHIQUE DE LA SÉQUENCE DE KOUBALAN
d'après P. ZANTE 1987



- P1
- P2
- P3
- △- P4

Fig 4- KOUBALAN — VARIATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE 1984 - 1985
d'après P. ZANTE et al 1986

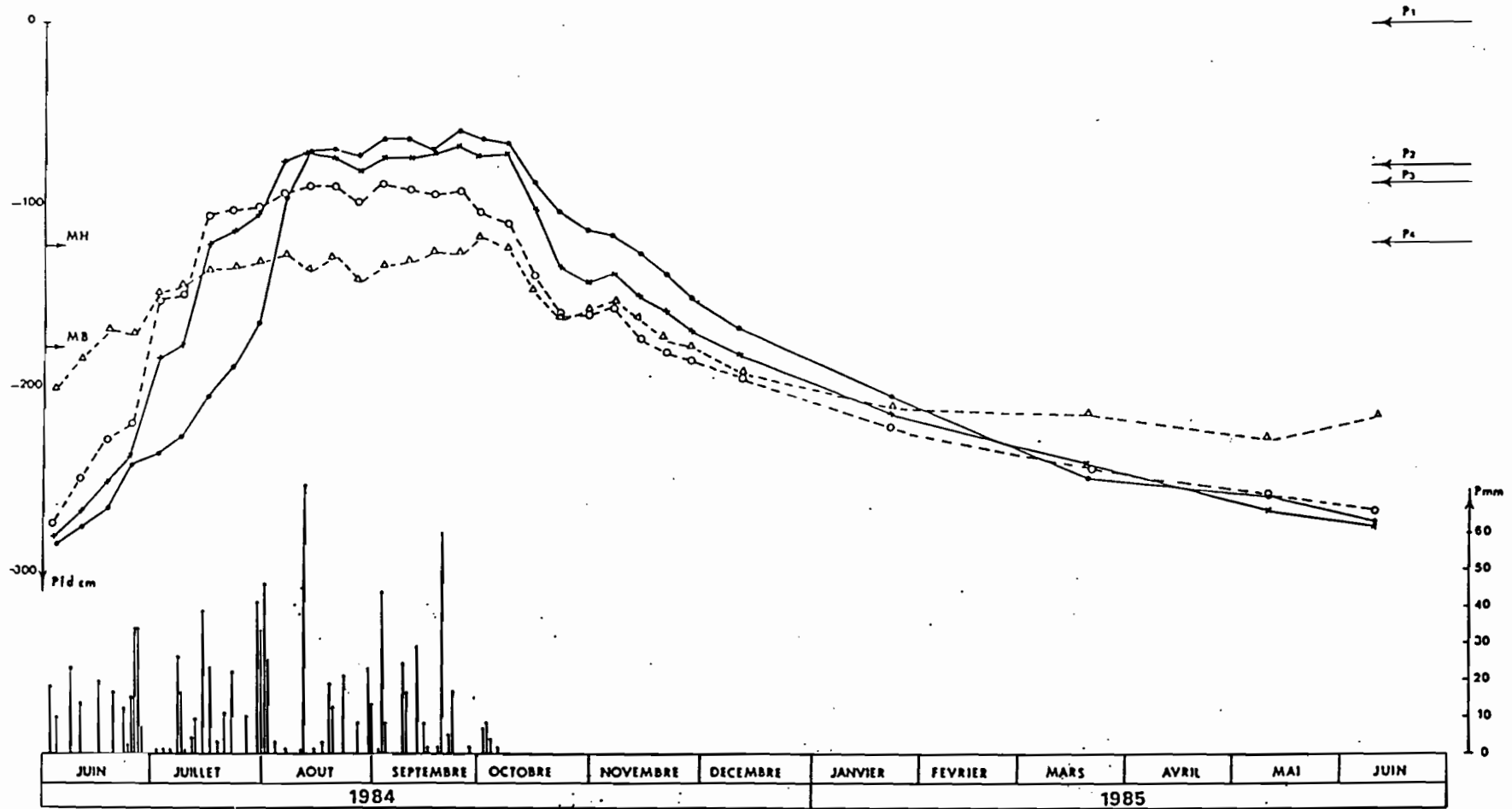


Fig 5: KOUBALAN — INVERSION DE CHARGE DE LA NAPPE EN DÉBUT D'HIVERNAGE 1984-1985
d'après P. ZANTE et al. 1986

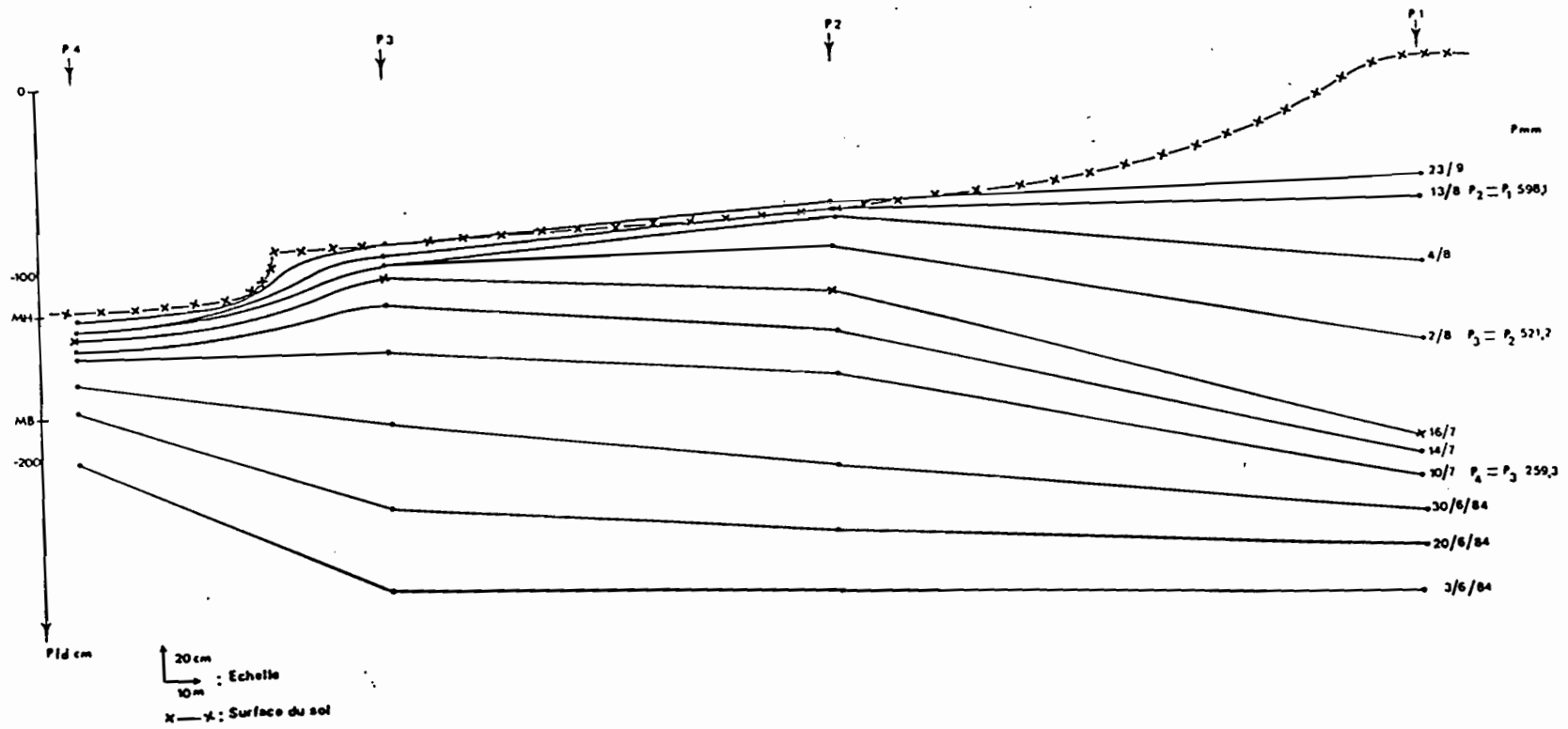


Fig 6: KOUBALAN — INVERSION DE CHARGE DE LA NAPPE EN FIN D'HIVERNAGE 1984 _1985
d'après P. ZANTE et al. 1986

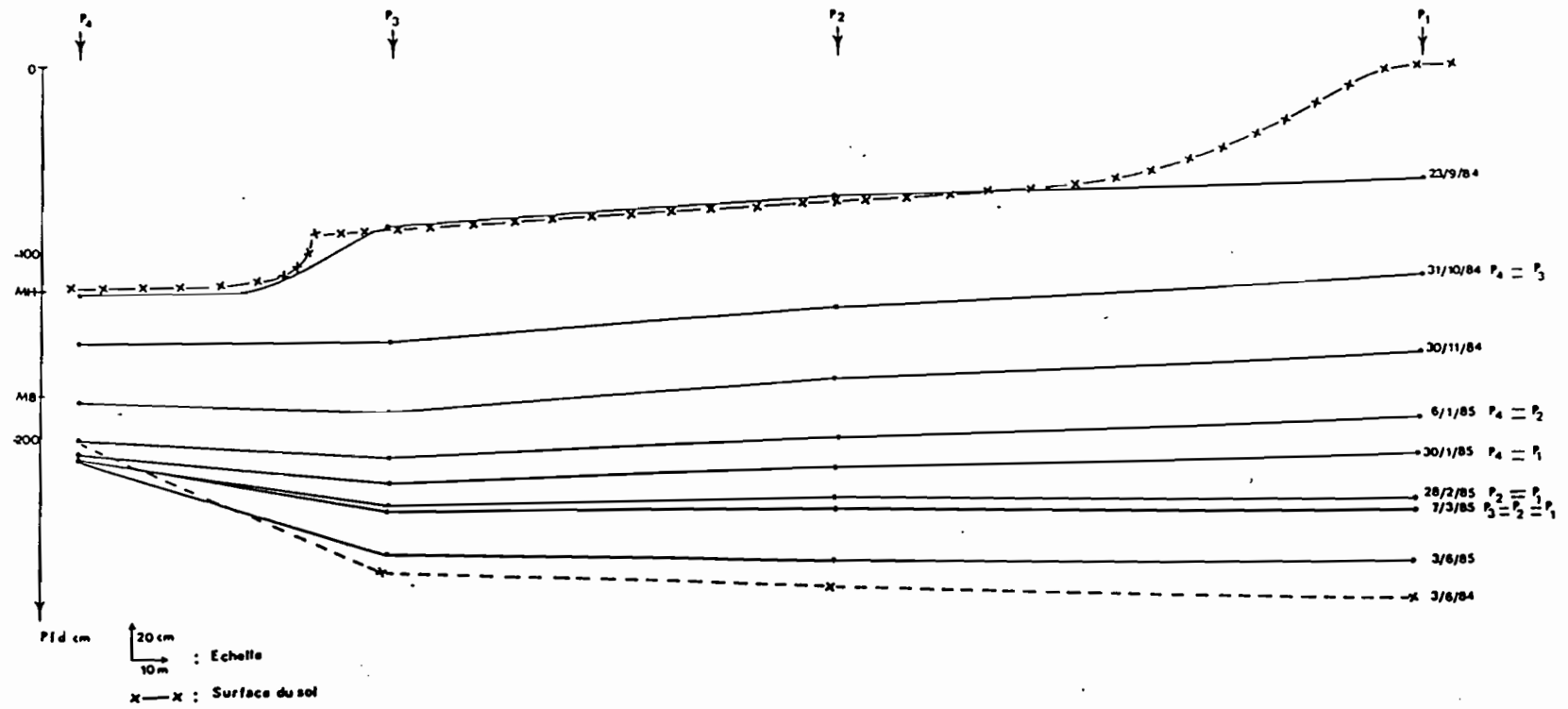


Fig. 7. Recharge de la nappe entre Juin et Novembre 1987 (d'après SAOS et DACOSTA, 1987)

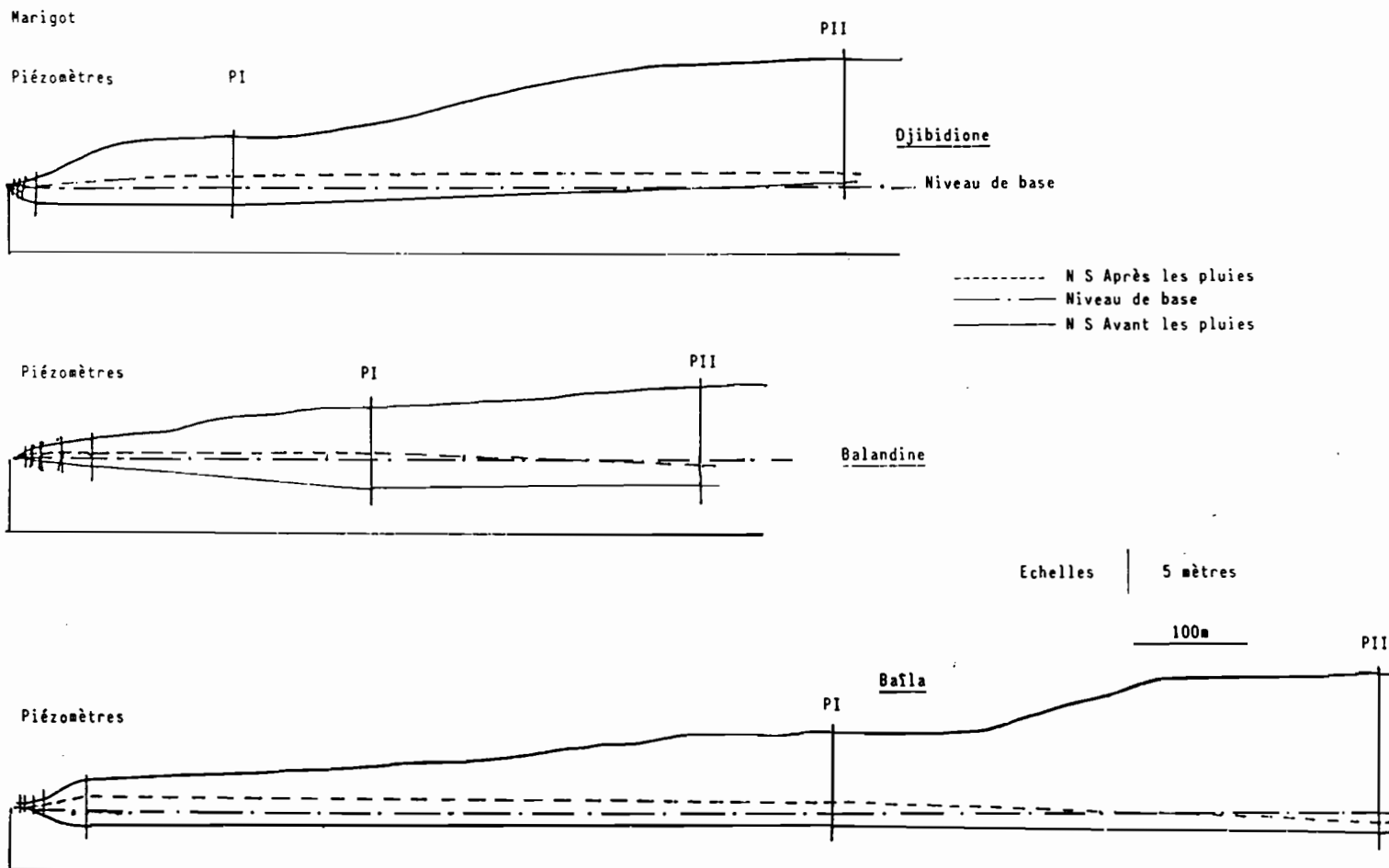


Fig. 8. Koubalan : Infiltration (d'après P. ZANTE, 1987)

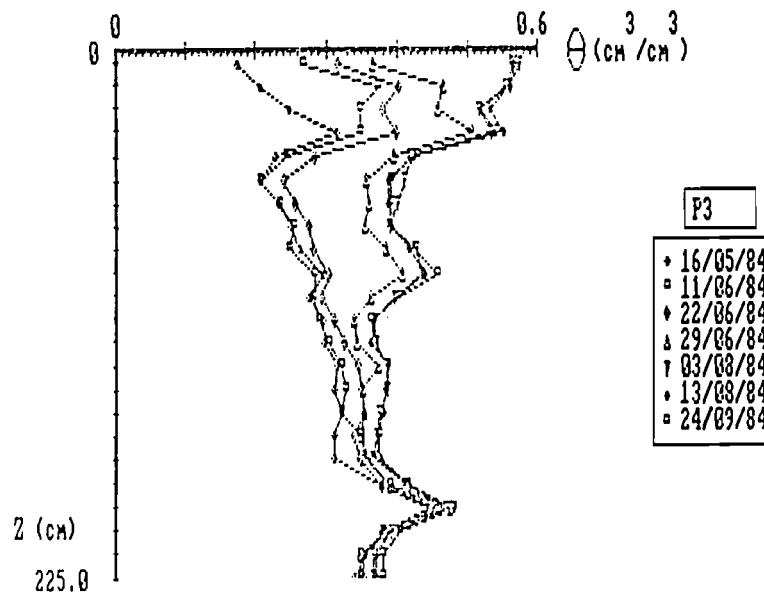
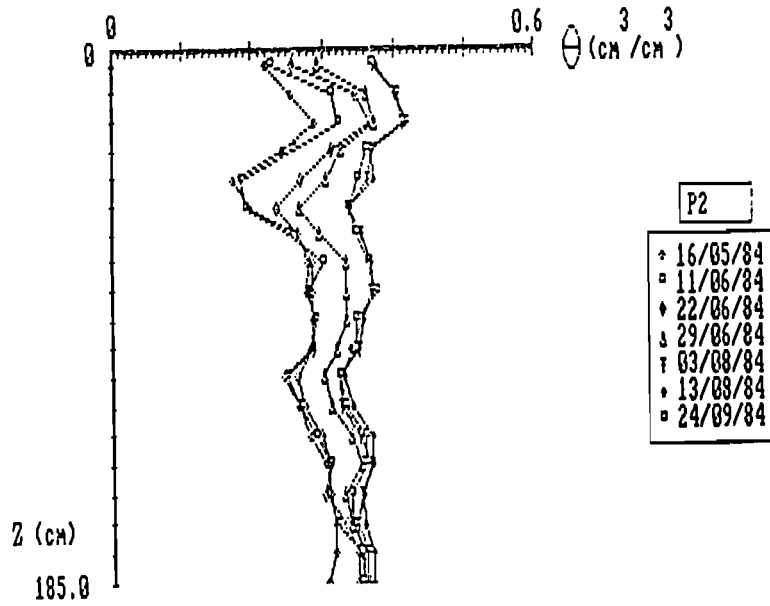
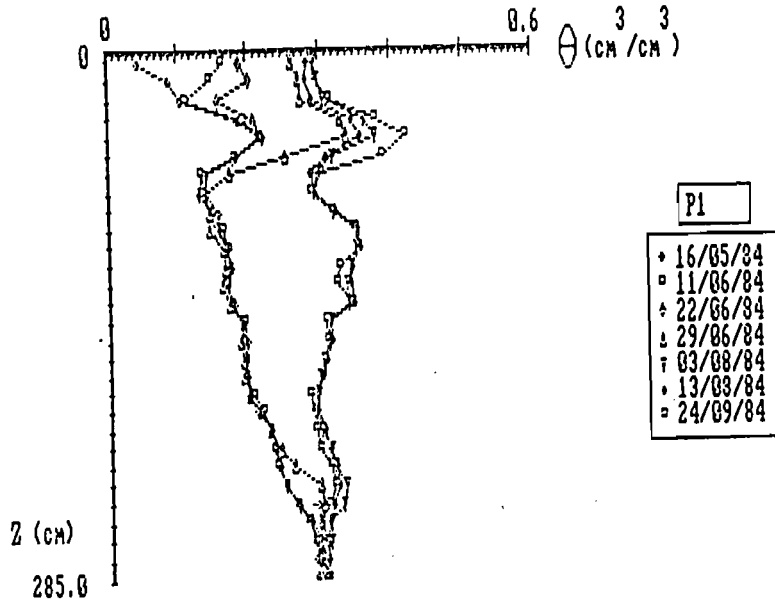


Fig. 9. Koubalan : Infiltration(d'après P. ZANTE, 1987)

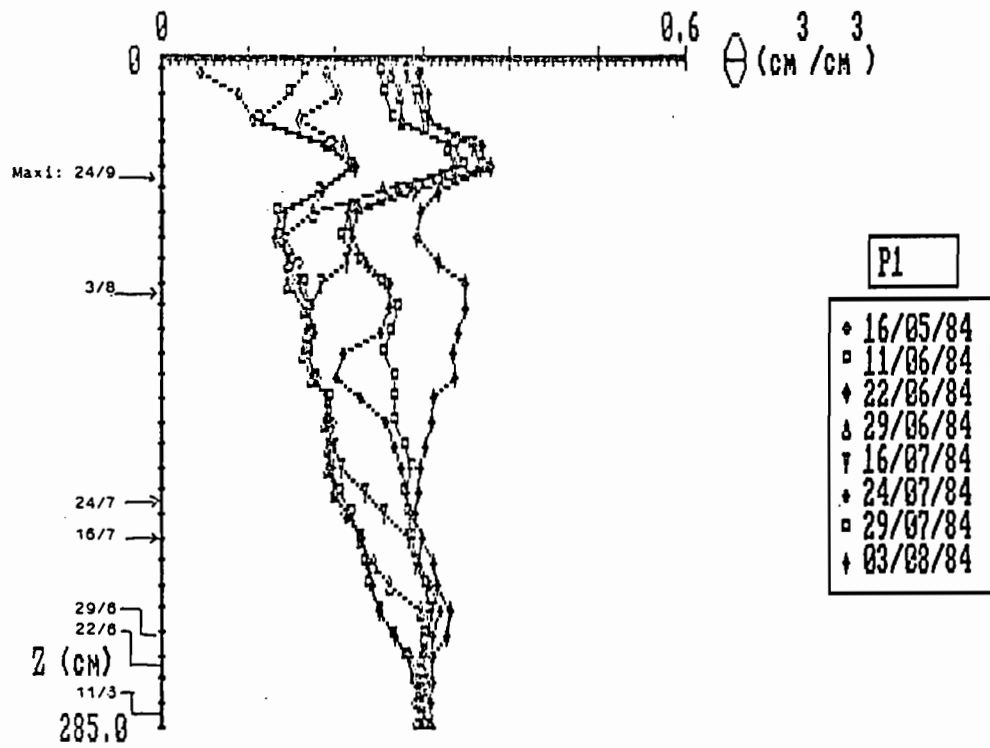
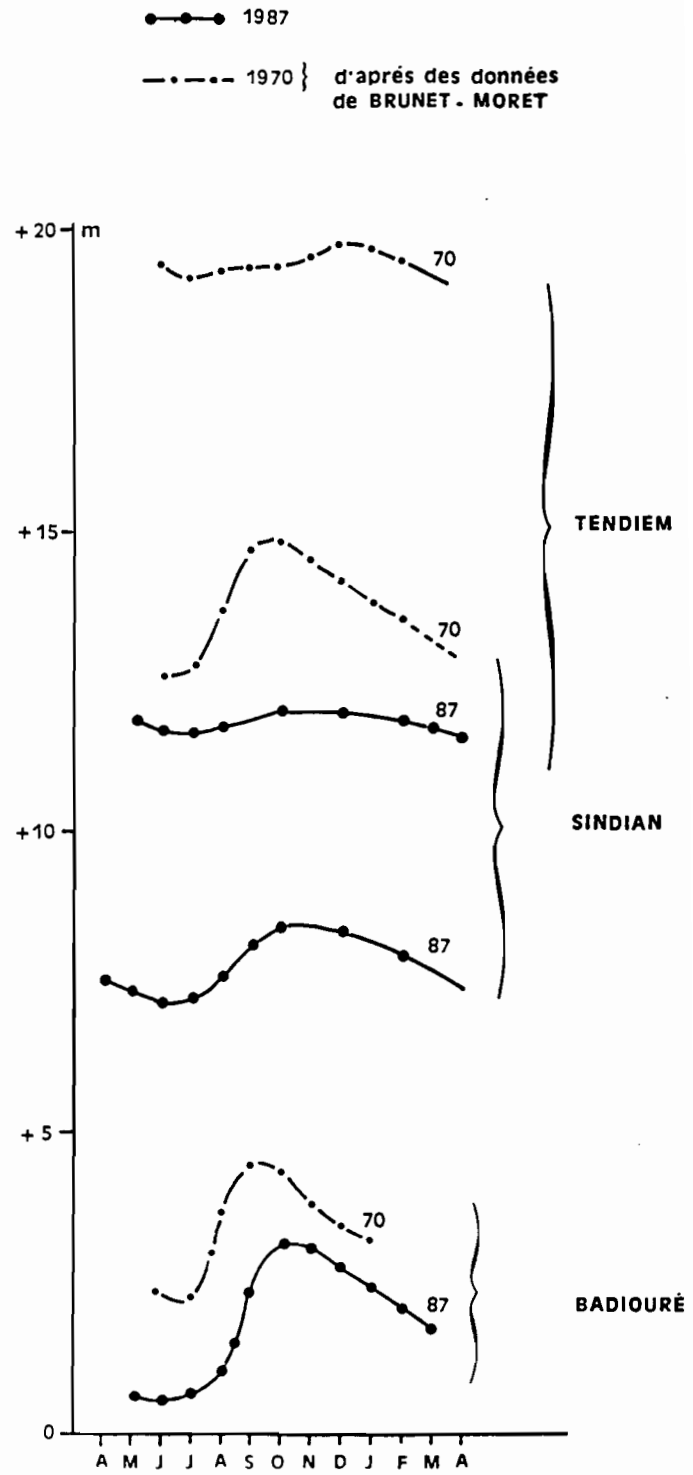


Fig. 10. VARIATION DE LA NAPPE SUPERFICIELLE



EVOLUTION DES STRATEGIES D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE
DES SOLS SALES EN BASSE CASAMANCE

Communication aux deuxièmes journées de l'eau au Sénégal
"EAU ET DEVELOPPEMENT"
(8-10 Décembre 1988).

B. BARRY (*), P. BOIVIN, D. BRUNET, J.P. MONTOROI,
B. MOUGENOT, J. TOUMA, P. ZANTE (**).

(*) ISRA, Djibouti.

(**) ORSTOM, Dakar.

RESUME

Après un bref rappel de la politique d'aménagement poursuivie par l'Etat sénégalais en basse Casamance, nous présentons les premières observations effectuées sur deux sites aménagés.

L'un concerne la vallée de Bignona, récemment barrée par le grand barrage-écluse d'Affiniam. Son fonctionnement en barrage anti-sel en 1987-88 a provoqué, par simple évaporation du plan d'eau, la baisse généralisée de la nappe alluviale. Les sols susceptibles d'être acidifiés le sont devenus réellement.

L'autre site étudié intéresse une petite vallée comportant un ouvrage anti-sel de dimension réduite. Un nouveau dispositif de vidange des premières eaux pluviales, chargées en sels, a été testé au cours de l'hivernage 1988. Il a donné satisfaction aux populations locales.

INTRODUCTION

La volonté exprimée par les autorités sénégalaises d'aménager la région casamançaise remonte aux années 60. Il s'agissait à l'époque d'accroître les surfaces rizicultivées et d'améliorer leur productivité afin de dégager des surplus exportables.

La modification des conditions climatiques au cours des deux dernières décennies ont considérablement fait évoluer les systèmes d'aménagement. En rappelant brièvement l'historique des aménagements hydro-agricoles en basse Casamance (BARRY, 1986), nous présenterons quelques résultats récents montrant leur influence sur le milieu et proposerons des orientations possibles.

L'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DE LA BASSE CASAMANCE

Traditionnellement, le paysan diola sait aménager son environnement. Dans les vasières occupées par la mangrove il façonne, au prix d'un travail collectif colossal, une mosaïque de casiers rizicoles. Ceux-ci sont inondés, soit par les eaux marines, soit par les eaux pluviales selon un calendrier précis et une technique très élaborée.

De nombreux ouvrages, notamment ceux de PELISSIER (1966) et MARIUS (1985), décrivent en détail cette transformation du milieu en de vrais "polders". S'appuyant sur un tel savoir-faire, il paraissait tout à fait concevable d'envisager le défrichage des zones de mangrove sur de grandes étendues aux fins de mise en valeur.

* la poldérisation rationnelle

Les aménagistes ont alors mis en oeuvre, durant la période 1963-1975, plusieurs projets qui consistent à quadriller les terres par un réseau de canaux de drainage afin de favoriser leur dessalement. Aux vues d'études préliminaires sur les sols, la société ILACO (*) (1967) s'est chargée des travaux de terrain menés en divers sites du domaine fluvio-marin. Cependant, la connaissance imparfaite du milieu a entraîné l'échec relatif de ce type de politique. En effet, les sols se sont rapidement oxydés et ont vu leur pH chuter.

(*) International Land Development Consultants

Les enseignements de l'expérience ILACO ont montré la nécessité de mener des études détaillées sur ces sols et de comprendre leur évolution et leur fonctionnement lorsque les conditions édaphiques sont modifiées naturellement ou artificiellement (VIEILLEFON, 1974, MARIUS, 1985).

* les grands barrages

Parallèlement à cette recherche scientifique, la politique des aménagistes s'est orientée vers des solutions plus conformes au mode d'exploitation des terres, pratiqué par les paysans diolas en petites parcelles. Il s'agit de la politique des barrages anti-sel destinée à sécuriser économiquement la production rizicole et à fixer socialement les populations locales.

Cette politique a subi quelques vicissitudes eu égard aux changements climatiques intervenus depuis sa mise en oeuvre. Au milieu des années 70, elle envisagea l'endiguement et le barrage des affluents principaux du fleuve Casamance.

Le bolong de Guidel fut le premier à être aménagé et à être équipé d'un système de plusieurs portes battantes. Son rôle était de permettre la mise en valeur des terres salées et de protéger les sols de mangrove. Le fonctionnement commença en 1983 sur un schéma de gestion difficilement opérationnel. En effet, le délai important qui s'écoula entre sa conception, basée sur des données climatiques normales, et sa livraison a rendu caduque le modèle d'exploitation préconisé par la société ILACO. Le déficit pluviométrique enregistré durant ce laps de temps impose une révision adéquate de la gestion d'un tel ouvrage (BARRY et POSNER, 1986).

Un second barrage beaucoup plus imposant vient d'être achevé et mis en eau cette année sur le bolong de Bignona: il s'agit du barrage d'Affiniam. Nous montrerons plus loin ses premiers effets sur les sols et les eaux. D'autres projets sont actuellement à l'étude, notamment sur les bolongs du Soungrougrou et du Kamobeul.

* les petits barrages ou digues anti-sel

Les années particulièrement sèches du début de la décennie actuelle ont contribué à la transformation rapide et naturelle des conditions écologiques de la région. Abondamment décrites dans la littérature (LE PRIOL, 1983; MARIUS, 1985; ISRA/CRODT, 1986; BOIVIN et al, 1986; LE BRUSQ, 1987; ISRA/ORSTOM, 1988), nous rappellerons les modifications les plus spectaculaires:

- baisse généralisée du niveau piézométrique des nappes superficielles des bas-fonds et des plateaux,
- invasion et concentration des eaux marines dans tout le réseau hydrographique du fleuve Casamance,
- acidification, parfois extrême, des sols de mangrove,
- disparition sur d'énormes surfaces de la végétation originelle de mangrove,
- abandon des terres rizicultivées de mangrove et des bas-fonds salés.

Devant l'ampleur des dégâts occasionnés sur le milieu, il s'agissait de réagir au plus vite. Cette réaction s'est concrétisée par le démarrage en 1984 d'un programme de construction de petits barrages ou digues anti-sel, supervisé par le PIDAC (*) en collaboration avec les villageois, qui doivent être les initiateurs du projet à l'échelle locale. Leur participation aux travaux, à la maintenance et à la gestion de l'ouvrage sont des garanties de succès. L'emploi de matériaux disponibles localement et le dimensionnement raisonnable du barrage limite le coût de l'investissement. Cependant, la forte demande des populations paysannes rend l'aspect financier de ce plan de sauvegarde plus contraignant, mais sans commune mesure avec celui des grands barrages (USAID/SOMIVAC/ISRA, 1985).

La réalisation d'une trentaine d'ouvrages a permis d'atteindre plusieurs des objectifs visés, à savoir l'arrêt de l'intrusion des eaux marines sursalées de surface, la retenue des eaux pluviales, le désenclavement des villages en saison des pluies. L'impact sur le milieu est sensible: récupération de rizières productives sur les terres sableuses; baisse du niveau de la nappe phréatique en saison sèche; pêche possible dans la retenue (BARRY et POSNER, 1985).

Cependant, la gestion efficace de ces barrages au cours de la saison des pluies reste un sujet d'actualité. Le système d'ouverture par batardeaux se révèle peu efficient à l'usage, notamment lors de l'évacuation des premières eaux de ruissellement, les plus chargées en sels. La régulation de la lame d'eau, destinée au maintien d'un niveau propice à la riziculture inondée sur l'ensemble du bas-fond protégé, suscite des polémiques entre les paysans. Des aménagements secondaires seraient nécessaires.

Nous proposons de substituer au système actuel un dispositif de porte à crémaillère facilement manoeuvrable et réglable. En début de remplissage, les eaux salées seront mieux évacuées. Sur les terres argileuse, un réseau de drainage à ciel ouvert, calé sur le lit de l'ancien marigot, est souhaitable. Il conviendra de contrôler l'évolution des caractéristiques physico-

(*) Projet Intégré de Développement Agricole de la Casamance.

chimiques de la nappe (réseau piézométrique) et des sols. Une étude est en cours, depuis cette année, dans le bas-fond de Djiguinoum. Des expériences de récupération des terres aménagées en casiers de dessalement sont également réalisées.

VALLEE DE BIGNONA: CONSEQUENCES DE LA PREMIERE FERMETURE DU BARRAGE D'AFFINIAM SUR LES EAUX ET LES SOLS

Le barrage d'Affiniam (fig. 1) a pour la première fois été fermé à la fin de l'hivernage 1987. Conçu sur le même principe que celui de Guidel, il doit permettre l'aménagement d'une vallée d'environ 12360 ha.

Le milieu, comme dans toute la zone, était au départ très dégradé: quasi disparition de la végétation de mangrove, extension des tannes vifs, hyper-salinisation des nappes et des sols, acidification des sols de mangroves non inondés régulièrement par les marées.

Les études antérieures permettent de suivre de façon précise l'évolution du milieu depuis la fin des années 60 (VIEILLEFON, 1974; MARIUS, 1985; AUBRUN et MARIUS, 1986: cartographie de la vallée). Un suivi des sols et des nappes a été entrepris à la hauteur du village de Balingore (moyenne vallée) et de part et d'autre de la digue (fig. 1).

*** évolution du plan d'eau pendant la saison sèche 1987/88**

Le niveau d'eau maintenue derrière la digue, après un maximum en septembre/octobre, a ensuite régulièrement baissé depuis novembre d'environ 0,3 cm par jour, jusqu'à la cote -1 m sous le niveau "0". Les premières pluies importantes provoquent un remplissage rapide de la retenue (+89 cm du 12 au 30 juillet 1988).

*** qualité des eaux de la retenue**

L'ouvrage d'Affiniam a fonctionné comme un barrage anti-sel. Les eaux encore salées (10 mS/cm) à la fermeture, étaient trois fois plus concentrées en juillet 1988, mais trois fois moins concentrées qu'en aval (90 mS/cm, soit plus de 2 fois l'eau de mer). Après évacuation des eaux et remplissage de la vallée, la conductivité se stabilise autour de 3 mS/cm fin août 1988. Le pH, précédemment autour de 6,5, descend à 3,3. Ces eaux ne sont pas très favorables à l'irrigation.

*** conséquences de la baisse du plan d'eau sur les nappes et les sols**

La séquence de Balingore s'étend des sols de mangrove décadente à Rhizophora, puis à Avicennia, aux sols de tanne vif. En mai 1988, la nappe précédemment en charge vers le tanne vif, s'était abaissée en même temps que le plan d'eau de 1 mètre sur les rives à 0,5 m au centre du tanne à 400 m du marigot (fig. 2). Elle devient à peu près horizontale et en dépression de 15 à 20 cm par rapport à celui-ci. Ceci témoigne d'une grande mobilité de la nappe superficielle dans des sols pourtant argileux (ZANTE et al., 1987).

La nappe est hyper-salée depuis 1974 sur toute la séquence (2 à 3 fois l'eau de mer), sans grandes variations depuis quelques années entre saison sèche et saison des pluies. Malgré la forte baisse de son niveau, il n'y a pas eu concentration des sels, mais une diminution d'environ 15% sur toute la séquence d'avril 87 à mai 1988. Ceci peut s'expliquer par un début de dessalement, à confirmer en 1988, dû à l'inondation, à une certaine évacuation des sels vers le marigot et à une accumulation dans les horizons sus-jacents.

L'extrême acidification des sols de la mangrove décadente (sols potentiellement sulfatés acides), est la conséquence la plus importante de la baisse prolongée des nappes (ILACO, 1967; BEYE, 1973; MARIUS, 1976, 1985). Le pH des anciens sols à Rhizophora est passé de 6 à moins de 2 sur les 60 premiers centimètres (fig. 3). Un peu plus haut topographiquement, les sols à Avicennia voit leur pH évoluer de 5 ou 4,5 à 2 sur une profondeur comprise entre 30 et 70 cm en moyenne. Les sols de tannes déjà acidifiés (sols sulfatés acides) se sont maintenus (pH 3) ou légèrement acidifiés (pH 2 à 3) de 5 à 100 cm environ.

La salure des horizons de surface des sols d'anciennes mangroves s'est amplifiée: croûtes salines et horizons micro-agrégés (moquettes). La dégradation physique de ces sols s'est amorcée: fissuration, affaissement, perte de tenue.

Le séquence en amont de la digue d'Affiniam présente une évolution similaire à celle de Balingore, avec toutefois une baisse apparente de la nappe moins marquée, peut-être sous l'effet de la nappe en charge existante en aval. L'acidification des sols est aussi intense mais moins profonde (0 à 40/50 cm en mai 1988).

Les conséquences sur la végétation en dehors des terrasses, sont une disparition rapide de la mangrove résiduelle, et une dégradation de la strate herbacée à halophytes qui seule, semblait bien reprendre au cours de l'hivernage 1988.

* conclusions

Suite à la baisse généralisée de la nappe alluviale dans la vallée de Bignona en amont du barrage et d'après la carte pédologique (AUBRUN et MARIUS, 1986) et nos observations, on peut conclure:

- à l'acidification sur 40 à 80 cm de profondeur, des 3550 ha de sols potentiellement sulfatés acides,
- à l'intensification de l'acidification sur une partie des 1640 ha de sols sulfatés acides, déjà acidifiés.

La poldérisation, préconisée par AUBRUN et MARIUS (1986), devra s'étendre aux sols récemment acidifiés, difficilement récupérables sans amendements ou intrusion d'eau salée pour relever le pH avant dessalement.

Un suivi de l'évolution du pH et de la salinité des sols, des nappes et des eaux libres, serait indispensable sur l'ensemble de la vallée, pour effectuer un bilan des sels et de l'acidité libérée par les sols dans les eaux, et actualiser la gestion du barrage. La grande mobilité des nappes implique une attention particulière aux transitions: bas-fonds, terrasses, plateau et aux têtes de vallées.

Au cours de la saison sèche, sans aménagements secondaires, et avec actuellement, peu ou pas d'apport d'eau douce par les nappes du plateau, il sera difficile de maintenir une hauteur d'eau importante dans la vallée pour compenser les pertes par évaporation et assurer en particulier les contre-cultures.

VALLEE DE DJIGUINOUM: PREMIERS RESULTATS

La vallée de Djiguinoum, située à 15 km au nord-est de Ziguinchor (fig. 1), a été, comme tous les bas-fonds de la région, contaminée par la salure durant ces dernières années.

Dès 1984, une digue anti-sel, munie d'un petit barrage à batardeaux, a été mise en place et a permis de protéger 150 hectares contre toute intrusion marine. Cependant, le système d'ouverture du barrage s'est révélé peu fonctionnel.

En 1987 et avec l'accord du PIDAC, un nouveau dispositif, muni d'un levier à chaîne, a été installé. Il permet de manoeuvrer aisément une porte coulissant verticalement.

Durant l'hivernage 1988, ce barrage a permis d'une part d'empêcher toute entrée d'eau de mer dans la vallée, d'autre part d'effectuer des lâchers réguliers de l'eau retenue par la digue. L'objectif est non seulement de réguler la lame d'eau en amont du barrage, mais surtout d'éliminer une partie des sels présents dans les sols de la vallée, notamment les ions majeurs (aluminium, chlorures, sulfates). Les divers prélèvements, effectués à chaque évacuation d'eau, ont été analysés, sur place pour le pH, au laboratoire pour les autres constituants.

Ainsi, comme le montre la figure 4, au cours des lâchers d'eau effectués du 29-07 au 10-10, la teneur en sel décroît fortement jusqu'au 31-08, et se stabilise ensuite. Quant au pH "in situ", il demeure constant.

Un élément important, influant sur la géochimie des sols, l'aluminium, a également montré une évolution sensible au cours de la période allant du 08-08 au 10-10 (fig. 5). Nous constatons une chute importante de 11 mg/l de la teneur en aluminium durant les 10 premiers jours (du 08-08 au 18-08), et de nouveau une nette augmentation en fin d'hivernage.

Ces quelques résultats montrent le rôle primordial d'une bonne gestion hydraulique du barrage. Les premières eaux pluviales, chargées en sels, doivent être évacuées impérativement. Pour qu'elles soient efficaces, ces évacuations seront effectuées principalement durant la première moitié de l'hivernage. Le contrôle chimique et la connaissance des volumes lâchés permettront d'établir un bilan.

Le dispositif mis en place à Djiguinoum est facilement adaptable à de petites vallées (inférieures à 200 ha), car il est d'un emploi simple et peu coûteux.

Outre cet aspect pratique, la vallée de Djiguinoum fait l'objet d'un suivi régulier de la nappe superficielle à l'aide d'un réseau piézométrique, d'un contrôle annuel de la salinité des sols (BOIVIN et al, 1988) et d'expérimentations de dessalement des terres.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUBRUN A., MARIUS C., 1986.
Etude pédologique sur la vallée de Bignona en Casamance. Rapport définitif. Ministère Hydraulique / Organisation et Environnement.
- BARRY B., 1986.
Situations des aménagements hydro-agricoles des terres salées de basse Casamance. IIIème séminaire sur les aménagements hydro-agricoles et systèmes de production, 16-19 Décembre 1986, Montpellier.
- BARRY B., POSNER J.L., 1986.
Bilan de trois années de suivi hydro-agricole du barrage-écluse de Guidel. IIIème Symposium Int. sur les sols sulfatés acides, 6-11 janvier 1986, Dakar.
- BARRY B., POSNER J.L., 1985.
Suivis des zones salées en basse Casamance. IIème Table Ronde sur les barrages anti-sel en basse Casamance, 12-15 juin 1985, Ziguinchor.
- BEYE G., 1973.
Acidification of mangrove soils after empoldering in lower Casamance. In "Acid Sulfat Soils", Dost Ed., Wageningen, ILRI 18, vol. 2, 359-372.
- BOIVIN P., BRUNET D., JOB J.O., 1988.
Conductivimétrie électromagnétique et cartographie automatique des sols salés: une méthode rapide et fiable. (soumis à publication).
- BOIVIN P., LOYER J.Y., MOUGENOT B., ZANTE P., 1986.
Sécheresse et évolution des sédiments fluvio-marins au Sénégal; cas de la basse Casamance. Symposium INQUA, 21-28 avril 1986, Dakar.
- ILACO, 1967.
Aménagements hydro-agricoles en Casamance. Rapport de gestion des casiers de Médina et de Ndieb (1965-1967).
- ICRA/CRODT, 1986.
Actes du séminaire "L'estuaire de la Casamance: environnement, pêche, socio-économie". 19-24 juin 1986, Ziguinchor.

- ISRA/ORSTOM, 1988.
Mise en valeur des mangroves au Sénégal. Rapport final. C.C.E., Contrat T.S.D. A 104 (MR).
- LE BRUSQ J.Y., LOYER J.Y., MOUGENOT B., CARN M., 1987.
Nouvelles paragenèses à sulfates d'aluminium, de fer et de magnésium, et de leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal. Science du Sol, 25(3), 173-184.
- LE PRIOL J., 1983.
Synthèse hydrogéologique du bassin sédimentaire casamançais. Ministère de l'Hydraulique, Dakar.
- MARIUS C., 1976.
Effet de la sécheresse sur l'évolution des sols de mangroves. Casamance - Gambie. Multigr., ORSTOM, Dakar.
- MARIUS C., 1985.
Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie, Pédologie, Géochimie, Mise en valeur et aménagement. Trav. et Doc. ORSTOM, 193.
- PELISSIER P., 1966.
Les paysans du Sénégal—Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Imp. Fabrègue, St Yrieix.
- VIEILLEFON J., 1974.
Les sols des mangroves et des tannes de basse Casamance (Sénégal). Importance du comportement géochimique du soufre dans leur pédogénèse. Mém. ORSTOM, 83.
- USAID/SOMIVAC/ISRA, 1985.
Actes de la IIème Table Ronde sur les barrages anti-sel, 12-15 juin 1985, Ziguinchor.
- ZANTE P., LE BRUSQ J.Y., MONTOROI J.P., 1987.
Mise en valeur des mangroves au Sénégal, sites d'étude de Koubalan et de Djiguincom, rapport de campagne 1986. Multigr., ORSTOM, Dakar.

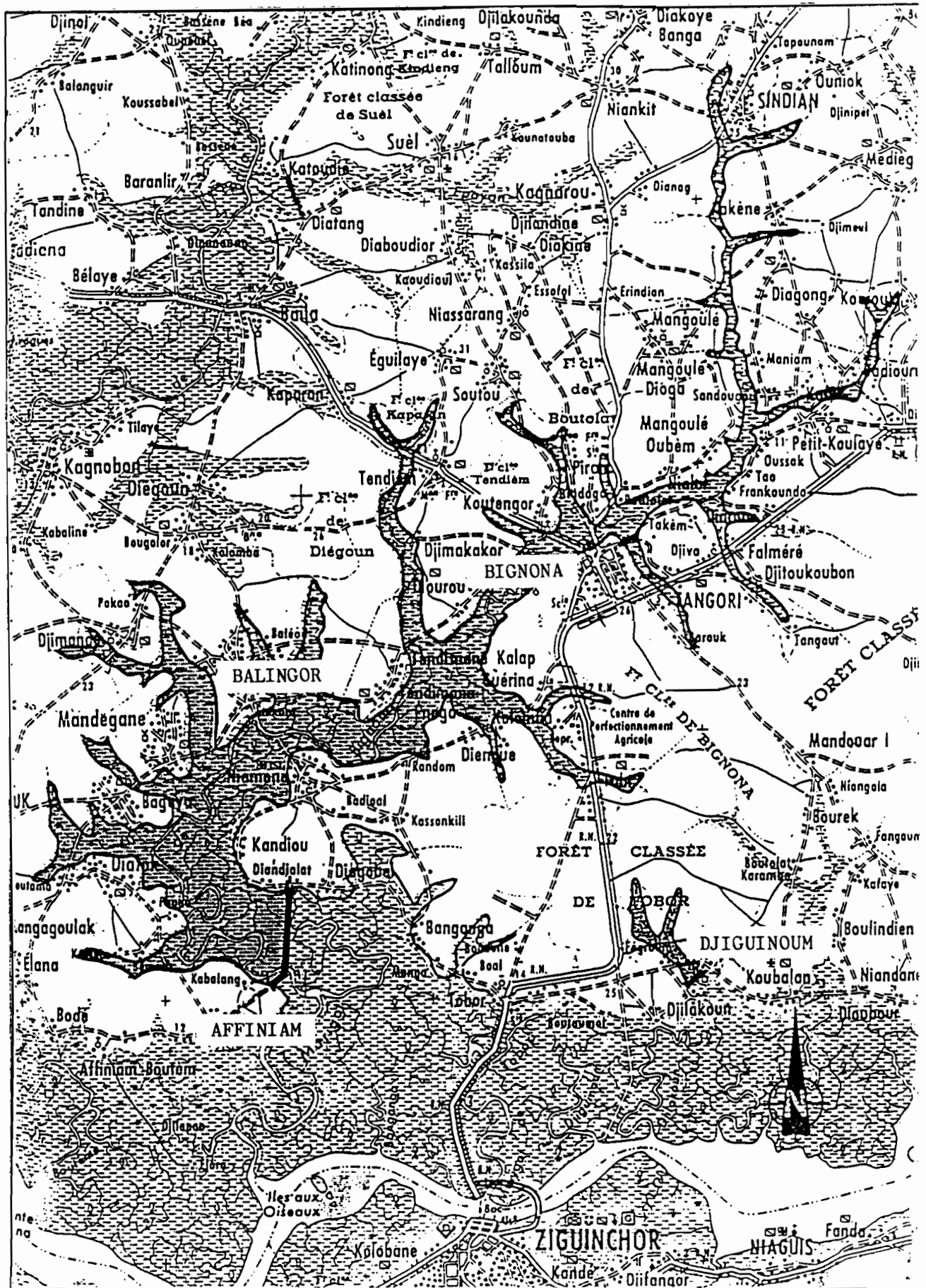


Fig. 1. Carte de situation (d'après AUBRUN et MARIUS, 1986 modifiée)

— Digue et Barrage anti-sel.

EVOLUTION DES ETATS DE SURFACE ET DE LA NAPPE

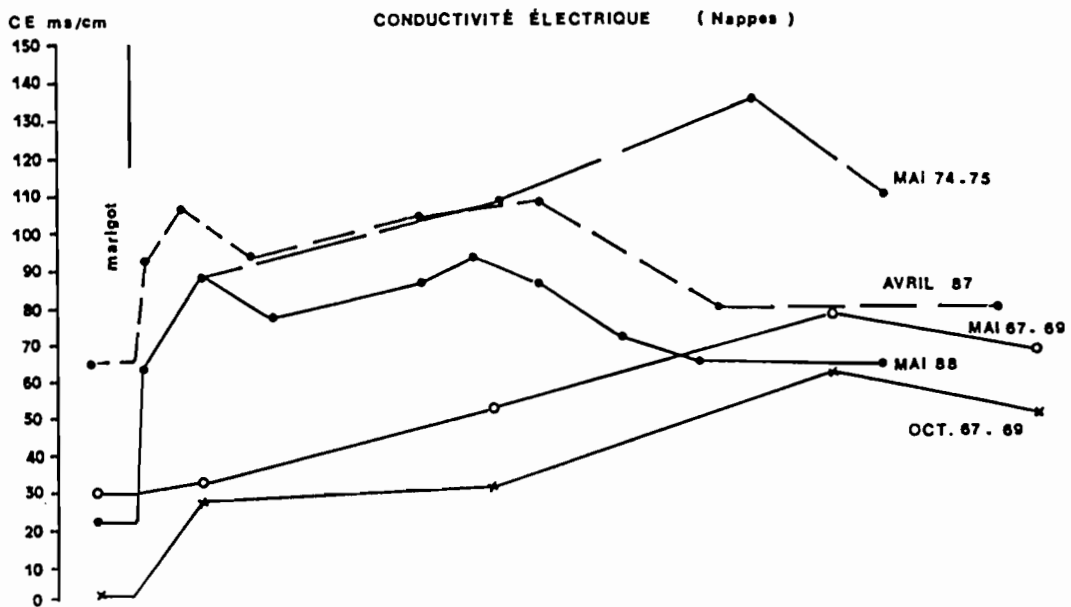
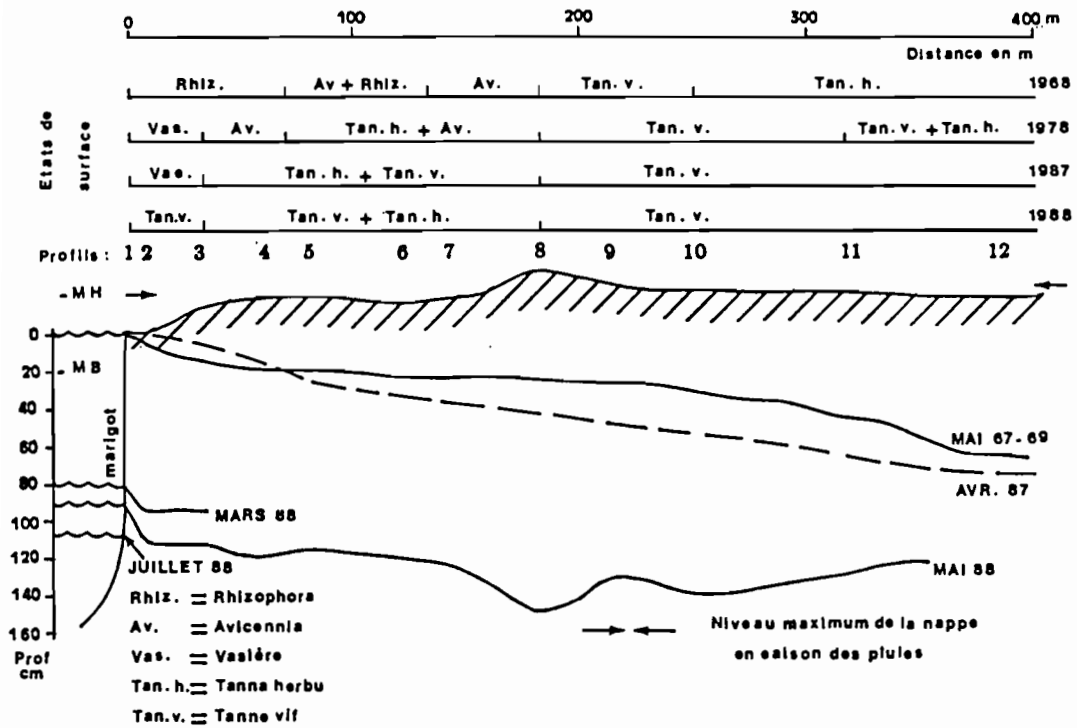


Fig. 2 : Séquence de Balingore, vallée de Bignona (Basse Casamance).

Evolution des états de surface du niveau de la nappe et de la conductivité électrique : MAI et OCT. 67-69 (VIEILLEFON, 1977); MAI 74-75 (MARIUS, 1985); AVRIL 87, MAI 88 soit 8 mois après la fermeture du barrage d'Affiniam.

Etats de surface en 1987 :

	Vasière sursalée à Rhiz.morts	Tanne herbu dégradé à Sesuvium P., Avicennias morts	Tanne vif (bord de la dépression)	Tanne vif fond de la dépression
	Vasière sursalée			

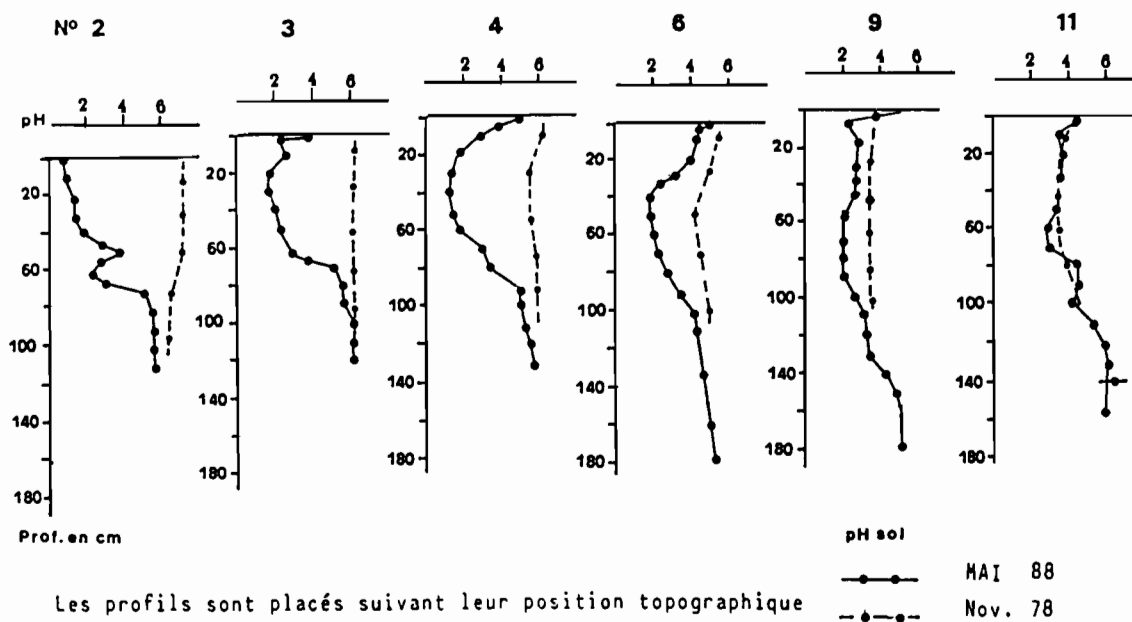


Fig. 3: Séquence de Balingore, vallée de Bignona (Basse Casamance).
Variation du pH des sols en Nov. 78 (MARIUS, 1985); et Mai 88

BARRAGE de la VALLEE de DJIGUINOUM

Fig.4: pH et CE des lâchers d'eau

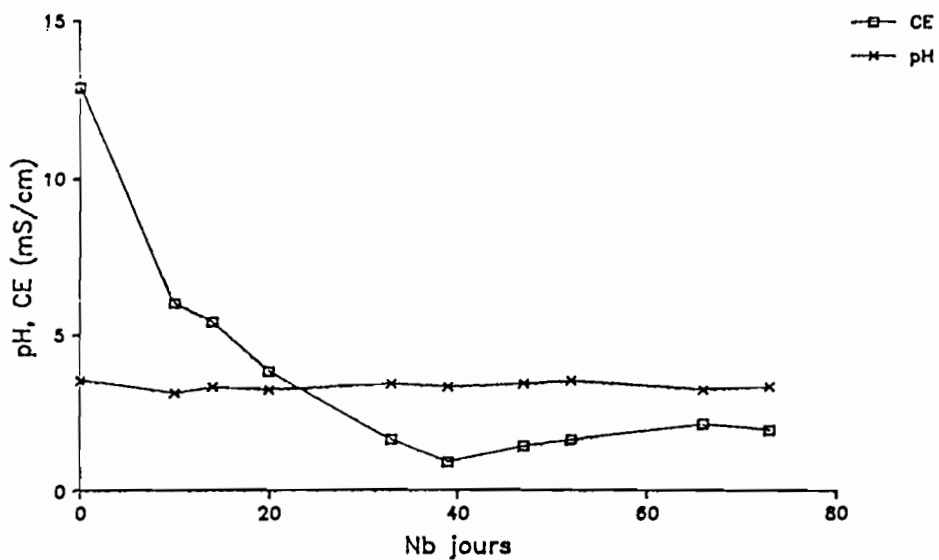
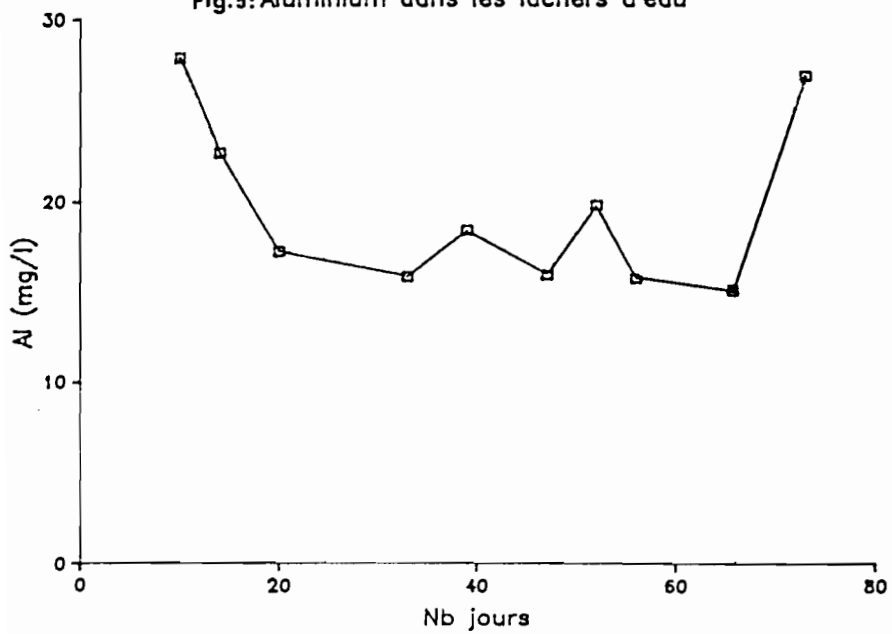


Fig.5: Aluminium dans les lâchers d'eau



REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

BARRAGE - ECLUSE DE GUIDEL
HISTORIQUE ET PROBLEMATIQUE DE GESTION

Par Boubacar BARRY (Hydraulicien)

Communication aux IIèmes Journées de l'eau au SENEGAL
Dakar 8 - 10 Décembre 88 .

PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES BASSINS VERSANTS DES BOLONG
DE BASSE CASAMANCE
CENTRE DE RECHERCHES AGRICOLES DE DJIBELOR

BARRAGE ECLUSE DE GUIDEL

HISTORIQUE ET PROBLEMATIQUE DE GESTION

La sécheresse des quinze (15) dernières années, dans tous les pays du Sahel s'est progressivement installée dans la région sud du Sénégal, se manifestant non seulement par une baisse du total pluviométrique mais surtout par une très mauvaise répartition des pluies dans le temps et dans l'espace.

Les conséquences directes de ce grave phénomène sont les pertes de rizières des terres basses des différentes vallées de Basse Casamance. Ces pertes sont essentiellement causées par l'intrusion en marée haute des eaux salées du Fleuve Casamance à l'intérieur des terres.

Les superficies abandonnées à cause du sel n'ont cessé d'augmenter au fil des années. On estime aujourd'hui à 180.000 ha les superficies occupées par les terres salées de Basse Casamance (Mangroves + Tannes) et à 100.000 ha celles qui pourraient être récupérées à des fins rizicoles.

Parmi les solutions proposées pour la récupération et la mise en valeur des terres salées du domaine fluviomaritime, la construction de barrages et de digues anti-sel sur les différents Bolong a été celle retenue. Ainsi, un vaste programme de réalisation d'ouvrages hydrotechniques a été lancé dès la fin des années 70.

Le Barrage-écluse de Guidel que nous présentons est le premier ouvrage anti-sel construit au Sénégal. Mis en service depuis 1982, il est destiné d'une part à accélérer le processus de désalinitation en saison des pluies et d'autre part à empêcher l'oxydation et l'acidification des sols sulfatés-acides pendant la contre-saison grâce à l'admission d'eau salée du fleuve en marée haute. Le projet d'aménagement de la vallée de Guidel est considéré par le Gouvernement du Sénégal comme un projet-test qui doit précéder et préparer un vaste programme de mise en valeur rizicole de 70.000 ha de terres salées situées dans les lits des Bolong de Bignona, Soungrougrou, Baila et Kamobeul.

I CADRE GEOGRAPHIQUE

Le barrage-écluse est construit sur le marigot de Guidel, un des affluents de la rive gauche du fleuve, soumis comme tous les marigots de la Casamance maritime à l'influence des marées. Il est situé non loin du point de confluence (moins de 4km), près du village de Niaguiss à environ 10km à l'Est de Ziguinchor.

Le bassin versant du marigot de Guidel couvre une superficie totale de 145km² s'étendant entre 12°25' et 12°35' latitude Nord. Les pentes du marigot varient entre 2% et 4%. Le projet d'aménagement de la vallée de Guidel vise à protéger contre le sel et à aménager pour la riziculture 1150ha de terres salées situées en majeure partie sur la rive gauche où la mangrove prend toute son importance.

II PRESENTATION TECHNIQUE ET MODELE D'EXPLOITATION

L'ouvrage de protection contre le sel est constitué d'un barrage-écluse en béton armé, construit dans le lit mineur du bolong et d'une digue semi-circulaire en terre et latérite. Elle mesure 960m de long avec une largeur à la crête de 3m et une hauteur moyenne de 2,75m.

La route reliant Ziguinchor à Kolda traverse tout le lit majeur du bolong

Un système de quatre ouvertures (4) permet à l'eau de circuler soit du fleuve vers l'intérieur des terres, soit dans le sens inverse. Chaque ouverture est équipée vers l'amont d'une vanne glissant verticalement et se manoeuvrant par crics, destinée à assurer la fermeture du barrage; vers l'aval, une porte fonctionnant comme un clapet.

A vannes ouvertes, les portes s'ouvrent automatiquement à marée basse sous la pression des eaux douces du marigot et se referment en marée haute sous la pression des eaux salées en provenance de la Casamance et de la mer.

Les portes peuvent être bloquées en position ouverte, ce qui permet le passage des eaux du fleuve et leur remontée à l'intérieur des rizières en saison sèche. Elles peuvent également être bloquées en position fermée, ce qui permet le stockage des eaux douces dans les rizières en saison des pluies.

Mode d'exploitation pour une bonne gestion en année normale (1500mm)

● Décembre - Avril : Lessivage des sols

Les eaux salées du fleuve passent librement en marée haute et se retirent en marée basse. IL en résulte :
- un lessivage constant des sols ,
- l'élimination de toute acidité des rizières

● Mai - Juin : Labour à sec

Les eaux salées des marées ne passent plus, les vannes étant fermées. On laboure le sol sec des rizières.

● Juillet : Dessalement des sols

Les vannes étant ouvertes, les portes libres s'ouvrent à marée haute et se ferment à marée basse.

- à marée haute, l'eau des pluies accumulée lessive les terres labourées.

- à marée basse, l'eau des rizières ainsi chargée de sel dissout est évacuée vers l'aval.

● Août - Septembre : Repicage du riz

Maintien d'une lame d'eau douce dans les rizières. Il n'y a plus d'eau salée dans le fleuve. Les vannes sont alors ouvertes et les portes libres.

- à marée basse, l'eau des rizières excédentaires est évacuée et le niveau d'eau dans les rizières ainsi abaissé.

- à marée haute, le niveau d'eau douce dans les rizières se reconstitue ; les portes se referment.

● Octobre - Novembre : Culture et Stockage d'eau douce

Les vannes étant fermées, l'eau douce est stockée (pluies). En cas de pluies exceptionnelles, le trop plein d'eau douce nuisible aux cultures est évacué après ouverture.

III RESULTATS DU SUIVI HYDROAGRICOLE

les principaux résultats présentés dans cette communication se réfèrent essentiellement à l'étude des paramètres du cycle de l'eau et des sols aux cours des trois (3) premières années de mise en service du barrage-écluse.

1. Précipitations: figure n°1.

L'analyse des données pluviométriques montre que les hivernages 83, 84, et 85 ont été déficitaires par rapport à l'année normale qui a servi au calcul hydraulique de l'ouvrage. Elle a été établie par YVES BRUNET-MORET de l'O.R.S.T.O.M. sur une période de 49 ans allant de 1931 à 1960.

Elle enregistre 1547mm de précipitations réparties de Mai à Novembre. Le déficit pluviométrique s'est traduit non seulement par un retrécissement de la durée de l'hivernage (72j en 83; 92j en 84; 78j en 85) mais aussi, par une forte baisse des quantités de pluies tombées. Au poste de Ziguinchor, le déficit enregistré était de 48% en 83; 20% en 84; 16% en 85. En amont du barrage où 5 postes ont été installés, le déficit moyen est sensiblement plus élevé (50% en 83; 35% en 84; 20% en 85).

2. Eaux de surface: figure n°2.

Le suivi des eaux de surface a concerné d'une part l'aspect quantitatif (volumes stockés admis ou évacués après chaque manipulation des vannes du barrage) et d'autre part celui qualitatif (pH, salinité, sels minéraux). Les résultats obtenus sont comparés avec ceux du Bolong de Sindone considéré

comme point zéro. C'est un affluent primaire situé comme le Bolong de Guidel sur la rive gauche; il a un régime d'écoulement libre.

Le suivi des eaux de la retenue a permis de tirer les enseignements suivants:

La salinité des eaux chute considérablement au cours de l'hivernage. Cette baisse est d'autant plus importante que l'hivernage est pluvieux et les opérations de vidange plus fréquentes.

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

- Une stratification des eaux de la retenue d'autant plus importante que la profondeur du chenal est grande.

- Lors d'hivernages favorables (1985), la salinité des eaux de la retenue chute suffisamment au point qu'elles deviennent bonnes pour l'irrigation 4g/litre. Cependant, la variabilité signalée auparavant, oblige à la prudence et à de fréquents contrôles.

- Le bilan hydrosalin (entrée d'eau salée en saison sèche - lacher d'eau en saison des pluies) montre une nette évacuation d'importantes quantités de sel. La plupart du sel évacué (300.000 tonnes en 83; 200.000 tonnes en 84; 150.000 tonnes en 85) vient de l'eau du marigot mais aussi, en partie des sels du sol remontant en surface par ascension capillaire.

Il n'est donc pas exclu que le Barrage de Guidel occasionne à long terme une limitation significative de la salure de la zone protégée.

- Le niveau de salinité en amont du barrage redevient équivalent à celui de l'aval en fin de saison sèche. Ce phénomène a pour cause, l'évaporation relativement importante durant cette période de l'année.

3. Eaux de nappe superficielle: figure n°3

Les résultats du suivi de la qualité des eaux et de la profondeur du toit de attestent que la nappe représente un facteur limitant quant au développement de la riziculture salée en amont du barrage-écluse.

- La salinité des eaux de nappe reste généralement à un niveau intolérable pour le riz, surtout au moment du repiquage où elle est affleurante ou très proche de la surface du sol. Aussi à l'absence de drainage, toute riziculture est gravement menacée.

- La pente piézométrique est faible dans la vallée. Elle est très proche de la pente du terrain. Le toit est orienté vers le marigot; il réagit très rapidement aux opérations effectuées au niveau du barrage.

4. Les sols: figure n°4

L'acidification des sols a effectivement pu être évitée dans la plaine amont 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.

Les niveaux de salinité sont restés au cours des différents hivernages relativement élevés, interdisant la pratique de la riziculture traditionnelle. Cependant, dans les parcelles aménagées en amont, dans le casier de Soukouta (réseau de drains et labour en billon), la salinité a atteint des niveaux acceptables pour le riz repiqué. Toutefois, la moindre interruption des pluies, pendant quelques jours, a aussitôt occasionné une rapide remontée des sels dans le profil, provoquant une forte mortalité des plants de riz.

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 sulfaté-acide.

On peut affirmer que le facteur limitant en amont du Barrage de Guidel n'est pas à l'heure actuelle le risque d'acidification mais plutôt l'hypersalinité des eaux de nappe et des sols.

CONCLUSIONS

Les premiers résultats du suivi hydroagricole du Barrage - écluse de Guidel ont permis d'apporter un certain nombre de modifications dans le modèle de gestion des vannes et de proposer un système d'aménagement pour la récupération et la mise en valeur rizicole des sols salés. C'est ainsi que dès l'hivernage 84, les opérations de vidange de la retenue se font par une ouverture partielle des vannes. Cette méthode présente l'avantage d'éliminer en premier lieu les couches profondes qui sont les plus salées.

Etant donné les faibles risques d'oxydation et d'acidification des sols en amont, les intrusions d'eau salée du fleuve ne sont admises généralement qu'à la fin de la saison sèche. En effet, à cette période de l'année, l'équilibre du point de vue salinité est atteint entre la partie amont et celle aval.

L'aménagement des sols salés en amont du barrage, doit être réalisé de façon à permettre d'une part le rabattement de la nappe salée au début de l'hivernage et d'autre part, l'utilisation des eaux du bolong pour une irrigation complémentaire dès le mois d'Octobre. Le système d'aménagement proposé se base essentiellement sur la poldérisation des casiers à mettre en valeur. A l'intérieur des polders, les parcelles seront endiguées et drainées sur les quatre côtés grâce à un réseau à ciel ouvert. L'évacuation des eaux de drainage se ferait par pompage de même que l'admission d'eau douce pour l'irrigation .

QUINCHOR

FL. CASAMANCE

CARTE DE SITUATION

ECHELLE : 1/50,000

NIAGUIS

BARRAGE

NORD



BOULOMP

SOUKOUTA

CHANTIER
SOUKOUTA I

BARAKA BOUNAO

GUIDEL

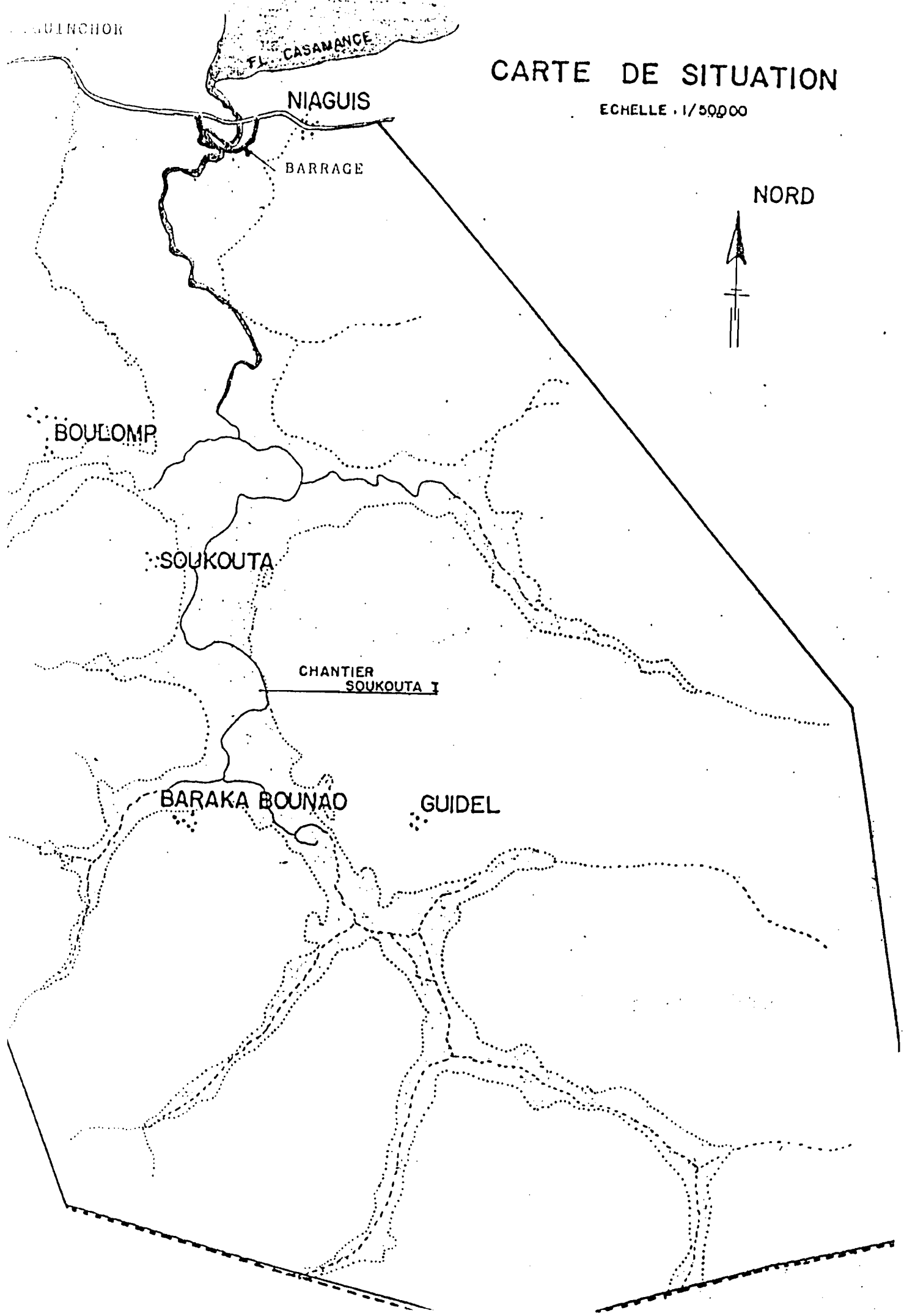


Fig.n°2

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

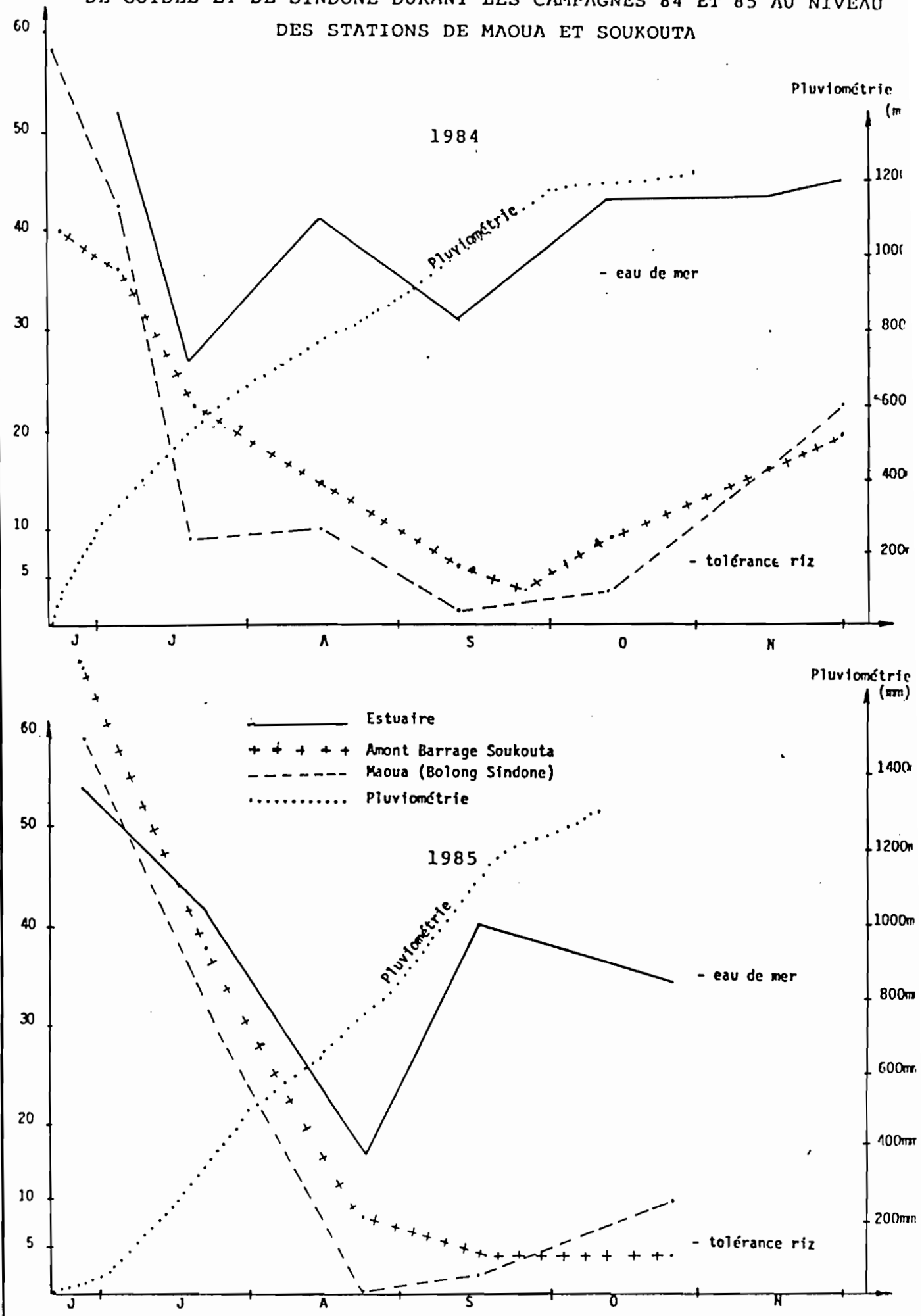


Fig. n°3

ETUDE COMPARATIVE DE LA NAPPE PHREATIQUE DURANT
 LES CAMPAGNES 83-84-85
 PIEZOMETRE SOUKOUTA 7 BLOC V PARCELLE 15

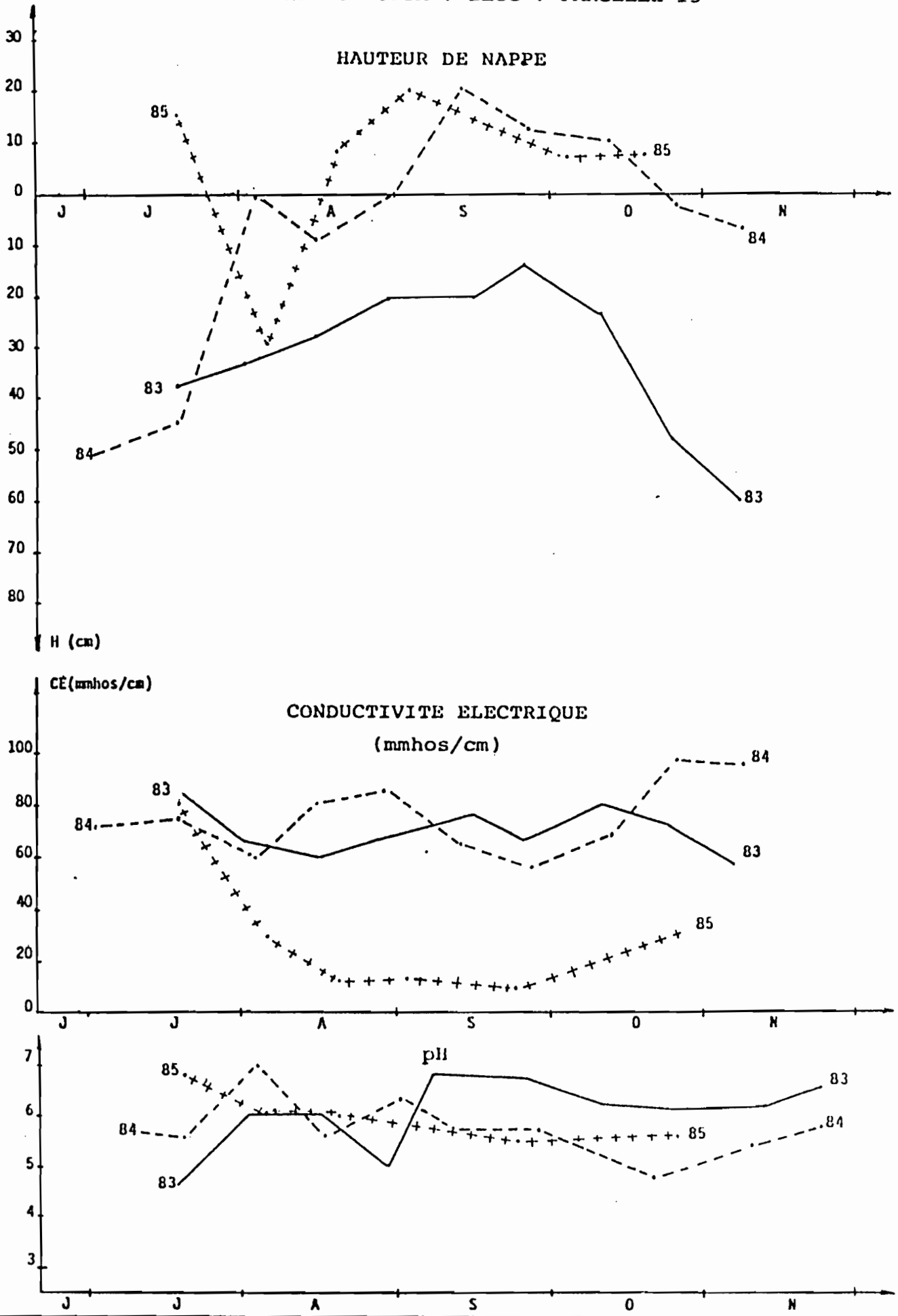
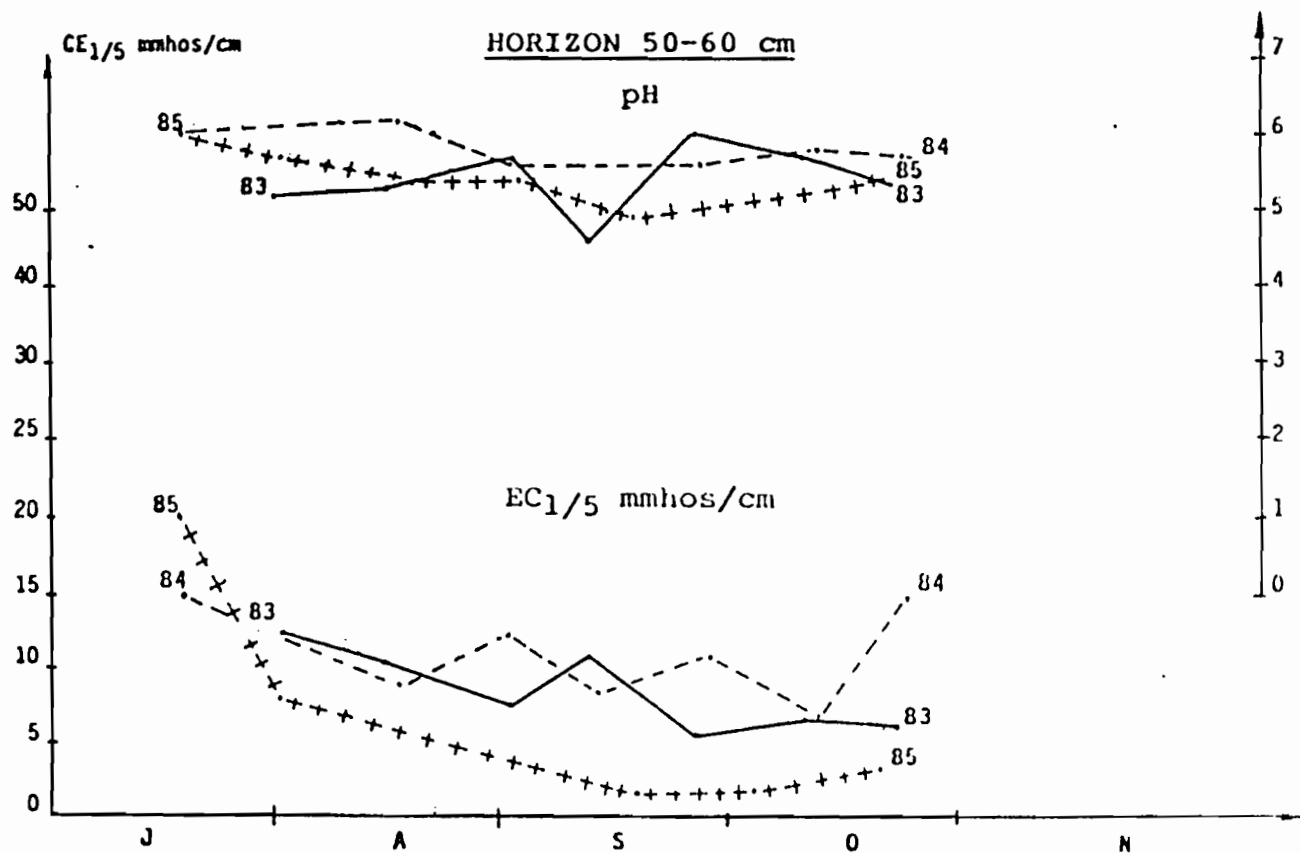
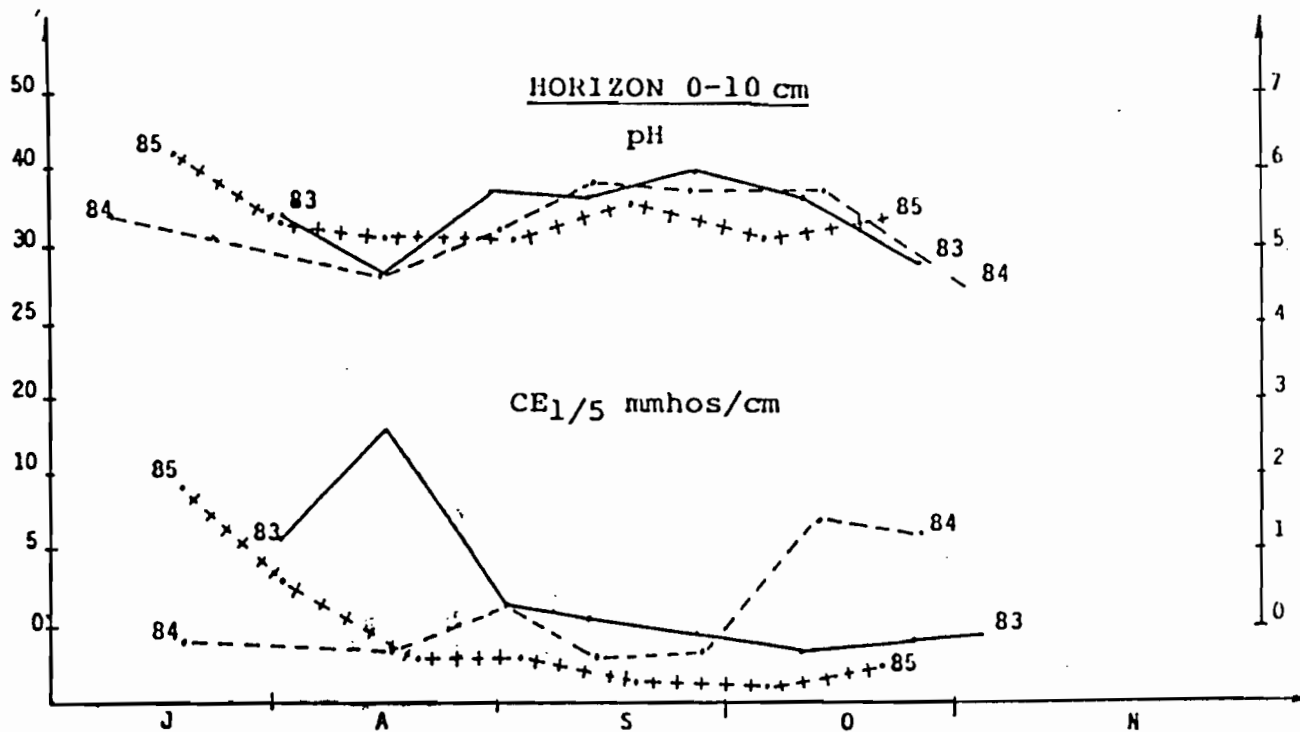


Fig.n°4

ETUDE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DU pH ET DE LA SALINITE DES SOLS DURANT LES CAMPAGNES 83-84-85
BLOC V PARCELLE 15



BIBLIOGRAPHIE

- BARRY, B. & POSNER, J.L. (1985) - Suivi de la zone salée IIème Table
Ronde sur les Barrages Anti-Sel Djibélor 12-15 JUIN 85.
- BARRY, B. & POSNER, J.L. (1986) - Bilan de trois années de suivis
hydroagricoles du Barrage-écluse de Guidel IIIème
Symposium International sur les Sols Sulfatés-Acides
Dakar 6-11 JANVIER 86
- BARRY, B. & POSNER, J.L. (1986) - Effets de la Technique de préparation
mécanique du sol et des Systèmes d'aménagement sur un
sol de Tanne. IIIème Symposium International sur les
Sols Sulfatés-Acides. Dakar 6-11 JANVIER 86.
- BARRY, B. (1986) Situation des Aménagements Hydroagricoles de Basse
Casamance Séminaire D.S.A./ C.I.R.A.D.Montpellier
DECEMBRE 86.
- BOIVIN, P. & BARRY, B. (1987) Sécheresse et évolution des conditions
d'aménagement des zones fluvio-marines de Basse
Casamance. Multig. ORSTOM Dakar.
- BRUNET-MORET, Y. (1970) Etudes hydrologiques en Casamance Rapport définitif
Multig. ORSTOM Dakar.
- MARIUS, C. & CHEVAL, M. (1983) Carte pédologique de la vallée de Guidel
ORSTOM/DER Dakar.

IMPACT D'UN BARRAGE ANTI-SEL SUR LA DYNAMIQUE
DE LA NAPPE SUPERFICIELLE D'UN BAS-FOND

Communication aux deuxièmes journées de l'eau au Sénégal
"EAU ET DEVELOPPEMENT"
(8-10 Décembre 1988)

B. DIAWARA (*), B. BARRY (**),
P. BOIVIN, J.P. MONTOROI, J. TOUMA, P. ZANTE (***).

- (*) Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
(**) ISRA, Djibelor.
(***) ORSTOM, Dakar.

RESUME

L'étude de la nappe superficielle d'une vallée aménagée fournit des informations intéressantes sur son évolution chimique et sur ses mouvements.

Ces derniers sont responsables de l'entrée d'eau salée en amont du barrage anti-sel, limitant quelque peu son efficacité.

La connaissance de la perméabilité des formations alluviales est précieuse pour améliorer le dessalement des terres et mieux optimiser la gestion hydraulique du barrage. Des études complémentaires sont néanmoins nécessaires en vue d'une modélisation des phénomènes.

INTRODUCTION

Le Gouvernement sénégalais a mis en oeuvre une politique d'aménagement des bas-fonds rizicoles de Casamance, axée notamment sur la construction de petits ouvrages hydro-agricoles: les barrages anti-sels.

Les objectifs assignés sont les suivants:

- arrêter l'invasion des têtes de vallées par les eaux marines sursalées préservant ainsi les terres amont contre une dégradation plus dramatique,
- retenir les eaux pluviales actuellement déficitaires et les réguler en favorisant la riziculture inondée,
- sécuriser les récoltes,
- assurer le désenclavement des villages,
- réhabiliter les parcelles rizicoles dégradées par salinisation et acidification (BARRY, 1986).

Le coût relativement modique et la participation des villageois eux-mêmes aux travaux ont permis, depuis les cinq dernières années, la réalisation d'une trentaine d'ouvrages en basse et moyenne Casamance sous la houlette du PIDAC et des ONG (*).

Si ce mode d'aménagement connaît un engouement certain auprès des populations, il n'en demeure pas moins qu'il reste un certain nombre d'interrogations concernant la gestion de l'ouvrage, notamment durant la saison des pluies (USAID/SOMIVAC/ISRA, 1985).

Des études détaillées s'avèrent nécessaires pour améliorer notre connaissance du milieu, en particulier lorsqu'il s'agit de comprendre comment circulent les eaux de nappe et comment évoluent leur qualité en période sèche.

Le bas-fond aménagé de Katouré, situé à une dizaine de kilomètres au sud de Ziguinchor, fait l'objet de telles recherches menées conjointement par les chercheurs de l'ISRA et de l'ORSTOM. Dans le cadre de son travail universitaire en hydrogéologie, B. DIAWARA (1988) a apporté sa contribution en s'intéressant à la détermination de la perméabilité de ces formations alluviales. Cette étude a permis de dégager les premiers enseignements à propos du rôle que joue la digue, associée au barrage anti-sel, sur la circulation des eaux salées dans la vallée.

(*) Projet Intégré de Développement Agricole de la Casamance et Organismes Non Gouvernementaux.

HISTORIQUE DES TRAVAUX

Le bas-fond de Katouré appartient au bassin versant du Kamoboeul bolon, affluent principal de la rive gauche du fleuve Casamance (fig. 1). La superficie de ce bassin est d'environ 700 km², dont une bonne partie est occupée par des sols d'origine fluvio-marine (210 km²).

La vallée fluvio-marine du Kamoboeul a fait l'objet de plusieurs études (GERCA, 1963; ILACO, 1967) montrant la possibilité de développer la riziculture en y aménageant un barrage-écluse anti-sel.

Une étude générale des différentes composantes du milieu a été effectuée (groupement BCEOM/IRAT, 1980), en particulier dans la vallée de Nyassia et de Toubakouta, qui prolonge celle de Katouré. L'objectif est de mettre en valeur les sols de mangrove et de tannes, zones peu exploitées et peu soumises à des contraintes foncières. L'emplacement le plus favorable pour un barrage-écluse a été définie, sa construction n'étant pas encore réalisée à l'heure actuelle (Compte rendu table ronde, 1980).

Face à la situation catastrophique engendrée par les années sèches du début de la décennie actuelle, les villageois de Katouré ont décidé, avec l'appui du PIDAC, de barrer l'entrée des eaux marines en utilisant une ancienne piste pour la construction d'une digue en terre et d'un petit ouvrage en béton. Ce barrage anti-sel a été achevé en 1983 et mis en eau durant l'hivernage 1984.

Ce site est représentatif du bassin versant du Kamoboeul, du point de vue pédologique et hydrologique. Un programme de recherche scientifique a été élaboré, conjointement par l'ISRA et l'ORSTOM. Il bénéficie du financement de l'Action Thématique Programmée CNRS/INRA/ORSTOM/CIRAD: "Influence des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux des sols". C'est dans ce cadre que s'est effectuée l'étude détaillée des transferts hydriques dans la zone saturée.

LE CADRE NATUREL

Les conséquences sur le milieu de la récente sécheresse ont été largement décrites (ISRA/CRODT, 1986; ISRA/ORSTOM, 1988; LE PRIOL, 1983; MARIUS, 1985). Nous mentionnerons seulement les principaux faits: abaissement du niveau de la nappe superficielle; acidification des sols de mangrove et sursalure des eaux de surface; disparition de la mangrove et perte de terres rizicultivées.

Le déficit pluviométrique persiste à l'heure actuelle, bien que certaines années soient meilleures (1984, 85 et 88). Cependant, les totaux annuels de ces dernières, à Ziguinchor, restent toujours inférieurs à la moyenne 1931-88 (1408 mm) ou à la normale 1931-1985 (1424 mm).

D'un point de vue hydrogéologique, la nappe superficielle des formations du Continental Terminal affleure au niveau des bas-fonds. Elle est directement influencée par les eaux sursalées des bolongs.

Les sols de la vallée sont constitués par des dépôts sableux plus ou moins acidifiés et recouverts par une couche argileuse discontinue d'épaisseur variable. Les abords du marigot sont fortement salinisés.

METHODOLOGIE

En amont et en aval de la digue anti-sel, une partie de la vallée de Katouré est équipée d'un réseau piézométrique, comprenant une certaine de tubes pvc, crépinés sur le dernier mètre.

Des techniques hydrogéologiques ont été mises en oeuvre pour la détermination de la perméabilité du matériau, à la base de chaque piézomètre. La méthode de l'essai d'absorption, variante de l'essai "Le Franc" a été employée sur l'ensemble du réseau, tandis que la méthode du "slug test" ou du choc hydraulique n'a été testée que sur un lot plus limité de sites.

Ces techniques présentent plusieurs avantages: modicité de l'investissement; rapidité dans l'exploitation des données.

* Essai d'absorption

L'expérimentation consiste à produire une différence de charge, soit par pompage, soit par injection, dans un tubage de dimension connue et préalablement crépiné à la base. Cette zone d'écoulement doit se situer impérativement dans la zone saturée.

Au niveau de chaque piézomètre du réseau, un trou de tarière de 3 m de profondeur est creusé et est rempli par un tube pvc de 8 cm de diamètre et crépiné sur un mètre. Après stabilisation du niveau statique de la nappe, nous injectons de l'eau de façon à remplir le tube et à atteindre un régime d'écoulement permanent. Une fois celui-ci obtenu, l'alimentation est coupée et nous suivons le tarissement dans le tubage au cours du temps, jusqu'à l'équilibre hydrostatique.

Théoriquement, cette courbe est une exponentielle amortie (CASSAN, 1980). La pente de la droite $-\log(z/h) = at + b$, où z représente, au temps t , la hauteur d'eau au dessus du niveau statique et h la hauteur d'eau initiale après arrêt de l'alimentation), est directement proportionnelle à la valeur recherchée de la perméabilité (fig. 2).

* "slug test" ou choc hydraulique

Cette méthode est simple à réaliser sur le terrain et est bien adaptée à la détermination des paramètres hydrodynamiques des aquifères faiblement perméables, en particulier leur transmissivité.

L'essai consiste à suivre, dans un tube, la descente du niveau d'eau H en fonction du temps, après avoir provoqué une brusque variation de ce niveau à l'aide d'un barreau plein.

Le principe et le traitement des données sont décrits par PETIT et VAUBOURG (1982). Il s'agit de tracer la courbe $H/H_0 = f(t)$ en coordonnées semi-logarithmiques et de la comparer à un réseau de courbes types exprimées en variables adimensionnelles de la forme (COOPER et al, 1967, 1973):

$$H/H_0 = f(\alpha, \beta) \text{ avec } \alpha = S \cdot R_p^2 / R_c^2 \text{ et } \beta = T \cdot t / R_c^2$$

H_0 représente le niveau d'eau initial après immersion du barreau,

R_p et R_c sont les rayons du forage respectivement au niveau de la couche aquifère et du plan d'eau libre (en mètres: dans notre étude $R_p = R_c$),

T et S sont respectivement la transmissivité (en m^2/s) et le coefficient d'emmagasinement (sans dimension) de l'aquifère,

t est le temps écoulé lorsque le niveau d'eau est à la cote H .

La superposition de la courbe expérimentale à une des courbes types fournit les valeurs α et β qui permettent de déterminer S et T . On estime qu'il faut atteindre $H/H_0 = 0.3$ pour effectuer une détermination satisfaisante. En toute rigueur, cette méthode nécessite que le forage traverse la totalité de la profondeur de l'aquifère. Notons que l'interprétation de ce type d'essai est plutôt délicate, notamment pour les faibles valeurs du coefficient d'emmagasinement (PETIT et VAUBOURG, 1982)

Connaissant la puissance b de l'aquifère (considérée, ici comme étant égale à la hauteur du tubage située sous le niveau statique de la nappe), nous déduisons la valeur de la perméabilité du matériau au voisinage du tubage, par l'expression suivante: K (cm/s) = T (cm²/s) / b (cm).

Ce type d'essai suppose plusieurs hypothèses au départ: aquifère homogène, isotrope, d'épaisseur constante, d'extension latérale illimitée. Elles sont en partie remplies dans notre cas.

RESULTATS

Les valeurs de perméabilité, obtenues par le test d'absorption (fig. 3), montrent une forte variabilité spatiale, de type aléatoire. Elles sont comprises entre 10^{-4} et 10^{-6} cm/s.

La variabilité texturale des dépôts alluviaux pourrait être à l'origine de cette hétérogénéité de la perméabilité. Une étude complémentaire de la granulométrie des sables est en cours.

Les résultats, enregistrés par la méthode du "slug test", confirment les ordres de grandeur, mais seulement sur un nombre limité de piézomètres. En effet, cette méthode s'est révélée, dans l'ensemble, inopérante et peu adaptée aux formations de la vallée.

Des mesures de drainabilité, effectuées sur des sols similaires par la méthode dite du "trou de tarière" ou méthode d'ERNST, corroborent également ce fait (BCEOM/IRAT, 1980). La perméabilité est évaluée à 2 m/jour, (écart-type: 1 m/jour), soit environ $2,3 \cdot 10^{-5}$ cm/s (écart-type: $1,2 \cdot 10^{-5}$ cm/s).

Les cartes piézométriques (fig. 4), à différentes dates, indiquent qu'il existe, durant la saison sèche, un écoulement souterrain d'eau chargée, de l'aval vers l'amont. Cette circulation s'opère vers les zones dépressionnaires, créant des poches de salinité.

CONCLUSION

Ce type d'aménagement a une fonction anti-sel uniquement pour les eaux de surface. Il n'empêche nullement l'intrusion des eaux salées profondes en saison sèche. Cette constatation limite sensiblement l'efficacité de l'ouvrage en ce domaine. Il importe, cependant, de nuancer ce propos, car, si cette salinisation par la nappe et par l'évaporation est effective, elle n'intéresse que la zone située immédiatement en amont du barrage. C'est pourquoi, il sera préférable de ne pas bâtir ces ouvrages trop en amont des vallées pour éviter ce type de contamination.

Les autres rôles assignés à ces barrages sont pleinement remplis, notamment en ce qui concerne le stockage des eaux de pluies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRY B., 1986.
Situations des aménagements hydro-agricoles des terres salées de basse Casamance. IIIème séminaire sur les aménagements hydro-agricoles et systèmes de production, 16-19 Décembre 1986, Montpellier.
- BCEOM/IRAT, 1980.
Etude économique et technique du barrage du Kamomboeul. Ministère Equipement Rural.
- CASSAN M., 1980.
Les essais d'eau dans la reconnaissance des sols. Ed. Eyrolles.
- COOPER H.H., BREDEHOEFT J.D., PAPADOPOULOS I.S., 1967.
Response of a finite diameter well to an instantaneous charge of water. Water Res. Research, vol. 3, 1, 263-269.
- COOPER H.H., BREDEHOEFT J.D., PAPADOPOULOS I.S., 1973.
On the analysis of "slug test" data. Water Res. Research. vol. 9, 4, 1087-1089.
- DIAWARA B., 1988.
Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe des formations fluvio-marines du bolong de Katouré. D.E.A. Géol. Appliquée, UCAD, Dakar.
- GERCA, 1963.
Les sols de la vallée de Nyassia et de Guidel. Aménagements hydro-agricoles en Casamance. Rapports..
- ILACO, 1967.
Aménagements hydro-agricoles en Casamance. Rapport de gestion des casiers de Médina et de Ndieb (1965-1967).
- ISRA/ORSTOM, 1988.
Mise en valeur des mangroves au Sénégal. Rapport final. C.C.E., Contrat T.S.D. A 104 (MR).
- ISRA/CRODT, 1986.
Actes du séminaire "L'estuaire de la Casamance: environnement, pêche, socio-économie". 19-24 juin 1986, Ziguinchor.
- LE PRIOL J., 1983.
Synthèse hydrogéologique du bassin sédimentaire casamançais. Ministère de l'Hydraulique, Dakar.

MARIUS C., 1985.

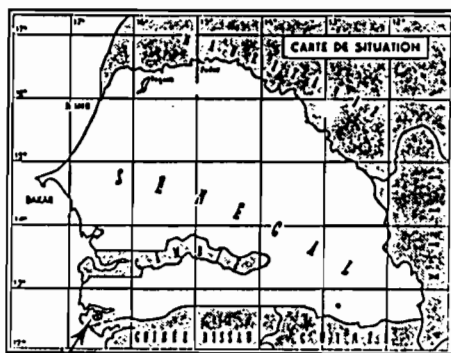
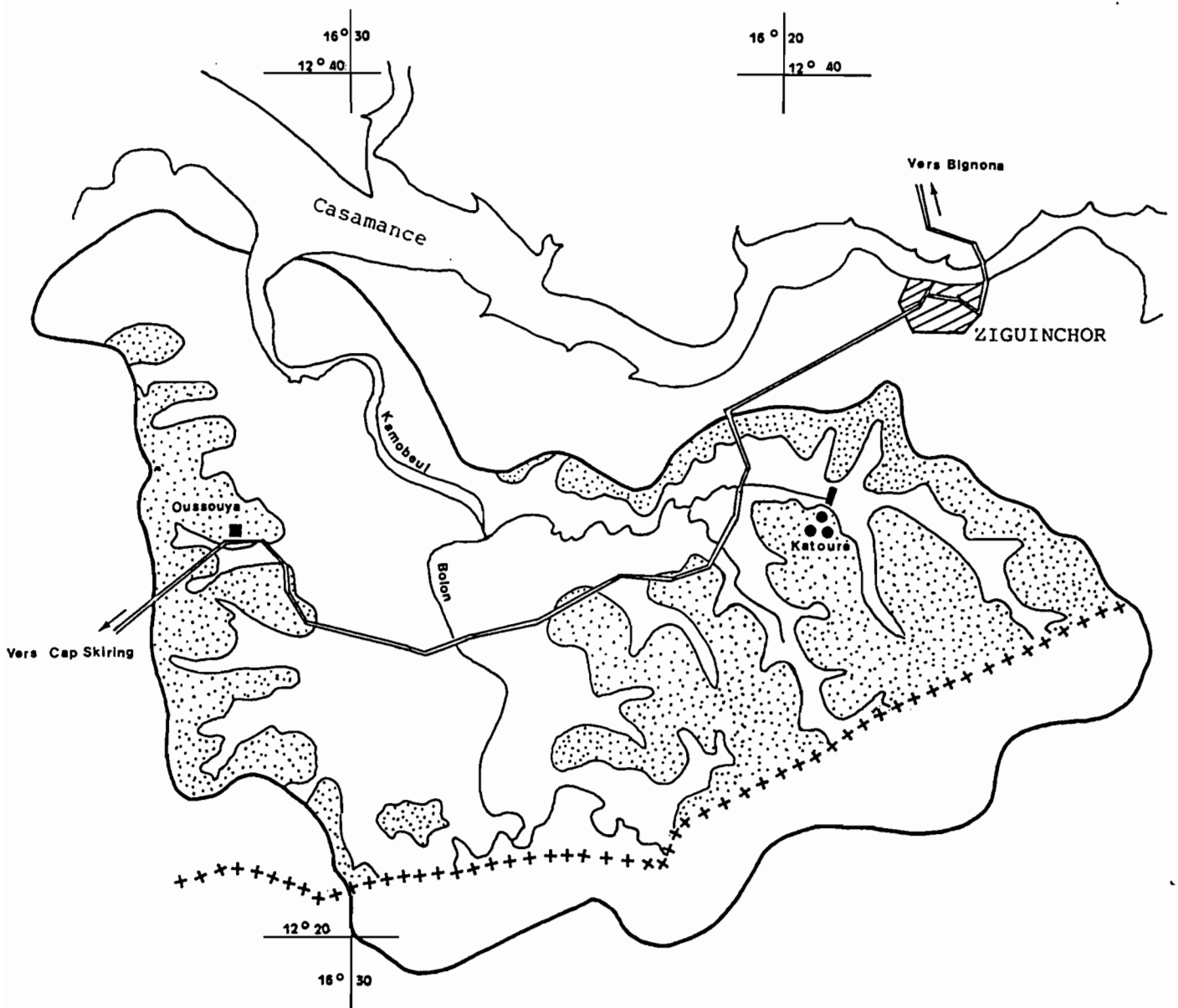
Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie, Pédologie, Géochimie, Mise en valeur et aménagement. Trav. et Doc. ORSTOM, 193.

PETIT V., VAUBOURG P., 1982.

Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des milieux aquifères peu perméables. Slug test et pulse test. Rapport BRGM, 82 SGN 943 EAU.

USAID/SOMIVAC/ISRA, 1985.

Actes de la IIème Table Ronde sur les barrages anti-sel, 12-15 juin 1985, Ziguinchor.



KAMOBÉUL BOLON

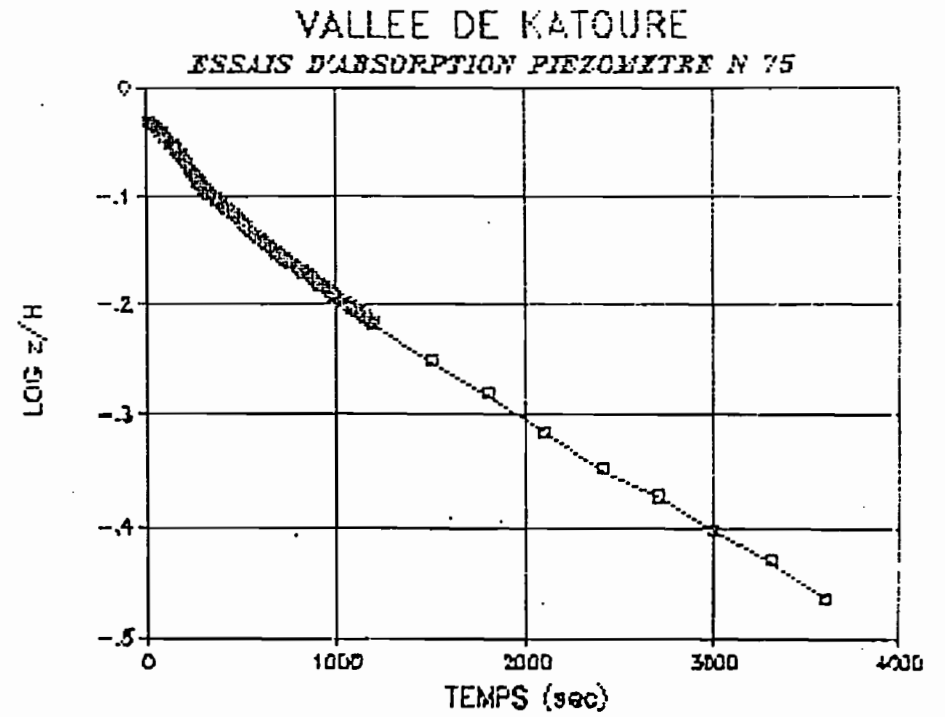
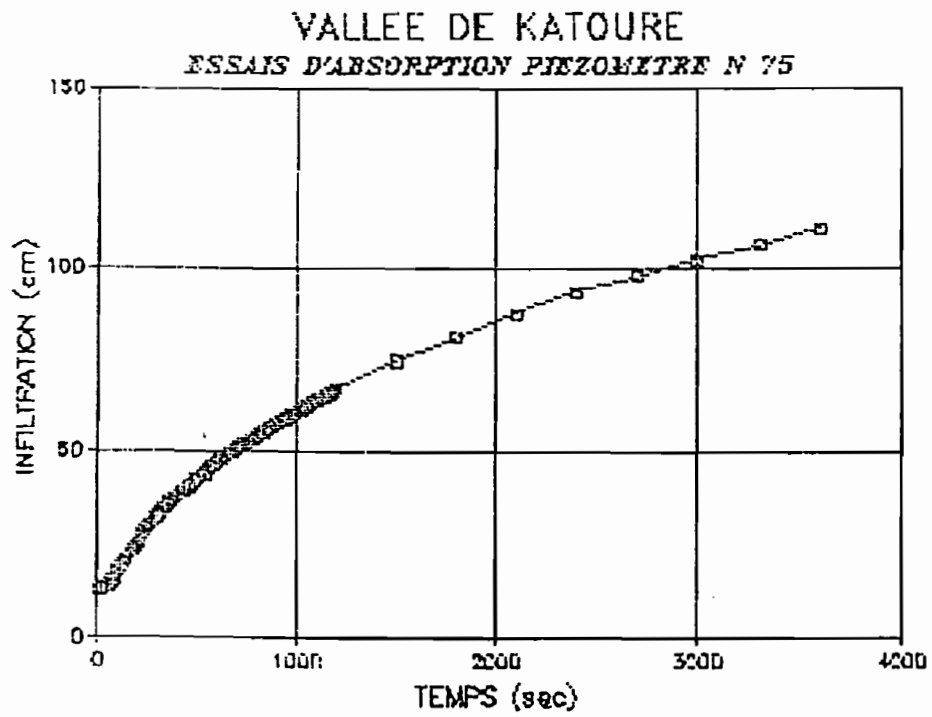
- ~ Limite du bassin versant
- == Route bitumée
- +++ Frontière avec la Guinée-Bissau
- / Barrage anti-sel
- ▨ Plateaux sur continental terminal

Echelle:



Fig. 1: CARTE DE SITUATION: BASSIN VERSANT DU KAMOBÉUL BOLON

Fig. 2. Essai d'absorption (d'après DIAWARA, 1988)



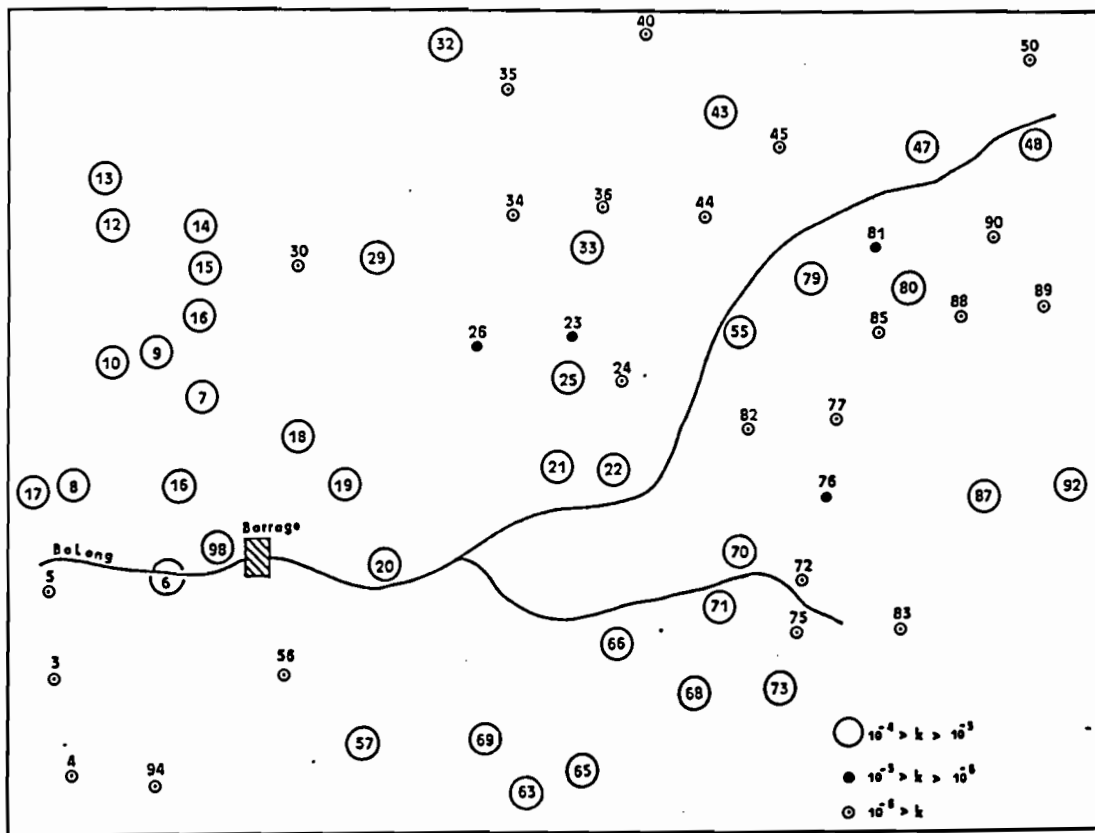
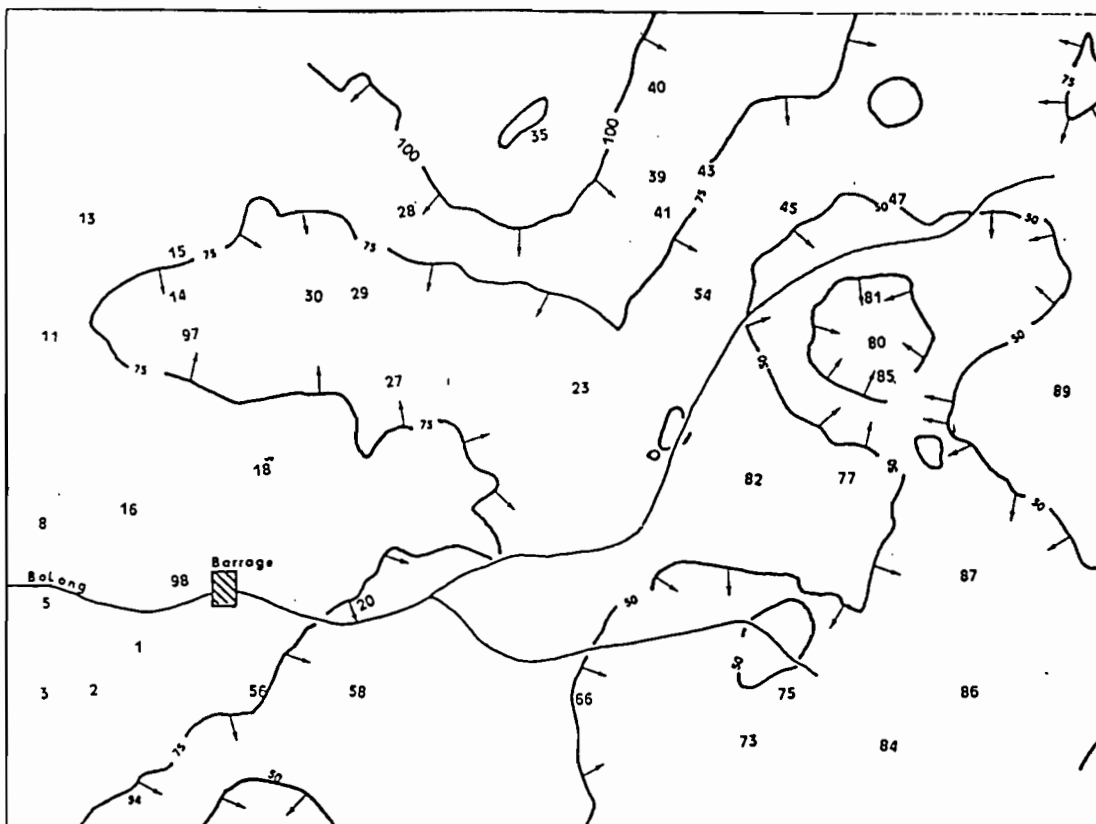


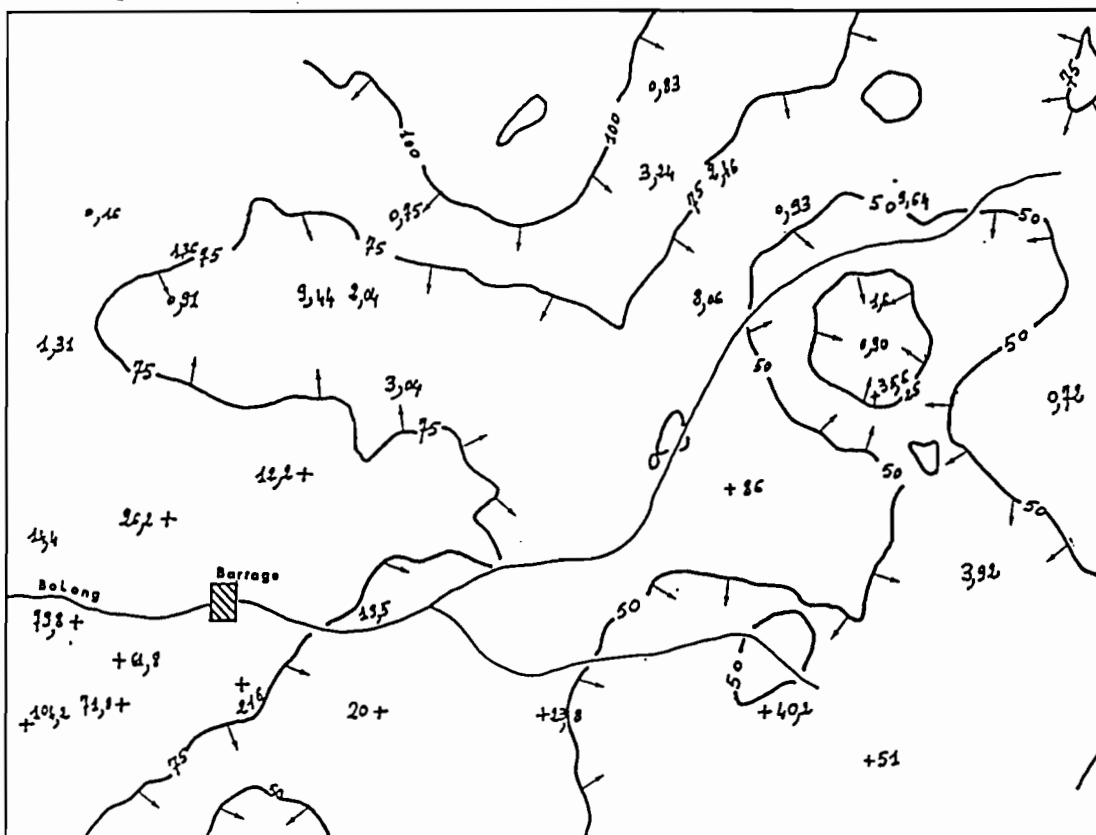
Fig. 3. Perméabilité de l'aquifère (essais absorption, en cm/S) -
 Bas-fond de Katouré (d'après DIAWARA, 1988).

56 n° piézomètre



16 n° piézomètre

Echelle: 1:33 m



+ Conductivité électrique > 10 mS/cm

Echelle: 1:33 m

Fig. 4. Carte piézométrique et salinité de la nappe (10/2/87) -
Bas-fond de Katouré (d'après DIAWARA, 1988)