



Mémoire Présenté
par : MAME DAGOU
DIOP

Université Cheikh Anta
Diop
Faculté des Lettres et
Sciences Humaines
Département de Géographie

GESTION QUALITATIVE DES EAUX DANS
LE DELTA DU FLEUVE
SENEGAL: PROBLÉMATIQUE ET ESSAI DE
MODÉLISATION

Août 1996

20 NOV. 1996

17.05.05

DIO
9434

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
Faculté des Lettres et Sciences Humaines
Département de Géographie



**GESTION QUALITATIVE DES EAUX DANS LE DELTA DU FLEUVE
SENEGAL : PROBLÉMATIQUE ET ESSAI DE MODÉLISATION**

Mémoire présenté par

MAME DAGOU DIOP

Pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies de géographie (D.E.A)

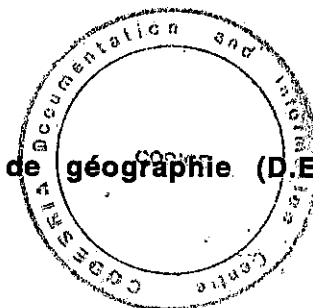
sous la direction de :

E.S. DIOP

Professeur titulaire au département
de Géographie -UCAD

F.X. COGELS

Chargé de recherches au laboratoire
de géochimie de l'ORSTOM Hann



Août 1996

AVEC L'APPUI FINANCIER ET SCIENTIFIQUE DU CODESRIA ET DE L'ORSTOM

17.05.05
DIO
9434

Mémoire de DEA , option hydrologie
Département de Géographie, univ. C.A.DIOP

présenté par

Melle Mame Dagou Diop

Justification de l'étude et objectif

La qualité de l'eau a toujours été un sujet de préoccupation majeure dans la région du delta du fleuve Sénégal. Avant l'aménagement du fleuve par l'O.M.V.S., la remontée du biseau salé entravait le développement socio-économique des populations dont l'essentiel des besoins en eau est assuré par le fleuve. La construction des barrages a permis l'amélioration des ressources en eaux suite à leur adoucissement et à la régularisation des débits. Cependant, le problème de la qualité des eaux demeure avec le développement de l'agriculture irriguée et la pression démographique autour du fleuve. Les rejets directs dans le milieu aquatique d'eaux de drainage des cultures accroît les risques de contamination chimique. L'insuffisance des infrastructures d'assainissement et d'adduction d'eau potable pour une population de plus en plus croissante participe à la contamination bactériologique des eaux. L'une des conséquences est l'augmentation de la prévalence des maladies à transmission hydrique (+ de 75% de prévalence pour la bilharziose). Dès lors la gestion qualitative des eaux redevient une question importante à cause des répercussions de ces phénomènes sur la santé des populations et sur l'écosystème aquatique. Ce problème a conduit les différents partenaires impliqués dans la gestion de l'environnement du delta à chercher les moyens d'atténuer ou de supprimer les effets négatifs des barrages.

Objectifs

L'une des résolutions du séminaire sur l'environnement du delta (juillet 1994) porte sur la nécessité d'élaborer un outil de simulation adapté au milieu et ses contingences. Il devrait permettre de comprendre l'état actuel de la qualité des eaux et de suivre son évolution dans le cadre de l'extension de l'agriculture irriguée.

Dans cette perspective s'inscrit ce mémoire de D.E.A qui a pour objectifs

- d'établir un bilan rapide des problèmes liés à la qualité de l'eau dans le delta;
- de concevoir un premier modèle de gestion qualitative des eaux du delta du Sénégal qui intègre les apports fluviaux venus de l'amont, les pompages divers le long des rives, les lâchers au barrage de Diama et les rejets dans le cours d'eau.

Méthodologie

Elle s'articule autour de trois points

- collecte de données sur la base de différents stages et visites menés au niveau des structures agro-industrielles: C.S.S., Saed (Délégation de Dagana), Sonader, Sonelec, parcs du Djoudj et Diawling, Cellule Provisoire de Gestion des Barrages de l'O.M.V.S., barrage de Diama et ferme de Mpourié.
- Le traitement des données est effectué au Laboratoire de géochimie de l'Orstom. Vu l'importance des données et la diversité des paramètres à calculer, nous avons utilisé le tableur Excel.3 qui nous a permis de concevoir le modèle de gestion qualitative. Le traitement de texte et la mise en page ont été faits avec le logiciel Word.4 pour Macintosh.
- La revue bibliographique est effectuée au centre de documentation de l'Isra à Saint-Louis, à l'Orstom Hann et à l'O.M.V.S. de Dakar. Les ouvrages spécialisés (compte rendu de séminaires, rapports etc...), quelques articles de presse, des journaux scientifiques constituent l'essentiel de notre bibliographie.

Résultats

L'intérêt de ce travail réside dans l'élaboration du modèle de gestion qualitative des eaux fluviales qui nous a permis de disposer d'une **banque de données sur la gestion de l'eau** dans le delta et de mettre à la disposition des gestionnaires un **outil de simulation** efficace leur permettant de mieux orienter leur politique de gestion des ressources en eau. En effet, les simulations ont montré l'importance des rejets d'eau de drainage des terres irriguées dans l'évolution de la qualité des eaux entre Dagana et Diama. Pour mieux assainir le fleuve, les efforts devraient surtout s'orienter vers la suppression ou l'épuration des eaux de drainage de la compagnie sucrière à Richard-Toll.

RESUME

Les changements qualitatifs des eaux dans le delta du fleuve Sénégal sont essentiellement dus à l'aménagement du fleuve et aux rejets d'effluents agricoles et domestiques très chargés. Ceci a conduit à une contamination des eaux par les résidus de pesticides et d'engrais, à la salinisation des eaux fluviales ainsi qu'à leur contamination bactériologique.

Dans la perspective d'une gestion intégrée des eaux fluviales, un modèle de gestion qualitative des eaux a été élaboré. Ce modèle testé sur la salinité, nous confirme l'existence d'un gradient qualitatif entre Dagana et Diama, largement dépendant de la localisation et du taux de dilution des rejets d'eau de drainage dans le fleuve. Par ailleurs, la simulation d'options de gestion a permis de mettre en évidence le rôle important que jouent les rejets de la Compagnie sucrière sénégalaise (C.S.S.) dans l'évolution qualitative des eaux fluviales.

Mots clefs: Delta du fleuve Sénégal - qualité des eaux-rejets-contamination-modèle-salinité-simulations.

ABSTRACT

Rejections of farming and domestics effluents in water environment are changed water quality in Senegal river delta. This lead water contamination by pesticides and nitrogen residuum, salinisation and bacteriological contamination.

For an integrated water management, a quality model is elaborated. It appears as a good simulation tool. This model tested in salinity, shows the existence of gradient quality between Dagana and Diama, mainly depending of water drainage localisation and rate of dilution. Moreover, the simulation of some management options has allowed to inderline the important role act by Senegalese sugar company (C.S.S.) rejections in fluvial water quality evolution.

Key words: Senegal river delta - water quality - rejections - contamination -model salinity - simulation

AVANT PROPOS

La recherche de solutions aux problèmes socio-économiques et écologiques de nos pays contraint de plus en plus la géographie à orienter ses thèmes de spécialisation (hydrologie, biogéographie, climatologie, aménagement du territoire etc...) vers la recherche appliquée. Le thème de notre mémoire de D.E.A. "Gestion qualitative des eaux dans le delta du fleuve Sénégal" s'inscrit dans cette dynamique.

Ce rapport a bénéficié de l'appui financier, scientifique de l'**Orstom** et du **Codesria**. Il constitue, de ce fait, un exemple concret de l'esprit de partenariat dans la recherche développement. Cette recherche en coopération s'est aussi matérialisée sur le terrain où les gestionnaires sénégalais et mauritaniens nous ont aidé dans l'acquisition des données nécessaires à l'élaboration de notre modèle de gestion qualitative.

Nous adressons nos remerciements

- à Monsieur François Xavier COGELS, chargé de recherches au laboratoire de Géochimie de l'Orstom Hann, pour toute sa disponibilité, sa patience sans limite, ses précieux conseils et son aide sur le terrain.

- au professeur Salif DIOP du département de Géographie de l'université Cheikh A. Diop de Dakar. Ses remarques et conseils nous ont permis de rester dans le champ de notre discipline.

Nos vifs remerciements à la direction de l'Orstom et au chef du département de Géographie qui nous ont permis de réaliser notre étude. Que Mr J.Y.GAC et Mr Christophe BRUN respectivement chef du laboratoire de géochimie et de celui de l'informatique (Ulis), tout le personnel et stagiaires trouvent ici notre gratitude pour leur profonde sympathie.

Nous tenons à remercier tous les organismes et personnes qui nous ont aidés dans notre recherche.

Il s'agit à la SAED:

- Monsieur Sidy Moctar Keïta, directeur général de la Saed, qui nous a autorisé à effectuer un stage au sein de ses structures.

- Mr Massogui Guèye, chef de la division gestion de l'eau à la Délégation de Dagana

- Mr Joseph Tedesco, Ingénieur-conseil en irrigation à la Délégation de Dagana

- Mr Pape Demba Bâ, adjoint chef à la division gestion de l'eau à la Délégation de Dagana. Ses explications en électro-mécanique des pompes et son aide sur le terrain nous ont été très précieux.

- Mr Touré délégué adjoint à la Délégation de Dagana

- Mr Abdourahmane Kane informaticien spécialiste en télédétection à la D.P.R.D. de la Saed à Saint-Louis

- Mr Kader Lô, responsable du centre de formation de la Saed à Ross-Béthio pour l'accueil et l'hébergement. Nous n'oublions pas Amédine et Sidate, employés dans ce centre, dont la compagnie m'a permis de garder le moral lors des nuits solitaires à Ross-Béthio.

A la compagnie sucrière sénégalaise (C.S.S.)

- Mr Chavane, directeur général de la C.S.S., qui nous a autorisé à effectuer un stage au sein de ses structures.
- Mr Sène Abdoulaye responsable du service Recherches
- Mr Bèye chef du service Irrigation-Drainage
- Mr Aly Sèye Diop responsable de chantier au service Irrigation-Drainage pour toute l'aide sur le terrain et pour la visite de tout le périmètre sucrier.
- Mr Ndiaye chef du laboratoire pour sa disponibilité ainsi que toutes les analyses comparatives qu'il a bien voulu faire.
- Mr Tall chef de la ferme 2

A l'O.M.V.S.

- Mr Camara à la cellule provisoire de gestion des barrages de l'O.M.V.S. à Rosso-Mauritanie pour toute sa disponibilité et ses recommandations auprès des services de la Sonader et de la Sonelec
- Mr Aziz employé à la cellule provisoire de gestion des barrages de l'O.M.V.S. à Rosso-Mauritanie pour l'hébergement et toute la patience envers nous.
- Mr Sidibé, agronome à l'O.M.V.S. à Dakar, pour ses recommandations en Mauritanie et son entière disponibilité.
- Mrs Dia et Sarr à la Cellule Suivi Evaluation de l'O.M.V.S. à Dakar
- Mr Ouattara à la section Hydrologie, Hydrogéologie et cartographie de l'O.M.V.S. à Dakar
- Mr Loum technicien au barrage de Diama
- Mr Mballo au service Endiguements à l'O.M.V.S. à Dakar

Nous adressons notre profonde gratitude à Monsieur Ahmedou Ould Ohamedena Habiboula directeur régional de la Sonader à Rosso pour toute sa disponibilité. Que monsieur Adama Dramé superviseur de la vulgarisation dans le même service trouve ici mes sincères remerciements pour la visite des périmètres de la Sonader ainsi que ses précieuses explications.

Nous tenons également à remercier:

- Mr Niang chef de l'usine de traitement des eaux de la Sonelec à Rosso
- Mrs Walo Traoré, Bacary Sidibé et Alassane Bâ à la ferme de Mpourié en Mauritanie
- Capitaine Ely, Ibrahima Ben Messaoud et tout l'équipe du parc du Diawling en Mauritanie
- Commandant Sara Diouf responsable de la station biologique du parc du Djoudj
- Mr Seck chef du service régional de l'Hydraulique de Saint-Louis

- Melle Rosalie documentaliste à la bibliothèque de l'Isra de Saint-Louis
- Brigadier Arona au poste frontalier de Rosso-Mauritanie et tous les douaniers du poste de Rosso-Sénégal
- Toute la famille Sow à Richard-Toll pour l'hébergement durant notre séjour
- Melle Ndèye Ngoné Fall pour l'accueil et l'hébergement à l'université de Saint-Louis
- et tous les responsables de station de pompage et drainage qui nous ont aidés dans l'acquisition des données.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

TABLE DES MATIERES

Résumé	2
Avant propos	3
Table des matières	6
Introduction	8
<u>Première partie</u> : Problématique de la qualité des eaux dans le delta du Sénégal	10
<u>Chapitre 1</u> Le cadre géographique de l'étude	11
1-1 Le milieu naturel du delta	11
1-1-1 Le climat	11
1-1-1-1 Les pluies	12
1-1-1-2 Evaporation et évapotranspiration	11
1-1-1-3 Les autres éléments du climat	13
1-1-2 Sols, végétation et faune	13
1-1-3 Les ressources en eau	14
1-1-3-1 Les eaux souterraines	14
1-1-3-2 Les eaux superficielles	15
a°) Réseau hydrographique et infrastructures hydrauliques	15
b°) Evolution du niveau de la réserve de Diama en 1992	18
1-2 Le delta: une zone agro-pastorale en pleine mutation	19
1-2-1 Les données démographiques	19
1-2-2 L'évolution agro-pastorale de la zone	20
<u>Chapitre 2</u> Les problèmes qualitatifs des eaux dans le delta du Sénégal	22
2-1 La pollution fécale: facteur de transmission des maladies hydriques	22
2-2 Les problèmes liés aux rejets d'eau de drainage des cultures	24
2-2-1 La salinisation des eaux superficielles	24
2-2-2 La contamination des eaux par les résidus de pesticides	25
2-2-3 L'eutrophisation	26
2-3 Les contraintes à la gestion qualitative des eaux	27

Deuxième Partie: Essai de modélisation de la gestion qualitative des eaux fluviales du delta du Sénégal	2 9
Chapitre 1 Description du modèle	3 0
1-1 Présentation des données hydrologiques	3 0
1-1-1 Les prélèvements	3 0
1-1-1-1 L'irrigation	3 0
a°) Les périmètres privés et de la Sonader	3 0
b°) Les périmètres anciennement gérés par la Saed	3 2
c°) Les périmètres CSS	3 3
d°) La ferme Mpourié	3 4
1-1-1-2 L'alimentation des défluent	3 4
1-1-1-3 La production d'eau potable	3 5
1-1-2 Les rejets d'eau de drainage des cultures	3 6
1-1-3 Les lâchers au barrage de Diama	3 7
1-1-4 Bilan évaporation-pluviométrie	3 7
1-1-5 Les apports fluviaux	3 8
1-2 Présentation des données de qualité d'eau	3 8
1-3 Calcul des termes du modèle	3 9
Chapitre 2 Test d'application du modèle	4 2
2-1 Bilan hydrologique de la réserve en 1992	4 2
2-2 Simulation de l'évolution de la salinité des eaux entre Dagana et Diama	4 3
2-3 Simulation d'options de gestion	4 6
Conclusion	5 1
Bibliographie	5 3
Annexes	5 5
Liste des sigles, acronymes et abréviations utilisés	5 8
Liste des figures	5 9
Liste des tableaux	6 0
Liste des cartes utilisées	6 0

INTRODUCTION

Avant l'aménagement du fleuve par l'O.M.V.S., le delta et la basse vallée du Sénégal étaient marqués par une remontée saline en période de basses eaux. Les populations riveraines sont les premiers touchés par cette salinisation car l'essentiel des besoins en eau est assuré par le fleuve. Au plan agricole, les paysans sont contraints de faire une culture annuelle puisque l'irrigation n'est possible qu'en période de crue fluviale. On assiste aussi à la réduction des surfaces aménageables avec la salinisation des cuvettes argileuses à grande valeur agricole (cuvette du Djoudj).

La mise en fonction du barrage de Diama en 1986 et de celui de Manantali en 1987 a considérablement amélioré la qualité des eaux de la zone. L'adoucissement permanent des eaux et la régularisation des débits fluviaux permettent le développement de l'agriculture irriguée, avec possibilité d'une double culture annuelle. L'accessibilité aux terres et le développement de périmètres hydro-agricoles ont favorisé l'accroissement de la population autour du fleuve.

Les conséquences de cette double pression, agricole et démographique, sur la qualité de l'eau sont d'abord biologique avec la contamination bactériologique des eaux par les excréments humain et animal. Elles sont ensuite chimique à cause des rejets directs sur le fleuve d'effluents agricoles chargés de résidus d'engrais et de pesticides.

Dès lors la gestion qualitative des eaux redevient une question importante à cause des répercussions de ces phénomènes sur la santé des populations et sur l'écosystème aquatique. Ce problème a conduit les différents partenaires impliqués dans la gestion de l'environnement du delta à chercher les moyens d'atténuer ou de supprimer les effets négatifs des barrages. L'une des résolutions du séminaire sur l'environnement du delta (juillet 1994) porte sur la nécessité d'élaborer un outil de simulation adapté au milieu et ses contingences. Il devrait permettre de comprendre l'état actuel de la qualité des eaux et de suivre son évolution dans le cadre de l'extension de l'agriculture irriguée. Dans cette perspective s'inscrit ce mémoire de D.E.A qui a pour objectifs

- d'établir un bilan rapide des problèmes liés à la qualité de l'eau dans le delta;
- de concevoir un premier modèle de gestion qualitative des eaux du delta du Sénégal qui intègre les apports fluviaux venus de l'amont, les pompages divers le long des rives, les lâchers au barrage de Diama et les rejets dans le cours d'eau.

La méthodologie appliquée s'articule autour de trois points

- collecte de données sur la base de différents stages et visites menés au niveau des structures agro-industrielles: C.S.S., Saed (Délégation de Dagana), Sonader, Sonelec, parcs du Djoudj et Diawling, Cellule Provisoire de Gestion des Barrages de l'O.M.V.S., barrage de Diama et ferme de Mpourié.

La visite des parcelles irriguées et les discussions avec les techniciens agricoles ont permis de compléter notre formation sur les bases techniques de l'irrigation-drainage. Parallèlement nous avons discuté de l'ensemble des problèmes qualitatifs pour mieux orienter notre problématique.

- Le traitement des données est effectué au Laboratoire de géochimie de l'Orstom. Vu l'importance des données et la diversité des paramètres à calculer, nous avons utilisé le tableur Excel.3 qui nous a permis de concevoir le modèle de gestion qualitative. Le traitement de texte et la mise en page ont été faits avec les logiciels Word.4 et Pagemaker pour Macintosh.

- La revue bibliographique est effectuée au centre de documentation de l'Isra à Saint-Louis, à l'Orstom Hann et à l'O.M.V.S. de Dakar. Les études faites par Cogels de 1984 à 1993 et par l'Orstom (programme Equesen) sur le lac de Guiers sont la seule bibliographie disponible sur la qualité de l'eau du delta. L'éventail des problèmes agricoles, fonciers et hydrologiques de l'après barrage, la relative nouveauté des problèmes qualitatifs, et le manque de financement sont les principaux paramètres explicatifs de l'insuffisance des travaux réalisés dans ce domaine. Par contre, les ouvrages qui présentent le milieu naturel et socio-économique du delta sont nombreux. Les ouvrages spécialisés (compte rendu de séminaires, rapports etc...), quelques articles de presse, des journaux scientifiques constituent l'essentiel de notre bibliographie.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

**PREMIERE PARTIE: PROBLEMATIQUE DE LA
QUALITE DES EAUX DANS LE DELTA DU SENEGAL.**

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

1 - 1 - 1 - 1 Les pluies

Durant la saison sèche (novembre à mai), le delta enregistre des pluies de faibles quantités appelées "heug" qui sont généralement concentrées entre les mois de janvier et de mars (Figure.2). Ces pluies participent très faiblement à l'apport pluviométrique (1%) mais elles réduisent l'évaporation en retardant le réchauffement du sol et de l'air.

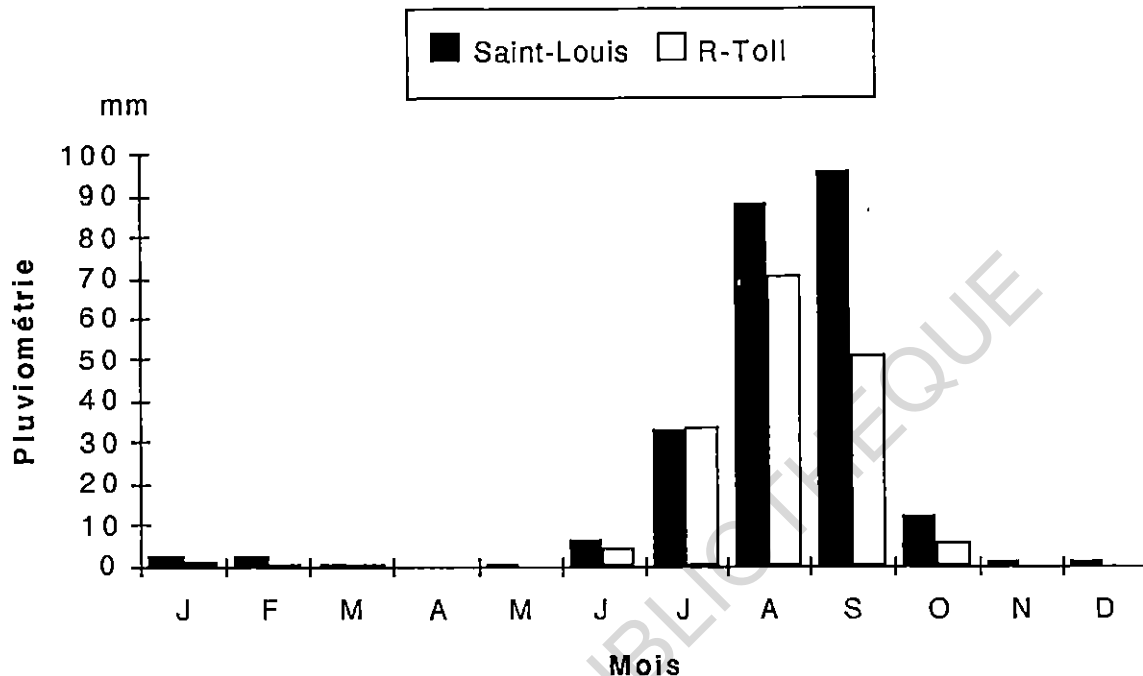


Figure 2- Delta du Sénégal:moyenne pluviométrique mensuelle (1981-1991)

La saison pluvieuse démarre en juin et se termine en octobre. Le mois d'août qui enregistre les maxima pluviométriques est considéré comme le coeur de la saison pluvieuse: 90.6 mm à Ndiaye, 70.16 mm à Richard-Toll tandis que Saint-Louis enregistre son maximum en septembre avec 95.06 mm. L'importance de la pluviométrie durant ces deux mois (août et septembre) est plus perceptible lorsqu'on compare leur pourcentage par rapport au total pluviométrique. A Saint-Louis, ils capitalisent 75% du total, 73% et 72% respectivement à Ndiaye et à Richard-Toll.

1-1-1-2 Evaporation et évapotranspiration

L'évaporation (bac classe A) est faible durant l'hivernage à cause de la couverture nuageuse: 76.7 mm au mois d'août à Saint-Louis tandis qu'à Ndiaye, elle est de 153 mm. Elle augmente en saison sèche pour atteindre en janvier 181.4 mm et 238.7 mm respectivement à Saint-Louis et Ndiaye. L'évaporation moyenne mensuelle à Saint-Louis est de 125.3 mm, à Ndiaye elle se situe à 215.9 mm.

L'évapotranspiration connaît une évolution simple, elle est calculée selon la formule de Penman à la station de Ndiaye. L'évolution moyenne journalière montre qu'elle augmente progressivement à partir du mois de janvier et atteint son maximum en avril avec 8.6 mm.j⁻¹. A partir de mai s'amorce une baisse jusqu'en décembre (5.5 mm). L'évapotranspiration est plus élevée durant les mois où les températures, le vent et l'insolation sont près de leur maximum et l'humidité relative près de son minimum.

1-1-1-3 Les autres éléments du climat

- Les températures: Pendant la saison sèche les températures moyennes sont relativement fraîches 22°C à 24°C à la station de Saint-Louis et 21°C à 28°C à Richard-Toll. On note une légère augmentation des températures entre février et mai sous l'effet de la continentalisation du flux d'alizé maritime. Pendant la saison pluvieuse, la présence de mousson, chaude et humide, favorise un relèvement des températures: 30°C à Ndiaye et Richard-Toll tandis qu'à Saint-Louis elles atteignent 28°C.

- Les vents: L'analyse des vents a été faite à partir des données de la station de Ndiaye. De novembre à mai les vents continentaux dominent la circulation: il s'agit de l'alizé continental ou harmattan. Les vents ont une intensité qui se situe entre 2 m.s⁻¹ à 12 m.s⁻¹. De mars à mai les vents maritimes prennent le relais; les vitesses moyennes annuelles augmentent progressivement et atteignent leur maximum en avril-mai (14 m.s⁻¹ à Saint-Louis). C'est durant cette période que le delta connaît les phénomènes de chasse sable, vents de sable et brumes sèches. De juillet à septembre les vents viennent du sud et de l'ouest: il s'agit de la mousson. La vitesse des vents (+15 m.s⁻¹ à Saint-Louis) tout au début de la saison pluvieuse favorise la formation de tornades sèches dans un environnement encore insuffisamment humide.

- L'humidité relative: De septembre à février, le delta enregistre les valeurs les plus faibles: 49.1% en décembre à Saint-Louis, 32% en février à Ndiaye. Cette baisse est liée à l'installation du flux d'alizé continental. De mars à août les pourcentages augmentent et atteignent leur maximum en juillet-août, période d'installation de la mousson: 81.2% à Saint-Louis; 64% à Ndiaye et 71% à Richard-Toll.

1-1-2 **Sols, végétation et faune**

Dans le delta, la pédogenèse est influencée par trois facteurs principaux: la sédimentologie, la salinisation et le régime hydrique. Il en résulte une liaison étroite entre la typologie des sols et la répartition des formations alluviales.

- Au niveau des bancs sableux du lit mineur, des bourrelets de berge et terrasses marines on trouve des sols sableux peu évolués généralement bien drainés et donc rarement hydromorphes. Du fait de leur exondation, ces sols sont peu influencés par les processus de salinisation.

- Au niveau des dunes stabilisées (dunes Rouges du Trarza, dunes jaunes du Delta, plateau dunaire du Ferlo...), on trouve des sols bruns ou bruns rouges isohumiques.

- Dans les formations fluvio-deltaïques (deltas de ruptures, petites levées subactuelles...) on rencontre des sols plus ou moins halomorphes et hydromorphes à texture limono-argileuse.

- Des sols hydromorphes à gley et plus ou moins vertiques au niveau des cuvettes de décantation argileuse. Ils forment le domaine privilégié des grands aménagements hydro-agricoles et de la riziculture irriguée. Dans la partie aval du delta, une grande partie des dépressions comporte des sols à horizons sulfatés-acides correspondant à d'anciennes mangroves. Certaines dépressions, endoréique ou soumises à l'influence maritime, sont en outre fortement salées (sebkhas).

La végétation du delta est adaptée aux conditions hydrologiques et édaphiques.

- La forêt de *Gonakié* (*Acacia nilotica*) constitue une formation caractéristique des dépressions inondables en association avec un couvert herbacé variable à *Mimosa pigra*, *Echinocloa colona*.

- Le groupement à *Tamarix senegalensis* occupe les zones fortement affectées par la salinité.

- Les prairies de roseaux (*Phragmites australis*) se situent généralement sur les petites levées et sur les berges du fleuve.

- Les levées et glacis sableux sont généralement occupés des formations ligneuses ouvertes à *Balanites aegyptiaca*, *Salvadora persica* avec une strate herbacée à *Aristida funiculata*.

- L'estuaire du fleuve est partiellement occupé par des mangroves, avec quelques peuplements de palétuviers à *Avicenna nitida* et *Rhizophora racemosa*, dans la région de Saint-Louis, dans le bas Thiallakht et au confluent du Bell et du Ndioul, au sud du Diawling.

- Enfin, au niveau des plans d'eau (marigot du Djoudj, lac de Guiers), on trouve une végétation aquatique très développée principalement composée de *Pistia stratiotes*, *Typha australis*, *Ceratophyllum demersum*.. Leur prolifération résulte des modifications de l'hydrologie, consécutives aux aménagements de la vallée du Sénégal.

Jusqu'au début de notre ère la région du delta était peuplée d'une faune riche d'animaux de grandes tailles (éléphants, lions, cobes...). Actuellement, la situation est assez précaire suite à l'aridification du milieu, à la pression humaine et aux aménagements qui ont fait disparaître plusieurs espèces. Quelques rares individus de la faune des mammifères sont parvenus à survivre tels les phacochères, les singes, chacals alors que d'autres espèces ont été réintroduites par les parcs nationaux (lamantins, gazelles). En outre, le delta est la première zone humide au sud du désert du Sahara. Il joue, à cet effet, un important rôle d'accueil d'oiseaux paléarctiques et afro-tropicaux. Grâce à la présence de mares temporaires, lacs et marigots et de végétation rivulaire, c'est une zone propice au repos et à la nidification. La création du parc du Djoudj en rive droite et de celui du Diawling en rive droite permet aujourd'hui de sauvegarder les grandes valeurs floristiques et fauniques du delta.

1-1-3 Les ressources en eau

1-1-3-1 Eaux souterraines

Deux catégories principales de ressources en eaux souterraines existent dans le delta:

- l'aquifère fossile du "Maestrichtien" qui couvre l'ensemble du bassin sénégal-mauritanien. C'est une formation profonde dont le toit se situe entre 100 et 450 m sous le sol et le niveau piézométrique entre 10-50 m sous le sol.

- la nappe alluviale superficielle est présente dans tout le lit majeur, avec un niveau aquifère principalement situé dans les sables nouakchottiens. Cette nappe a une profondeur variant entre 30 cm et 3 m, avec une profondeur moyenne de l'ordre de 1,4 m dans les cuvettes et de 2,6 m dans les levées alluviales. La nappe alluviale communique plus ou moins avec un réseau discontinu de nappes lenticulaires développées dans les strates perméables intercalées dans les alluvions. Ces nappes sont alimentées par le fleuve et l'ensemble du réseau d'affluents, défluent, mares et lacs qui occupent le lit majeur.

Les alluvions du delta sont plus ou moins affectés par des dépôts salins sédimentés au cours des épisodes marins antérieurs puis par les incursions marines annuelles. Ce qui explique la salinité de la nappe nouakchottienne et des nappes lenticulaires des formations fluviodeltaïques. En moyenne le taux de salinité décroît du centre du delta (supérieure à 10 g.l⁻¹) vers la périphérie (0,5 à 10 g.l⁻¹). Cependant les eaux les plus salées se trouvent dans les dépressions endoréiques telles les sebkhas de l'Aftout es Sahéli et du Djoudj, les dépressions du Gandiolais ou la dépression du Ndiael.

La nappe phréatique du delta contient une eau saumâtre, par conséquent l'emploi des ressources se limite à de petites lentilles d'eau douce. En rive mauritanienne par exemple, les populations des six villages du bassin du Gouère prélèvent leur eau domestique dans les lentilles se trouvant au pied des dunes du Trarza. Il en est de même pour les villages de Zbeikha Zire, Zire et Lekhzer (figure 5) dans le bassin du Diawling-Tichillit qui eux s'approvisionnent en eau dans les lentilles au pied des dunes du Toundou Zire

1-1-3-2 Les eaux superficielles

a°) Réseau hydrographique et infrastructures hydrauliques

La configuration de l'ensemble du réseau hydrographique du delta résulte de son évolution en estuaire: le fleuve Sénégal en cherchant un accès à la mer a recoupé tous ses affluents. Ainsi les différents bras du fleuve sont devenus des défluent soit du fleuve lui-même, soit les uns des autres.

Les principaux marigots du delta sont présentés à la figure 3.

- en rive droite: le Ncallax ou Tiallakht, le Ndiadier, le Gouère, le Garak, le Dioup, le Diallo, l'Aftout es Saheli, le Diawling, le Bell;

- en rive gauche: le Gorom, le Lampsar, le Djeuss, le Kassack, le Djoudj, le Ngalam et les Trois Marigots.

Le fleuve Sénégal alimente aussi deux lacs: R'kiz en Mauritanie et Guiers au Sénégal.

Avant la mise en place du système hydraulique des eaux de surface, ces marigots et lacs remplissaient lors du passage de la crue du fleuve et se vidaient sous l'effet de l'évaporation et des prélèvements. Non pérennes, ils se tarissaient.

Le régime naturel du fleuve a été progressivement modifié avec la mise en place de grands aménagements hydrauliques. Ces derniers permettent d'affranchir l'économie du delta des crues rendues aléatoires par la sécheresse persistante et le déficit pluviométrique à l'amont du bassin. La localisation des principaux aménagements hydrauliques est présentée à la figure 4.

- En 1964, à l'initiative de la Mission d'Aménagement du Sénégal (M.A.S.), une digue de ceinture a été édifiée sur 80 km en rive gauche, de Dakar-Bango à Richard-Toll, complétée par des digues de protection des périmètres de Dagana, Nianga et Guédé. Ceci permet de contrôler partiellement la crue et de limiter les intrusions salines.

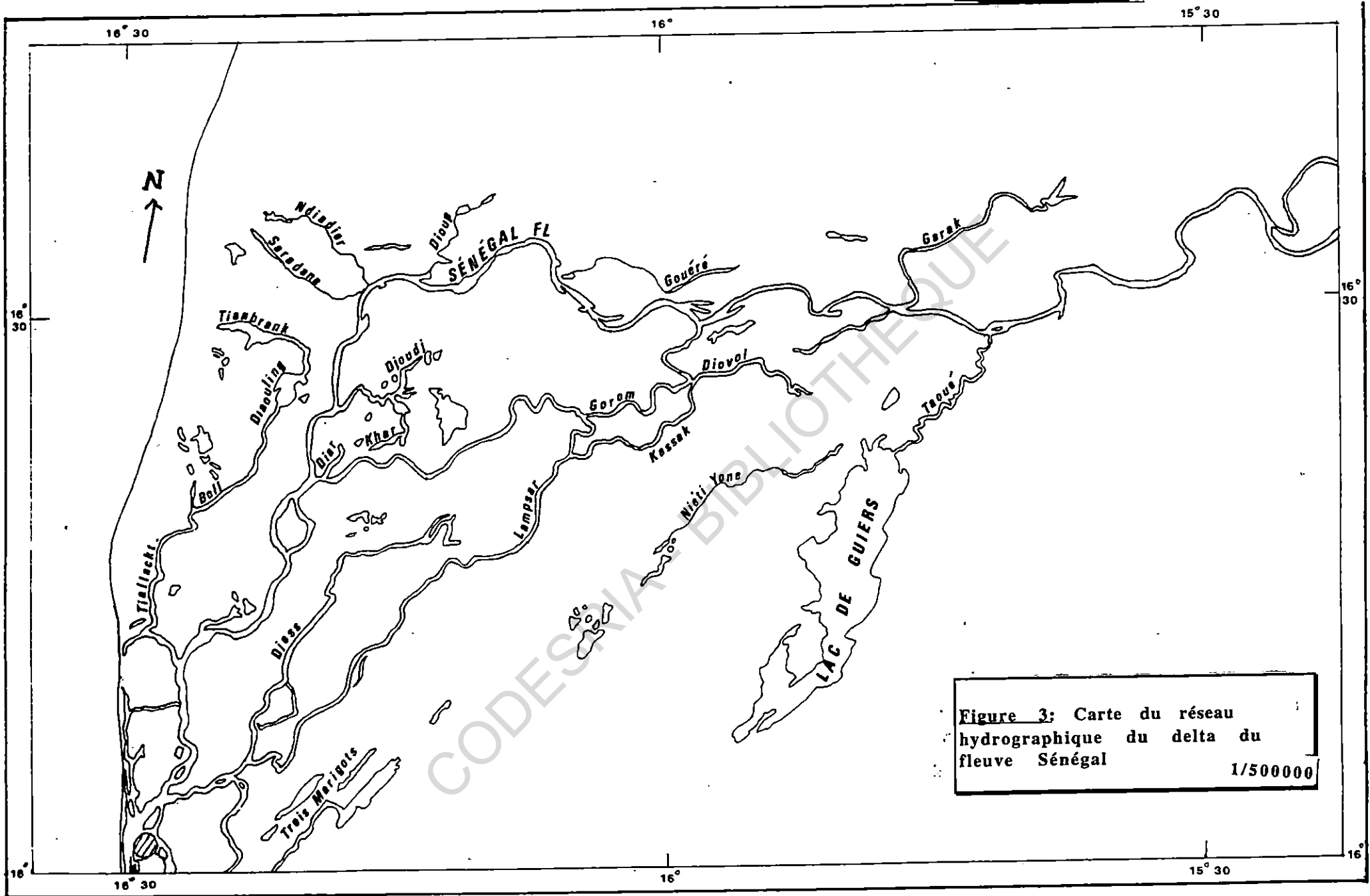
- En 1983 la digue anti-sel provisoire de Kheune est créée à environ 115 Km de l'embouchure, permettant de limiter les intrusions salines en amont du delta et dans la basse vallée.

- En 1986, la fermeture du barrage de Diama à 36 Km de l'embouchure permet la protection de la majeure partie du delta des effets de l'intrusion saline. Ce barrage permet en outre de stocker de 250 à 500 millions de m³ d'eau douce, selon la cote de la retenue.

- En juin 1989, la fermeture du barrage de Manantali permet de régulariser la crue et de stocker environ 11 milliards de m³ d'eau de bonne qualité.

- En 1992, l'endiguement de la rive droite est assuré entre Diama et Rosso, permettant une protection des terres et un meilleur contrôle des écoulements

- En 1994, la réfection de la digue en rive gauche va permettre d'assurer une gestion optimisée des ouvrages en place.



b°) Evolution du niveau de la réserve en 1992

Les variations du niveau d'eau de la réserve sont suivies à la station de Diama et les observations faites à l'échelle limnimétrique du barrage sont quotidiennes. L'analyse de la figure 4 montre trois phases dans l'évolution des niveaux limnimétriques:

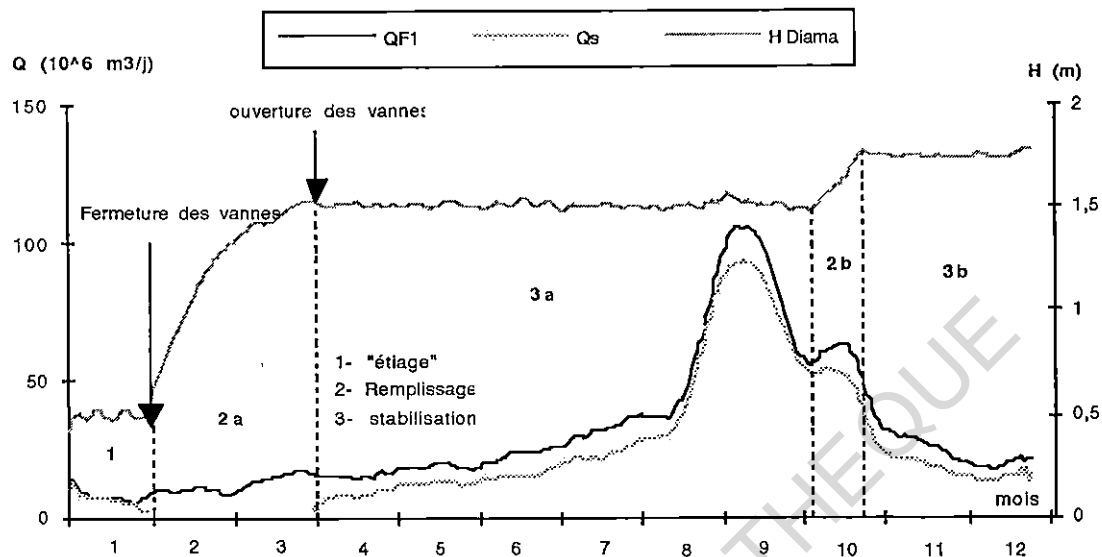


Figure 5 Relation entre la hauteur d'eau à Diama (H Diama en m IGN), les débits d'entrée à Dagana ($QF1$ en million de $m^3.j^{-1}$) et les lâchers à Diama (Qs en million de $m^3.j^{-1}$) en 1992

- une phase dite d'étiage du 1er au 31 janvier, caractérisée par la faiblesse des débits fluviaux passant à Dagana (débits inférieurs à $50.10^6 m^3.j^{-1}$). La réduction importante des apports en amont amorcée depuis le 19 novembre 1991 et les lâchers au barrage de Diama sont les principaux paramètres explicatifs de ce phénomène. On remarque ici que les volumes d'eau lâchés par le barrage sont presque identiques à ceux des apports fluviaux.

- A partir du mois de février débute le remplissage de la réserve. Les vannes sont fermées et la cote passe de 0,61 m le 2 février à 1,32 m le 2 mars avant de se stabiliser à la cote 1,52 m à la fin du mois.

- Dès l'ouverture des vannes le 1er avril le niveau de l'eau se stabilise à la cote moyenne 1,50 m et ceci jusqu'au 11 octobre. Les lâchers à Diama, les prélèvements pour l'irrigation en culture de contre saison chaude et en hivernage, les pertes dues à l'évaporation ont donc compensés les apports. Même à l'arrivée de la première onde de crue, entre le 1er et le 27 septembre, le niveau reste constant.

- Par le jeu des vannes du barrage de Diama un second remplissage de la réserve a lieu à l'arrivée de la seconde onde de crue le 14 octobre. A cette date le niveau passe à 1,55 m pour se stabiliser à la cote moyenne 1,75 m et ceci jusqu'à la fin de l'année.

L'endiguement de la rive droite en 1992 et la bonne pluviométrie dans le Haut Bassin du fleuve Sénégal ont permis une gestion correcte de la réserve de Diama. Le réhaussement du niveau limnimétrique a pour conséquence un bon remplissage des défluentés et la satisfaction des besoins en eau pour l'irrigation et l'industrie. Cependant le maintien d'une cote stable et haute presque toute l'année a fait disparaître les zones de décrue à valeurs économique et écologique importantes.

En outre, cette étude hydrologique a permis de distinguer deux régimes bien distincts:

- un régime en fonctionnement de type lacustre durant la période de fermeture des vannes du barrage de Diama (février, mars). Elle se caractérise par un ralentissement du déplacement des masses d'eau et une baisse du taux de renouvellement des eaux. Cette relative immobilité des eaux va donner une importance primordiale à l'évaporation qui induit une concentration des matières minérales dissoutes.

- un régime fluvial le reste de l'année, période pendant laquelle l'ouverture des vannes du barrage de Diama permet d'évacuer les eaux minéralisées vers l'aval.

1-2 LE DELTA DU FLEUVE: UNE ZONE AGRO-PASTORALE EN PLEINE MUTATION

1-2-1 Données démographiques

La figure 6 représente les principaux établissements humains du Delta du Sénégal.

Le delta mauritanien est situé dans la région du Trarza Ouest dont la superficie totale est estimée à 145000 ha. Les données démographiques sont extraites du rapport BA(1994) présenté lors du séminaire de l'O.M.V.S. en juillet 1994.

La région du Trarza Ouest compte 38955 habitants dont 30273 fixes répartis dans 34 localités. La répartition par sexe est respectivement de 45% et 55% pour les hommes et les femmes. La population adulte représente 56% contre 44% de jeunes. La répartition ethnique est de 40% pour les wolofs, 56% pour les maures (haratines et beydanes) et 2% pour les peuls.

Au plan social les populations du Trarza Ouest évoluent dans une double structure marquée à la fois par la persistance des valeurs traditionnelles (système de castes, transmission des droits fonciers, influence des liens de sang...) mais aussi par une forte tendance à intégrer les nouvelles valeurs prônées par l'Etat moderne (intégration dans les systèmes politiques et administratifs, dans les systèmes coopératifs...).

Enfin l'émigration domine largement l'immigration (2668 contre 370). Elle se fait essentiellement à destination de Nouakchott, Nouadhibou et du Sénégal. L'immigration se fait saisonnièrement (janvier à juin) pour les tâches agricoles et toute l'année pour le commerce et la pêche. Elle est essentiellement originaire des régions de l'est.

La majeure partie du delta sénégalais (fig.6) est localisée dans le département de Dagana. Les données démographiques sont fournies par le Bureau national du recensement-Direction de la Prévision et de la Statistique. En 1988 la population du dit département est de 285879 habitants (résultat des enquêtes démographiques de 1988, Répertoire des villages de la région de Saint-Louis). Toutefois cette population est inégalement répartie au niveau de l'espace comme le montre la figure 6. Pour l'essentiel, elle se concentre le long du fleuve, au détriment des vastes étendues du Diéri. La densité est de 47 hab/km², contre une densité régionale de 15 hab/km² et de 35 hab/km² pour l'ensemble du territoire national. Cette inégale répartition est liée à l'importance des activités économiques par suite de l'implantation d'unités de productions agro-industrielles et grâce aussi au développement des cultures irriguées.

Dans le département de Dagana, la population urbaine est dominante (56% de la population), contrairement à la situation régionale où la population rurale représente 73% du total.

Les moins de 20 ans représentent 58,85%. Les personnes âgées (60 ans et plus) représentent une proportion de 6,09%. La tranche d'âge adulte située entre 20 et 59 ans représente 35,05%

La population du delta sénégalais est essentiellement formée de wolof qui constituent 30,2% de la population régionale. Les autres ethnies principalement sont Sérère, Pulaar, Diola, Mandingue et Peulh.

1-2-2 Evolution agro-pastorale de la zone

Avant les aménagements, les systèmes de production se caractérisaient par une forte spécialisation des modes d'exploitation du milieu naturel et une très faible artificialisation de ce dernier. Selon les ethnies l'activité principale était l'élevage (Peuls) associé éventuellement au commerce (Maures), ou à la pêche (Wolofs). L'agriculture, pratiquée en bordure des marigots et sur les dunes périphériques, ne tenait qu'une place marginale dans ces systèmes, la culture de décrue étant limitée par la salinité des sols et la remontée de la langue salée dans le fleuve durant la saison sèche.

Ces modalités de mise en valeur ont connu une évolution rapide à partir de 1946, année de la création à Richard-Toll du premier casier rizicole d'importance. Cependant, c'est l'endiguement de la rive gauche en 1964 qui a marqué une rupture profonde dans l'évolution des systèmes de production en limitant ou en supprimant les pâturages et les cultures de décrue. Les éleveurs et les pêcheurs se sont alors peu à peu convertis à l'irrigation, la sécheresse endémique de 1970 accélérant ce processus dans les zones où cultures et pâturages sous pluie tenaient encore une place importante (JAMIN, 1986).

Aujourd'hui la riziculture irriguée forme la composante majeure de la plupart des systèmes de production du delta, ceux des communautés maures exceptés. La croissance des périmètres irrigués est importante: en rive droite les surfaces mises en culture irriguée sont passées de 5050 ha en 1986 à 26850 ha en 1993; en rive gauche ces chiffres sont respectivement 21975 ha et 50350 ha (O.M.V.S, 1994). L'augmentation des surfaces cultivées réduira encore les zones de parcours de décrue et avec le développement, même partiel, de la double culture il ne sera plus possible pour les troupeaux peuls et maures de pâturer librement dans les parcelles après récolte. Cette situation a entraîné une série de conflits entre les différents utilisateurs notamment agriculteurs et éleveurs nomades. Ces derniers devront se tourner, comme le font actuellement certains wolofs, vers le ramassage de pailles et leur transport en dehors des parcelles. Le processus d'intégration de l'élevage à l'agriculture déjà constaté devra se poursuivre dans les années à venir.

Sur le plan foncier on assiste en rive gauche à une modification du décret 65-443 du 25 juin 1965 qui mettait l'essentiel des terres cultivables de la zone du delta sous la juridiction de la Saed chargée de la mise en valeur. Avec le décret 87-720 du 4 juin 1987 se produit un renversement des terres pionnières en zone de terroirs, la gestion des terres étant rétrocédée aux communautés rurales de la zone.

En rive droite l'abrogation du décret 84-009 permet la mise en place d'une nouvelle réglementation dans la gestion des terres. Le Décret 90-020 du 31 janvier 1990 stipule les conditions pour l'attribution des baux et des autorisations de concessions rurales: lorsque la superficie est inférieure ou égale à 10 Ha la compétence relève du préfet; entre 10-30 Ha c'est le gouverneur de région l'autorité compétente; entre 30-100 Ha la compétence relève du Ministre des Finances et au delà de 100 Ha c'est le conseil des ministres qui décide.

La Saed et la Sonader ont accompagné cette évolution. Jusqu'à une date récente ces deux structures ont couvert l'ensemble de la filière, de la conception des aménagements à la commercialisation du paddy en passant par la gestion de l'eau, l'exécution des façons culturales mécanisées, l'approvisionnement en intrants, le crédit (gratuit) et bien sûr l'encadrement des producteurs. Depuis l'aménagement du fleuve par l'OMVS ces fonctions se sont fortement réduites. En rive sénégalaise la fourniture d'intrants et équipements revient au négoce privé, le crédit est assuré par la CNCAS au taux unique de 11.5%, les opérations mécanisées par les entrepreneurs ou par les organisations paysannes.

En rive mauritanienne, parmi les nouvelles attributions (Lettre de mission du 1er janvier 1994), la Sonader est chargée entre autres du suivi et de l'évaluation des surfaces irriguées dans la vallée sous la supervision de la Cellule de Planification du M.D.R.E.. Outre les levées topographiques et le bornage qu'elle assure dans le cadre de la réorganisation foncière, la Sonader devra jouer un rôle important dans la vulgarisation et la formation des exploitants dans

ses zones d'intervention. La Cacet, structure mutualiste du crédit agricole créée en fin 1992, est chargée de la responsabilisation des producteurs, de l'amélioration et de la pérennisation des finances de l'agriculture.

Enfin la conception des aménagements s'est fortement modifiée depuis trente ans. D'un simple endiguement de cuvette où l'irrigation dépendait de l'arrivée de la crue (aménagements primaires) on est passé, en différentes étapes, aux aménagements tertiaires actuels avec pompage et complète maîtrise de l'eau. Les aménagements hydro-agricoles, initialement mis en place par les grandes sociétés d'aménagement (C.S.S., Saed, Sonader...) avec des investissements relativement lourds, ont en partie laissé la place à des périmètres irrigués villageois (P.I.V.) ou à des petits périmètres irrigués privés (P.I.P.) construits à moindre coût, le plus souvent avec des techniques sommaires sans réelle maîtrise de l'eau et du sol. Cette dernière étape, initiée dans les années 70, s'est accompagnée d'une modification profonde des itinéraires techniques et variétés utilisées (LEGAL, 1989): fumure élevée, désherbage et fertilisation chimiques, utilisation de variétés à forte productivité (JAYA, IKP, IR 97-84), recherche agricole développée (Adrao, Isra). La mise en fonction du barrage de Diama depuis 1985 et la mise en service de celui de Manantali depuis 1987 permet un approvisionnement en eau douce facilitant ainsi le développement de la double culture annuelle (contre saison et hivernage).

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

CHAPITRE 2: LES PROBLEMES QUALITATIFS DES EAUX DANS LE DELTA DU SENEGAL

La qualité de l'eau peut être définie comme étant "l'ensemble des éléments qualitatifs concernant les eaux, des points de vue physique, chimique, physico-chimique, biologique et organoléptique" (ROCHE, 1988). La description de la qualité des eaux peut se réaliser à partir de mesures quantitatives (détermination physique et chimique, tests biologiques), ou à partir d'une description semi quantitative-qualitative (indices biotiques, aspects visuels, inventaires des espèces etc...). L'évaluation de la qualité de l'eau permet de définir la nature physique, chimique et biologique de l'eau en relation avec sa qualité naturelle, l'impacts des activités humaines et les divers utilisations qui peuvent affecter la santé humaine et du système aquatique lui-même. Conformément à la définition adoptée par l'O.M.S, on parle de pollution des eaux lorsque "la composition ou l'état des eaux sont directement ou indirectement modifiés du fait de l'activité de l'Homme et dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à l'état naturel". Le terme contamination désigne la présence en traces de substances chimiques polluantes.

Avant l'aménagement du fleuve par l'O.M.V.S., la qualité des eaux fluviales du delta et de la basse vallée subissaient les effets de la remontée d'eau marine en période de basses eaux. La salinisation des eaux compromettait sérieusement les activités socio-économiques de la région dont l'essentiel des besoins en eau est assuré par le fleuve. Les populations étaient alors approvisionnées en eau par camions-citernes ou à partir des canaux d'irrigation de la C.S.S.. L'agriculture irriguée n'était possible qu'en période de crue à cause des effets de la salinité sur les plantes.

La mise en fonction des barrages de Diama (1985) et de Manantali (1987) permet l'amélioration de la qualité des eaux par suite de l'adoucissement permanente des eaux et de la régularisation des débits fluviaux. Ceci a suscité l'intensification de l'agriculture irriguée sous forme d'aménagements hydro-agricoles et l'accroissement de la population autour du fleuve. Les nouvelles conditions d'accès aux ressources en eau s'accompagnent de profonds bouleversement écologiques: changement du régime hydrologique, prolifération de plantes aquatiques, maladies hydriques, pollution par les résidus agricoles. Une synthèse des problèmes liés à la qualité de l'eau est présentée dans ce chapitre.

2-1 LA POLLUTION FECALE: FACTEUR DE TRANSMISSION DE MALADIES HYDRIQUES.

L'eau joue un rôle important comme source et véhicule de nombreuses maladies contagieuses par trois modes de transmission .

- L'eau de consommation véhicule l'agent causal jusqu'à une personne réceptive et provoque certaines affections: fièvre typhoïde, choléra, dysenterie bacillaire etc...
- L'eau est un biotope d'hôtes intermédiaires. Les bilharzioses, causées par des larves de schistosome portées par des mollusques aquatiques, sont les plus importantes affections de ce groupe.
- L'eau est un milieu de multiplication d'arthropodes vecteurs. Ce troisième groupe comprend des maladies transmises par vecteurs dont les formes larvaires se multiplient dans les eaux de surface (paludisme, fièvre jaune , filarioses etc...).

La plupart de ces maladies sont en rapport avec la pollution des eaux par les matières fécales humaines et animales. C'est le cas de toutes les maladies de la première catégorie et pour la plupart de celles de la seconde.

Dans le delta, ce type de pollution résulte des problèmes d'assainissement des agglomérations riveraines du fleuve. Dans le cadre de l'élaboration du plan directeur de santé pour

le bassin du fleuve Sénégal, une étude de l'USAID (NICOLAS, 1994) a montré l'insuffisance de ce secteur aussi bien en terme d'infrastructures qu'en terme de comportement des populations. Les enquêtes menées au niveau communautaire en mai 1994 soulignent l'inexistence de latrines familiales dans la plupart des villages maures. Les excréments sont jetés à côté des concessions ou dans le milieu aquatique lorsque celui ci est proche.

Dans les villages Maures les latrines familiales sont presque inexistantes et les gens disent qu'ils vont à la selle "derrière le village". Les excréments des enfants sont jetés par terre à côté de la maison. Dans les villages habités par les Wolof, Halpulaar et Soninké, beaucoup de familles ont des latrines derrière la maison. Dans les secteurs proches du fleuve et des canaux, les populations ont plutôt tendance à utiliser ces endroits pour déféquer et pour jeter les excréments des enfants plutôt que d'aller derrière le village.

Dans les villes les problèmes d'assainissement sont liés au manque d'infrastructures pour une population de plus en plus croissante.

La ville de Rosso-Mauritanie ne jouit pas d'un service d'assainissement organisé. C'est par les latrines et rares fosses septiques sans champ d'infiltration qu'on évacue les excréments et les eaux usées. Ces latrines ne fonctionnent pas bien et se remplissent vite, nécessitant une vidange fréquente et coûteuse. A Richard-Toll, 33% des concessions n'ont ni latrines ni fosses septiques pour l'évacuation des excréments et des eaux usées. Les lieux d'aisance sont localisés le long des canaux et cours d'eau. A Dagana, la situation de l'assainissement est relativement bonne à cause des efforts menés par le service d'hygiène dans l'éducation sanitaire.

Ces pratiques des populations pour évacuer leurs ordures et leurs excréments humains et animaux ont conduit à la pollution de l'eau par les matières fécales. La recherche de germes indicateurs est la méthode utilisée pour déterminer ce type de pollution. Des micro-organismes, hôtes normaux de l'intestin, servent d'indicateurs. Parmi ces derniers on note: les bacilles du groupe *Coliforme*, les *Entérocoques* et les *Streptocoques faecalis*. Dans ce cadre, une équipe du programme "eau et santé" (ROBIDOUX, 1992) a montré que les eaux du fleuve à Richard-Toll contiennent un taux de *coliformes fécaux* de l'ordre de 500 CFU/100 ml. D'après la classification de FEACHEM (1983), ces eaux sont considérées comme étant très contaminées et présentent un risque pour la santé. Par ailleurs de nombreuses germes telles que *Escherichia coli*, *Enterobacter* ont été rencontrées dans les analyses d'eau effectuées par le Pr NDIR (Avril 1994) qui a fait des prélèvements au niveau du fleuve, le Lampsar à Rosso Béthio, le canal de la Taoué. La présence de ces germes permet de soupçonner une contamination par des bactéries ou virus intestinaux pathogènes, et de déclarer l'eau bactériologiquement non potable.

A l'exception des villes riveraines, une large proportion de la population du delta s'approvisionne en eau de boisson directement dans les sources naturelles (fleuve, marigots, mares). Certes, un traitement domestique simple est appliqué par ébullition, filtration, javellisation. Mais, compte tenu des conditions de stockage et de conservation, ce traitement reste souvent inefficace. La conséquence immédiate est l'augmentation de la prévalence des maladies diarrhéiques qui constituent l'une des causes de la mortalité infantile (NICOLAS, 1994). Par ailleurs, l'eau du fleuve sert traditionnellement pour le bain, la vaisselle, la lessive etc... Ceci contribue de manière significative à la transmission des bilharzioses puisque ces eaux sont contaminées par les matières fécales des sujets malades.

Au vu de ces problèmes, il apparaît nécessaire de promouvoir des mesures tendant à améliorer le secteur de l'assainissement et de l'approvisionnement en eau. Parmi ceux ci, on peut noter:

- la mise en place d'un système d'alimentation en eau potable.
- La construction de latrines.
- La création de brigades d'assainissement, dans chaque village, chargées des problèmes d'hygiène du milieu et de lutter contre la pollution de l'eau et du sol par les excréments.

2-2 PROBLEMES LIES AUX REJETS D'EAUX DE DRAINAGE DES CULTURES

Le drainage des terres cultivées a un rôle triple:

- activer le dessalement des sols par le maintien d'un flux vertical de drainage entraînant les sels dissous vers les horizons de profondeur puis vers les stations d'exhaure;
- évacuer les excédents d'eau d'irrigation pouvant occasionner les phénomènes d'hydromorphie des sols et d'asphyxie des racines;
- rabattre la nappe afin de la maintenir en dessous de la zone racinaire.

L'assainissement des zones agricoles se fait par un système de drains enterrés ou à ciel ouvert qui collectent les eaux usées et les évacuent soit vers des dépressions soit vers le milieu aquatique. Ainsi, le drain du Ndiavel (17,5 km) est un collecteur pour les périmètres de Grand Digue Tellel Kassack nord. Les périmètres de Ntiagar, Débi, Dagana A et B évacuent leurs eaux de drainage dans le fleuve Sénégal à partir de stations d'exhaure. Les stations de Ndong et Gaéla assurent l'assainissement des périmètres de la cuvette du Boundoum vers le Gorom aval. Enfin la CSS évacue ses eaux usées agricoles soit vers le fleuve (stations X1,X5), soit vers le lac de Guiers (stations X6 et T2).

Les altérations de la qualité des eaux dues aux rejets agricoles sont essentiellement chimiques: salinisation, eutrophisation et contamination par les résidus de pesticides.

2-2-1 La salinisation des eaux superficielles.

Les eaux usées agricoles ont une salinité variable suivant les caractéristiques des aménagements et les techniques d'irrigation et de drainage. Les résultats d'analyse fournies par le laboratoire de la C.S.S. (période du 1er octobre 1991 au 30 septembre 1992) montrent que

- les eaux de drainage du casier ouest ont une salinité qui se situent entre 2200-3450 à la station X5 à cause de la récente mise en valeur des terres situées à l'extrême ouest de l'exploitation;
- les eaux rejetées aux casiers de Khouma-Mbilor (KH1 et KH2), situés à l'est de Richard-Toll, sont nettement moins chargées. La salinité moyenne se situe entre 300-400 mg.l⁻¹.

La Saed a effectué des mesures de conductivité sur les stations de Ndong et Gaéla de la cuvette de Mboundoum (période 1989-1993). Les résultats de 1992 ont montré que la salinité des eaux de Gaéla est maximale en Août: 10240 à 11200 $\mu\text{mhos.cm}^{-2}$.

A l'heure actuelle, les eaux fluviales présentent une salinité qui permet une large gamme d'utilisation allant de l'agriculture à la production d'eau potable. Cependant, la multiplication de rejets très minéralisés favorise une augmentation de la salinité surtout au niveau des défluent qui ne présentent pas la même capacité de dilution que le fleuve.

L'impact des rejets de Ndong et Gaéla sur le Gorom aval est évident. En août 1992, GUEYE (1993) y mesure une conductivité de 1260 μmhos correspondant à une salinité de 955 mg. Au lac de Guiers, les augmentations de la salinité en région Nord et Centre et la diminution simultanée constatée en région Sud ne s'expliquent que par l'importance quantitative et la charge minérale des rejets de la C.S.S. à l'extrémité Nord du Guiers d'une part, et par l'importance des chasses d'eau vers la vallée du Ferlo effectuées depuis 1989 d'autre part (COGELS, 1993).

La conductivité des eaux dans la réserve de Diama est relativement élevée par rapport à celle des eaux de la région amont du delta (COGELS, 1994). La figure 7 compare l'évolution du

paramètre à Diama et à Richard-Toll durant l'année 1991. En période hors crue, la conductivité à Diama est en moyenne 5 fois supérieure à celle de Richard-Toll.

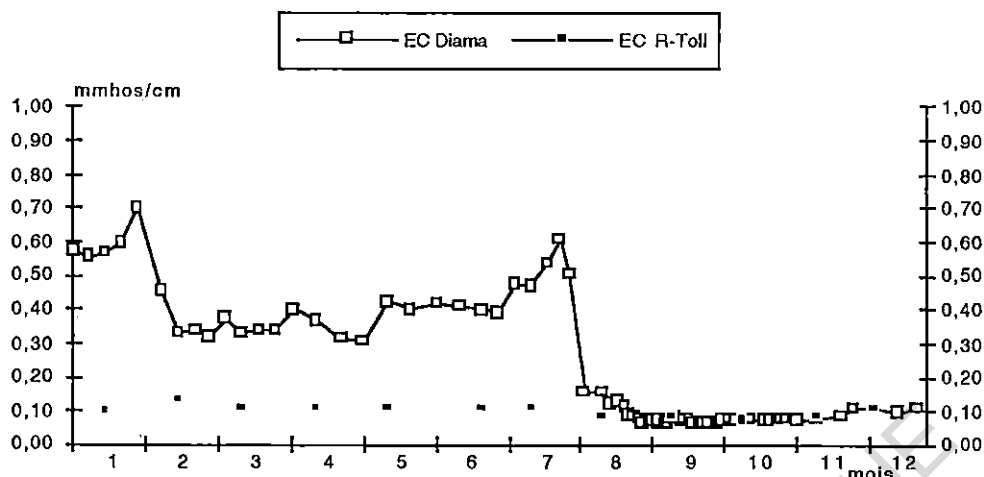


Figure 7: Conductivité des eaux à Diama et à Richard-Toll durant l'année 1991

Cette différence sensible est liée en partie à l'évaporation dans la réserve de Diama ainsi qu'au rejet dans le fleuve d'eaux de drainage très minéralisées. La compréhension plus précise de ce gradient mériterait une étude plus détaillée.

2-2-2- La contamination des eaux par les résidus de pesticides

Actuellement les pesticides représentent l'arme principale permettant de lutter contre les ennemis des cultures. La colonisation des casiers par les adventices, l'apparition de nouvelles espèces d'insectes et de champignons, le péril acridien, l'invasion des casiers par les rongeurs sont autant de facteurs qui expliquent aujourd'hui l'utilisation d'une gamme très diverse de pesticides dans le delta.

La contamination du milieu aquatique par les résidus de pesticides se fait essentiellement à travers les eaux de drainage des cultures. Les études sur le thème sont rares et les différents rapports sur le sujet ne font que dresser la liste des pesticides utilisés pour ensuite montrer leurs caractères toxicologiques. Une étude faite par une équipe hollandaise (MULLIE., 1989) a montré la présence de dieldrine dans le foie d'oiseaux piscivores (1,7 mg) et dans la chair de poisson (0,12 mg/kg de poids sec de Tilapia). Ces concentrations bien que faibles, démontrent l'accumulation de ce produit au niveau de la chaîne alimentaire. La persistance de la dieldrine dans les sols (10 à 15 ans) rend encore cet insecticide plus dangereux pour l'environnement car il peut atteindre la nappe phréatique et se retrouver dans l'eau destinée à l'alimentation des villes et villages.

Les problèmes de pollution par DDT, survenues à Richard-Toll en avril 1994, montrent l'urgence à prendre des mesures visant à mieux gérer l'utilisation des produits toxiques pour l'environnement. Pour cela une étude complète devra être menée sur le bilan écologique des principaux pesticides utilisés dans la région. Cette étude devrait être réalisée par une équipe pluridisciplinaire composée de chimistes, d'hydrologues, de pédologues, de toxicologues, d'hydrobiologistes et de médecins. En outre, une gestion plus rigoureuse doit être faite dans l'implantation des périmètres irrigués dont le permis d'installation ne serait plus lié uniquement à des critères cadastraux. Mais elle imposerait des normes tant pour les infrastructures que pour la qualité des eaux de drainage. Enfin une concertation entre les différents utilisateurs est souhaitée pour apporter des solutions concrètes à la gestion qualitative des eaux (création d'agences de bassin).

2-2-3 L'eutrophisation

Le terme eutrophisation désigne "l'enrichissement des eaux en matières nutritives qui entraîne une série de changements symptomatiques tels que l'accroissement de la production d'algues et de macrophytes, la dégradation de la qualité de l'eau et autres changements symptomatiques considérés comme indésirables et néfastes aux divers usages de l'eau." (OCDE, 1981)

La question de l'eutrophisation dans le delta du fleuve est apparue dès 1990-1991 suite à l'observation au parc du Djoudj et au lac de Guiers (Sénégal) d'une prolifération de végétaux aquatiques caractéristiques des milieux eutrophes. En 1985, au lac de Guiers, *Pistia stratiotes* n'était représenté que par des îlots dérivants, cette espèce couvrait en 1990 quelques hectares à l'extrémité sud du lac. En fin 1992, elle obstruait toute la région méridionale occupant une surface de quelques centaines d'hectares en peuplement monospécifiques (COGELS, 1993). Cette prolifération de *Pistia* s'accompagne aussi d'un développement spectaculaire de *Typha australis* dans la zone sud du lac et de *Ceratophyllum demersum* dans la zone nord.

Bien que de telles modifications sont en relation avec les nouvelles conditions limnimétriques et chimiques (adoucissement de eaux), il demeure que ces plantes disposent d'un potentiel nutritionnel leur permettant de se développer à grande envergure. Au lac de Guiers, les éléments nutritifs proviennent de diverses sources que nous pouvons classer en deux types (DIOP, 1993)

- des sources ponctuelles: rejets C.S.S. des stations X6 et T2, fleuve Sénégal;
- des sources diffuses: apports atmosphériques (précipitations), eaux usées domestiques des villages riverains, apports internes (biomasse végétale et sédiments).

L'étude que nous avons menée montre un apport significatif de nutriments par le fleuve, apport nettement supérieur à celui des rejets C.S.S. (DIOP, 1994). A l'exception de l'azote organique (N kj) dont la teneur moyenne est élevée (1.4 et 2.42 mg N /l), la charge nutritive du lac ne montre pas une situation alarmante. Cependant, compte tenu de l'extension des surfaces agricoles autour du lac une évaluation des flux d'entrée et de sortie des nutriments est nécessaire pour éviter toute altération ultérieure de la qualité de l'eau.

L'appréciation négative des populations vis à vis de l'eutrophisation découle principalement des impacts écologiques, financiers et sanitaires qu'occasionnent le phénomène.

Au niveau de l'écosystème l'essentiel des nutriments existant va se trouver immobilisé au sein de la biomasse des macrophytes. Ce détournement exclusif des ressources nutritives va entraîner des modifications profondes dans le fonctionnement de l'écosystème aquatique. En particulier la production phytoplanctonique, base du réseau trophique, est totalement inhibée à la fois par l'inaccessibilité des nutriments et de l'énergie lumineuse causée par le développement végétal à la surface de l'eau.

Au parc du Djoudj en 1993 les *Pistia* ont colonisé de façon uniforme et dense une partie du canal du crocodile et du Djoudj, principales voies d'accès des nicheris. Ceci a pour conséquence la limitation des possibilités de navigation pour la surveillance et le tourisme. La réduction des surfaces des plans d'eaux libres et la diminution du stock de nourriture ont favorisé la dispersion de l'avifaune dans les zones humides satellites du Djoudj.

La colonisation des canaux d'irrigation et de drainage par les végétaux aquatiques constitue un sérieux problème pour les agriculteurs. L'enherbement excessif des canaux oblige souvent les responsables des stations de pompage à assurer une cote plus haute que celle prédéterminée occasionnant des débordements, des fissures des canaux etc... Ces pertes d'eau, difficilement quantifiables, sont loin d'être négligeable dans le calcul de l'efficacité de l'irrigation. De plus quelque soit le mode de contrôle (mécanique ou chimique) le désherbage des canaux est toujours une opération onéreuse pour les paysans.

Les plantes aquatiques sont aussi sources de composés organoleptiques à l'origine d'odeur et de mauvais goût. En avril 1994 des analyses faites dans les eaux de la Sonees de Richard-Toll ont montré la présence de géosmine dont la teneur atteignait 47 ng/l (journal le "soleil" du 5 juin 1994). La géosmine est une substance toxique métabolite naturel des Algues Brunes *Ceratophyllum demersum* qui prolifère dans le canal de la Taoué. La présence de cette substance a entraîné un sur coût du traitement de l'eau.

Enfin la végétation aquatique constitue un biotope très apprécié de nombreux organismes aquatiques vecteurs de maladies hydriques qui y trouvent support, abri et nourriture. Certaines études (DEJOUX, 1988, et SAED, 1991) ont montré que les espèces *Pistia stratiotes*, *Ceratophyllum demersum* sont des sites de choix pour de nombreux mollusques pulmonés. Par conséquent il peut exister une relation directe entre la densité des herbiers, la prévalence des maladies et la densité d'infection des populations riveraines.

2-3 LES CONTRAINTES A LA GESTION QUALITATIVE DES EAUX

L'analyse des contraintes porte uniquement sur la rive gauche car compte tenu des limites financières de notre étude et de l'éloignement des centres de décision (Nouakchott) une étude parallèle n'a pu être faite en rive droite.

La gestion qualitative des eaux dans le delta sénégalais souffre d'un certain nombre d'insuffisances au niveau de la surveillance et de la politique de protection des eaux.

- Inexistence d'une structure centrale de suivi: Dans le delta ce suivi est assuré d'une part par le Ministère de l'Environnement qui dispose d'un laboratoire mobile et de l'autre par les laboratoires de la place (Sonees, Saed, C.S.S.). Ces différentes institutions que nous venons de citer appliquent en général un système de contrôle interne et les analyses effectuées sont fonction des types d'usage de l'eau: contrôle de la salinité pour l'eau d'irrigation, bilan des sels pour le contrôle de l'efficacité du dessalement des sols et de la nappe.

Cette fragmentation des structures complique la coordination et l'accès aux informations car certains laboratoires pratiquent une politique de "protectionnisme" des données surtout lorsqu'un problème de pollution se présente

- Insuffisance du programme de suivi qualitatif: D'une manière générale, les éléments chimiques régulièrement suivis concernent les ions majeurs (Cl^- , Na, Mg, Ca^{++}) et dans une moindre mesure les pesticides (analysés deux fois par an au lac de Guiers par la Sonees). Or pour maintenir l'écosystème en équilibre dynamique prédéterminé, il est nécessaire d'orienter le programme de suivi vers d'autres paramètres plus spécifiques: nutriments pour le contrôle de l'eutrophisation, polluants toxiques qui représentent un danger pour la santé de l'homme. L'insuffisance des moyens financiers et le manque de laboratoires spécialisés semblent être à l'origine de cette situation.

- Priorité donnée à la gestion quantitative: A cet effet, tous les plans d'action et schémas directeurs sont orientés vers la satisfaction des besoins en eau pour l'agriculture. Malgré la multiplication des activités concurrentes pour l'utilisation de l'eau (irrigation, pêche, industrie), aucun objectif de qualité n'a été assigné au cours d'eau.

- Carence dans la législation. A l'heure actuelle un certain nombre de textes régissent la gestion qualitative des eaux de surface, d'alimentation et celles des rejets dans les milieux naturels. Ces textes sont:

- le code de l'eau loi 81-13 du 4 mars 1981

- le code de l'environnement loi 83-05 du 28 janvier 1983 qui fait actuellement l'objet d'une nouvelle version

- le code de l'hygiène loi 83-71 du 5 juillet 1983.

Ces codes ne prennent aucune disposition visant à condamner des actes de pollution. Ces textes érigent plutôt des principes fondamentaux pour une bonne gestion de l'eau. Ils se caractérisent par une imprécision et un manque de spécificité dans les mesures à prendre pour préserver l'environnement aquatique.

L'efficacité des mesures législatives visant à protéger l'environnement dépend également de l'infrastructure et du personnel pour les faire respecter. A ce jour, aucun de ces codes n'a eu un décret d'application et il n'existe pas de police des eaux.

Sur le plan de la normalisation, l'Institut Sénégalais de Normalisation (I.S.N.) mène des actions d'élaboration de normes nationales, d'information et de sensibilisation. Le comité technique chimie-environnement a élaboré 26 normes concernant l'eau potable et les eaux usées et 14 autres avant projet sont en cours d'étude. L'ensemble de ces normes n'a fait l'objet d'aucune étude de terrain minutieuse et s'inspire de celles fixées par les organismes internationaux (O.M.S.) ou par d'autres pays développés (Afnor). De plus, ces normes ne sont qu'un assemblage de définitions et de méthodes d'analyse alors que dans le sens de la surveillance de la qualité des eaux "les normes sont des règles juridiques contraignantes qui prescrivent la concentration de polluants ne devant pas être dépassée dans une source d'eau déterminée" (O.N.U.D.C.T.D., 1991).

La zone du delta du fleuve Sénégal connaît de profonds bouleversements depuis la construction de barrages sur le fleuve. Ils sont

- agricoles avec la possibilité d'une double culture annuelle;
- institutionnelles avec de nouvelles règles d'accès à la terre et au crédit, de nouveaux pouvoirs et le développement de stratégies face au désengagement de l'Etat;
- écologiques à cause des modifications du régime hydrologique et des impacts du développement agricole.

Les problèmes qualitatifs des eaux concernent surtout la pollution chimique (eutrophisation, pesticides) et bactériologique (par les matières fécales). La mise en place d'une politique de gestion qualitative des eaux bute à certaines difficultés liées à l'accroissement de la population riveraine, à l'insuffisance des infrastructures sanitaires, d'assainissement et d'adduction d'eau, à l'inefficacité des mesures législatives de protection des eaux, et enfin à l'inexistence d'une structure centrale de suivi de la qualité de l'eau.

Afin d'améliorer la gestion de l'environnement aquatique, il a été préconisé l'utilisation d'outils de simulation qui permettra de comprendre le rôle des rejets dans l'évolution de la qualité des eaux et de proposer des solutions qui limiteraient leurs effets négatifs. La seconde partie de ce mémoire est consacrée à la conception du modèle qualitatif des eaux du delta du Sénégal.

**DEUXIEME PARTIE: ESSAI DE MODELISATION DE LA
GESTION QUALITATIVE DES EAUX FLUVIALES DU DELTA
DU SENEGAL .**

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

CHAPITRE 1: DESCRIPTION DU MODELE DE GESTION QUALITATIVE DES EAUX FLUVIALES

Dans sa plus simple expression, un modèle est une approximation de la réalité. L'utilisation de ces approximations permet de mieux comprendre le fonctionnement du milieu aquatique sans avoir à le reproduire intégralement. Le modèle de gestion utilisé dans ce mémoire est un modèle d'optimisation. Il est formé d'un modèle décrivant l'évolution de la qualité des eaux en fonction des apports et des pertes, et d'un modèle de planification qui servira à évaluer l'efficacité des options de gestion préconisées.

Le modèle est appliqué dans la zone du delta comprise entre Dagana et Diama. Le but est de simuler les effets qualitatifs liés aux modifications du régime hydrologique du réservoir et aux impacts extérieurs. Les principaux paramètres qualitatifs et quantitatifs pris en compte dans le modèle sont présentés avant le mode de calcul des termes.

1 - 1 PRESENTATION DES DONNEES HYDROLOGIQUES

Ils concernent les apports venus de l'amont (QF), les pompages divers le long du fleuve (QP), les lâchers au barrage de Diama (Qs) et les rejets dans le cours d'eau (QR). La localisation de ces divers paramètres est schématisé à la figure 8.

1 - 1 - 1 Les prélèvements (QP)

1 - 1 - 1 - 1 Irrigation

a°) Les périmètres privés et ceux de la Sonader (QP2, QP3, QP6, QP7, QP11)

Ils disposent de groupes moto-pompes (G.M.P.) pour leur alimentation en eau. Dans un rapport analytique (1994), l'Isra avait inventorié le nombre de G.M.P. en fonctionnement dans le delta sénégalais pendant la saison saison sèche chaude et l'hivernage. Cette étude fait état de 709 GMP pour une superficie aménagée de 21300 Ha. 36% de ces GMP sont installés le long du fleuve et appartiennent pour 75% à des groupements d'intérêt économique (G.I.E.). En l'absence de données plus précises sur le temps de fonctionnement des GMP et leurs caractéristiques techniques, nous avons estimés les volumes d'eau pompés en fonction des besoins en eau des cultures. Les normes utilisées sont celles de la Saed (tableau 1).

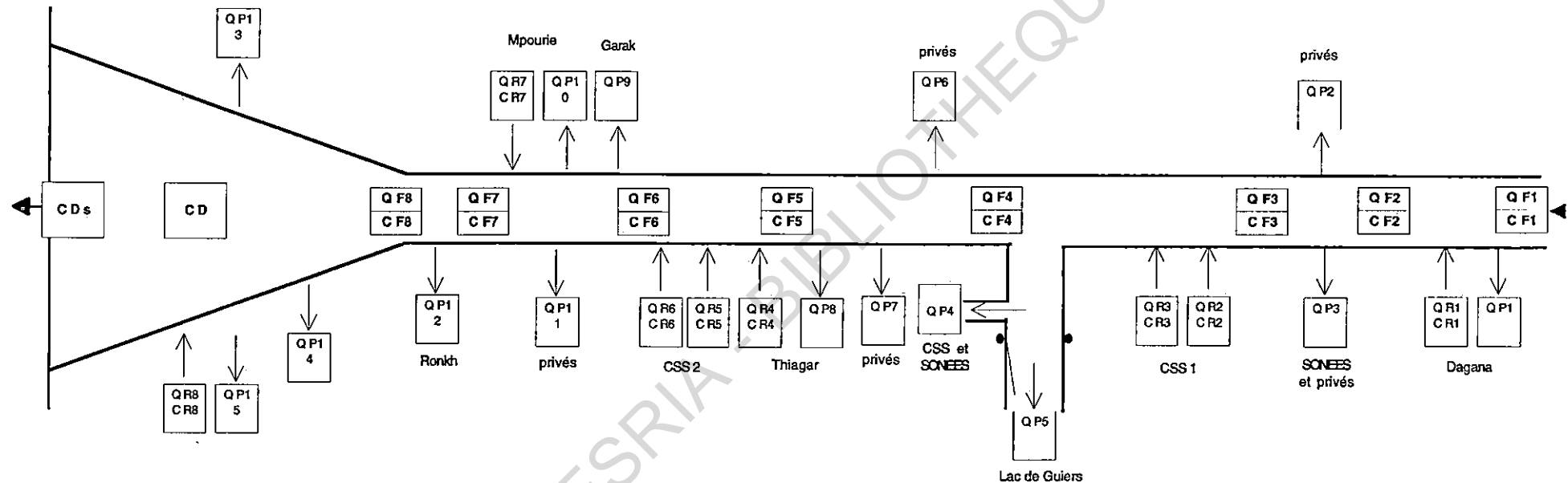


FIGURE 8: PARAMETRES DU BILAN HYDROLOGIQUE ET LEURS INTERVENTIONS QUANTITATIVES (QP, QR) ET QUALITATIVES (QP, QR).

DESIGNATION	CAMPAGNE		
	Riz d'hivernage	Riz de contre saison chaude	Tomate de contre saison chaude
Calendrier des campagnes	du 15/7 au 9/11	du 1/2 au 25/5	du 1/2 au 31/5
Durée de chaque campagne (jours)	120	145	120
Durée de l'irrigation (jours)	100	126	100
Besoins en eau en m3/ha	15-07/14-08=6670 15-08/14-09=4050 15-09/14-10=4330 15-10/09/11=2950	Février= 6220 Mars=4440 avril=4910 Mai= 5140 Juin= 3290	Février= 1750 Mars= 3470 Avril= 4320 Mai= 1460
Total besoin en eau en m3/ha	18000	24000	11000

* Les besoins en eau d'irrigation tiennent compte des volumes d'eau nécessaires pour le contrôle de la salinité et de l'efficacité du réseau d'irrigation.

Tableau 1- Besoins en eau des cultures de riz et de tomate (Source Saed,1993)

En rive sénégalaise, les données des superficies cultivées par les privés sont disponibles auprès de la Saed. En rive mauritanienne, la Sonader dispose de quelques données sur leurs périmètres mais celles des privées sont difficile à obtenir à cause de l'éparpillement des structures de gestion. Afin d'uniformiser les données des deux rives, nous avons estimés les superficies exploités à partir de la carte des périmètres irrigués aménagés en hivernage 1992 (O.M.V.S.,1993).

b°) Irrigation des périmètres anciennement gérés par la Saed

- Le périmètre de Dagana A est situé en bordure du fleuve Sénégal, plus précisément au nord-est de la ville de Dagana. D'une surface brute de 709 ha, ce périmètre est irrigué par la station de pompage A (QP1) qui dispose de 4 pompes immergées alimentées par groupe électrogène. A l'ouest de ce périmètre se situe celui de Dagana B qui a une surface brute de 1874 ha. L'irrigation est assurée par la station de pompage B qui est équipée de 5 pompes immergées alimentées par 2 groupes électrogènes.

- Le périmètre de Thiagar (1419 ha) est situé en bordure du fleuve, près du village de Thiagar, distant de 5 Km de la ville de Rosso-Sénégal. Trois stations de pompage sont en service pour répondre des besoins en eau. La station principale prélève de l'eau dans le fleuve (QP8). Elle est munie d'une pompe Sulzer de 2500 l.s⁻¹ et de 2 pompes Flygt de 850 l.s⁻¹ chacune.

- La petite cuvette du Djoudj est exploitée par les villages environnants de Débi-Tiguet. D'une superficie de 775 ha, le périmètre de Débi est alimenté par une station de pompage située en bordure du fleuve et qui dispose de 3 pompes de 900 l.s⁻¹ chacune.

Ces stations sont gérées par des sections villageoises ou des organisations paysannes. L'annexe 1 présente les caractéristiques des stations de pompage. Les données sur le temps de fonctionnement des pompes sont disponibles dans les stations. Chaque jour, le responsable de station relève les compteurs horaires des pompes qu'il reporte sur un cahier de suivi. Après

dépouillement des cahiers, nous avons traduit les données horaires en unités volumétriques à partir de la formule suivante

$$Q_p = (q_p \cdot r) \cdot H \cdot 3,6$$

Q_p = volume pompé en m^3

q_p = débit nominal de la pompe en $l \cdot s^{-1}$

r = rendement de la pompe

H = nombre d'heures de fonctionnement de la pompe

Nous n'avons pas pu obtenir les données de pompages de l'année 1992 pour les stations de Dagana A et B. Pour les besoins du modèle, nous avons conservés les données de 1993 car les superficies exploitées sont presque identiques.

Remarque

Afin de vérifier s'il existe une utilisation rationnelle des ressources en eau, nous avons comparé les volumes d'eau pompés par les stations à ceux nécessaires aux besoins des plantes. Le test est établi sur les périmètres de Thiagar et Dagana A pour lesquelles nous disposons des données hydrauliques et agronomiques complètes. Les résultats sont présentés au tableau 2.

Nom de la station	Thiagar	Dagana A
Spéculation	Riz d'hivernage et riz de contre saison chaude	Riz d'hivernage
Superficies mises en culture en ha *	1487,34	657,42
Besoins totaux en eau en m^3 **	27 840 540	11 833 560
Volumes d'eau pompées en m^3	67 922 064	25 284 636
Différence	+40 081 524	+13 451 076

Tableau 2- Comparaison entre les besoins en eau et les volumes d'eau pompés à la station de Thiagar (1992) et Dagana A (1993)

* Les chiffres des superficies mises en culture ont été fournis par la Saed qui dispose pour chaque périmètre d'une banque de données informatisée.

** Les besoins totaux en eau sont calculés à partir des normes Saed (tableau 1)

L'analyse des données fait ressortir une énorme différence entre les volumes d'eau réellement pompés par les stations et les besoins en eau des cultures. Une étude plus détaillée des pratiques d'irrigation et des charges hydrauliques devront être faites pour optimiser la gestion de l'eau dans les périmètres irrigués.

c°) La compagnie sucrière sénégalaise (C.S.S.)

Elle exploite trois casiers de canne à sucre dont la superficie totale est estimée à 7500 ha. Les pompages (QP4) sont effectués dans le fleuve Sénégal ou dans le lac de Guiers en fonction du jeu des barrage sur la Taoué. La CSS dispose de deux stations de pompage. La station principale de Richard-Toll est équipée de 4 pompes Sulzer (1 à diesel et 3 électriques) et de 4 autres pompes de type Flygt toutes électriques. La station de Ndombo est équipée de trois pompes (1 diesel et 2 électriques) de $2 m^3 \cdot s^{-1}$ chacune.

Les données sur le temps de fonctionnement des pompes sont disponibles au service Irrigation-Drainage. Celles de l'année 1992 n'ont pas été fournies par la C.S.S.. Pour les besoins du modèle, nous avons conservé les données de la campagne 1987-1988 en supposant que les superficies irriguées n'ont pas changé.

d°) La ferme de Mpourié

Elle a une superficie nette irrigable de 1400 ha. Située à l'ouest de la ville de Rosso-Mauritanie, elle est exploitée par 37 groupements précoopératifs de paysans qui cultivent chaque année 1000 ha destinés à la riziculture (campagne d'hivernage). L'irrigation est effectuée à partir d'une station de pompage qui dispose de 3 pompes dont les caractéristiques et le temps de fonctionnement n'étaient pas disponibles à cause des travaux de réhabilitation. Les volumes d'eau pompés (QP10) sont estimés à partir des besoins en eau des cultures suivant les normes Saed (tableau 1).

1 - 1 - 1 - 2 Alimentation en eau des défluent

L'admission de l'eau dans les défluent (Gorom, Djoudj, Ndiadier, Dioup etc...) se fait par des ouvrages hydrauliques localisés à l'embouchure des marigots. Les caractéristiques de ces ouvrages sont présentées en annexe 2.

- Les volumes d'eau qui transitent par les ouvrages du Djoudj et du Crocodiles (QP14) en rive gauche sont calculés par la formule suivante (DIOP, 1992):

$$Q_s = m \cdot \Delta \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{1/2}$$

Q_s = débit exprimé en m^3

m = coefficient de débit à l'orifice (=0,61)

Δ = section de l'écoulement (=nombre de vannes*largeur des vannes *ouverture)

g = accélération de la gravité (=9,8 m/s^2)

H = charge hydraulique = niveau amont-niveau aval (en m)

- A l'origine de l'axe Gorom-Lampsar se trouve la station de pompage de Ronkh qui ne fonctionne que durant une période de l'année seulement (février à juin). A partir du mois de juillet, période d'arrivée de la crue fluviale, la station fonctionne en gravitaire jusqu'en janvier. Equipée de 4 pompes totalisant 8500 l.s^{-1} , la station de pompage permet durant 5 mois l'alimentation 20 périmètres totalisant 3555 ha. A cause des travaux de réhabilitation de la station, les données relatives aux volumes d'eau pompés (QP12) et ceux transitant par l'ouvrage vanné n'ont pu être obtenues. Leur estimation a été établie sur base des besoins en eau des périmètres irrigués installés le long de l'axe.

La même stratégie a été utilisée pour calculer les volumes d'eau nécessaires à l'alimentation du Garak (QP9) en rive mauritanienne dont les surfaces mises en cultures sont estimées à 788 ha en 1992 (O.M.V.S., 1993).

- Le laboratoire de géochimie de l'Orstom (EVORA, 1993) a mis au point un logiciel de gestion prévisionnel des eaux du lac de Guiers (L.G.P.L.G.). Ce dernier nous a permis de calculer les apports fluviaux au lac (QP5) en période d'ouverture du barrage de Ndombo (B2). En période de fermeture l'admission de l'eau vers le lac est nulle, mais l'ouverture du pont barrage de Richard-Toll (B1) permet à la C.S.S. et à la Sonees d'effectuer leurs prélèvements (figure 9).

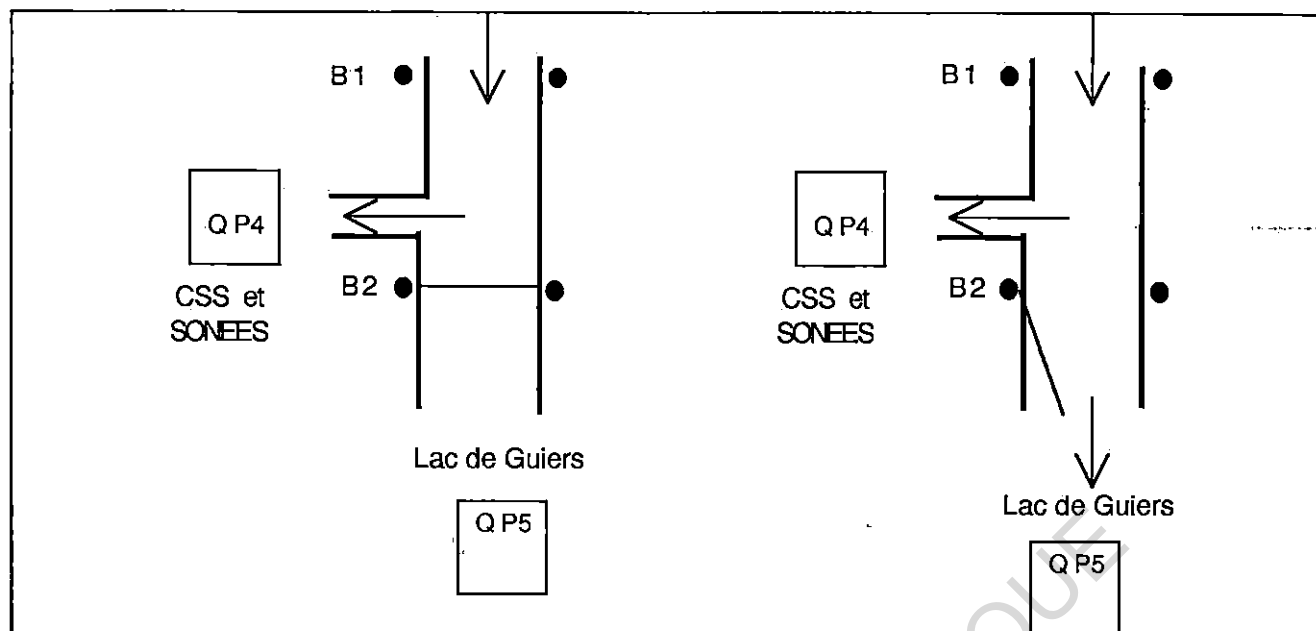


Figure 9: Alimentation du lac de Guiers en fonction du jeu des barrages sur la Taoué (B1, B2)

- En rive mauritanienne, les données sur la gestion des ouvrages sont disponibles à la Cellule Provisoire de Gestion des Barrages de L'O.M.V.S. L'insuffisance des relevés limnimétriques en amont et aval des ouvrages du Gouère, Dioup, Aftout es Sahéli et Lemer (QP13), nous oblige à faire des estimations volumétriques à partir du débit théorique transitant par les vannes. En saison sèche, ces différents ouvrages permettent une inondation des zones de pâturage. Dans ce cas, nous supposons que 25% des débits journaliers de chaque ouvrage suffirait à assurer une alimentation correcte. En hivernage, l'ouverture des ouvrages du Dioup, de l'Aftout es Sahéli et du Gouère permet la satisfaction des besoins en eau de la culture du riz, en plus de l'inondation des zones de pâtures. A cet effet, nous estimons que 50% des débits journaliers de chaque ouvrage suffiraient à couvrir tous ces besoins.

1 - 1 - 1 - 3 La production d'eau potable

La ville de Rosso-Mauritanie dépend de la Société Nationale d'Eau et d'Electricité (Sonelec) pour son approvisionnement en eau de boisson. Cette société dispose d'une station de traitement mis en service en 1954 et élargie en 1986. L'eau brute provenant du fleuve est stockée dans une réserve à deux compartiments d'une capacité totale de 400000 m³ environ. La production mensuelle de la station est estimée 32000 m³.

A Richard-Toll, la Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (Sonees) dispose d'une station de traitement qui tire son eau brute du canal de la Taoué. D'une capacité de traitement 2000 m³.j⁻¹, la station ne peut refouler que 1700 m³ j⁻¹. d'eau traitée dans les châteaux d'eau. Le réseau Sonees de Richard-Toll dessert aussi le centre voisin de Rosso-Sénégal dont la population est estimée à 5500 habitants. Mise en service en 1963, la station de traitement des eaux de Dagana a une capacité de 11000 m³ par jour.

Vu la faiblesse des pompages pour l'alimentation en eau des villes riveraines, nous avons incorporé leurs données dans celles des pompages pour l'irrigation (QP3, QP4).

1 - 1 - 2 Les rejets d'eau de drainage des cultures (QR)

- Les stations de drainage de la C.S;S. comportent 4 points de rejets dans le fleuve

* les stations KH1 (QR2) et KH2 (QR3) sont des stations mixtes (pompage-drainage). Pour chacune d'elle, il existe une pompe Stork qui permet de drainer l'eau du casier est vers le fleuve Sénégal. L'eau usée peut être aussi mélangée à celle du canal en ouvrant la vanne située sur le côté du canal.

* La station X1 (QR5) dotée d'une pompe Stork déverse ses eaux dans le fleuve Sénégal.

* la station X5 (QR6), située au nord ouest, déverse ses eaux dans le drain du Natchié.

Les données sur le temps de fonctionnement des pompes sont disponibles au service Irrigation-Drainage. Celles de l'année 1992 n'ont pas été fournies par la C.S.S. Pour les besoins du modèle, nous avons conservé les données de la campagne 1987-1988 en supposant que les superficies drainées n'ont pas changé.

- Drainage des périmètres anciennement gérés par la Saed

* La station de pompage de Dagana A (QR1) assure également la fonction d'exhaure pour l'assainissement d'une surface totale brute de 2643 ha. L'évacuation des eaux usées vers le fleuve est assurée par 4 pompes d'irrigation plus une pompe immergée pour le drainage proprement dit des sols.

* La station d'exhaure de Thiagar (QR4) permet l'évacuation des eaux excédentaires du périmètre vers le drain du Natchié. La station est dotée de 2 pompes Flygt de 850 l.s⁻¹ chacune.

* L'assainissement du périmètre de Débi (QR8) est également assuré par la station de pompage qui dispose de deux pompes Flygt de 575 l.s⁻¹ chacune.

Ces stations sont gérées par des sections villageoises ou des organisations paysannes. Les données sur le temps de fonctionnement des pompes sont disponibles dans les stations. Chaque jour le responsable de station relève les compteurs horaires des pompes qu'il reporte sur un cahier de suivi. Après dépouillement des cahiers, nous avons traduit les données horaires en unités volumétriques à partir de la formule suivante:

$$QR = (qp \cdot r) \cdot H \cdot 3,6$$

QR= volume rejeté en m³

qp= débit nominal de la pompe en l.s⁻¹

r= rendement de la pompe

H= nombre d'heures de fonctionnement de la pompe

- La ferme de Mpourié dispose d'une station de drainage sur le fleuve. En raison des travaux de réhabilitation, les caractéristiques des pompes et leur temps de fonctionnement n'ont pu être obtenus. Pour les besoins du modèle, nous avons extrapolé celles de Thiagar puisque les superficies irriguées en 1992 par les deux périmètres sont presque identiques.

- Enfin les périmètres privés et ceux de la Sonader ne disposent pas d'un réseau de drainage planifié. Les excédents d'eau sont évacués en contrebas des périmètres créant ainsi des mares temporaires qui contribuent à la salinisation de ces terres.

1 - 1 - 3 Lâchers à Diama (Qs)

Afin de maintenir le niveau d'eau à la cote de gestion 1,50 m des lâchers quotidiens sont effectués au barrage de Diama durant une bonne partie de l'année. Le barrage de Diama comprend 7 passes munies de vannes relevables automatiquement dont la largeur est de 20 m chacune. En 1992, les vannes n'ont été fermées que durant les mois de février et mars pour permettre le remplissage de la réserve. Les volumes d'eau lâchés (Qs) sont calculés par la formule hydraulique suivante (KANE 1993)

$$Qs = C.A.(2g.DH)^{1/2}$$

Qs= débit exprimé en m³

D= coefficient de débit à l'orifice (sans dimension)

A= superficie de l'orifice (en m²)

g= accélération de la gravité (=9,8 m/s²)

DH= charge hydraulique =niveau amont-niveau aval (en.m)

1 - 1 - 4 Bilan évaporation-pluviométrie (Qév-pl)

Il est établi en fonction de la surface et du volume de la zone située entre Dagana et Diama. D'après nos estimations, cette portion représente environ 64% de la superficie et 68% du volume de la réserve de Diama. Les formules qui permettent de calculer la surface (S) et le volume (V) sont les suivantes

$$S = \frac{(160,53 + (1,439.H) + (38,8976.H^2) + ((507,49434.H^3) - (478,13964.H^4) + (136,68929.H^5))) * 64\%}{1}$$

$$V = \frac{(0,97 + (145,8.H) + (28,97.H^2) + (52,782.H^3)) * 68\%}{1}$$

H= niveau limnimétrique à Diama en m

Les données pluviométriques sont fournies par le laboratoire d'hydrologie-pédologie de la CSS qui dispose de 16 postes pluviométriques et 3 stations agrométéorologiques. Les apports pluviométriques directs(Qpl) sur le fleuve sont calculés à partir de l'équation suivante

$$Qpl = (P.S)/1000$$

P= pluie en mm

S= surface du bassin le jour de l'averse

La construction des digues de rive droite et gauche a rétréci le bassin. C'est pourquoi un coefficient de 10% a été appliqué.

L'évaporation (Qév) de la réserve est obtenue par extrapolation des données de l'évaporation du lac de Guiers disponibles à l'Orstom. L'évaporation du lac est calculé à partir des données du Bac classe A à la station de Richard-Toll. Les observations quotidiennes sont ensuite traduites en hauteur d'eau évaporée sur le lac en utilisant les coefficients mensuels E lac/E bac précisés sur le long terme (1976/1989) par COGELS(1991). Pour obtenir les volumes d'eau évaporés nous avons multiplié la hauteur d'eau évaporée par la surface de la réserve entre Diama et Dagana.

1-1-5 Les apports fluviaux (QF1)

Ils sont calculé à partir de l'abaque hauteur/débit dont l'équation polynomiale se présent comme suit

$$Q_{Dagana} = 90,7 + H + 0,02654 \cdot H^2 - 0,0000366 \cdot H^3$$

Q_{Dagana} = apports fluviaux à l'entrée de Dagana en m^3
 H = niveau limnimétrique à Dagana en m

L'aménagement du fleuve par l'O.M.V.S. en 1985 a bouleversé le régime hydrologique naturel. Par conséquent, la relation hauteur/débit présenté ci-dessus n'est plus valable à cause des remous du barrage de Diama qui freinent les vitesses. Pour les besoins du modèle, nous avons calculé les apports fluviaux (QF) à partir de l'équation du bilan hydrologique de la réserve.

$$QF1 = QR - QP - Qs + \Delta(Q_{\text{év-pl}})$$

QP = volume d'eau prélevé pour l'irrigation, la production d'eau potable et l'alimentation des défluent (m³)

QR = volume d'eau rejeté par les stations de drainage (m³).

Qs = volume d'eau lâché au barrage de Diama (m³).

$\Delta(Q_{\text{év-pl}})$ = bilan évaporation-pluviométrie.

1 - 2 PRESENTATION DES DONNEES DE QUALITE D'EAU

Le suivi de la qualité des eaux du delta est assuré par les laboratoires des structures agro-industrielles de la place.

La SNTI et la Socas effectuent des analyses de pH, dureté, température et alcalinité sur des eaux brutes et traitées.

La Sonees dispose de deux laboratoires (Sor et Ngnith) qui effectuent journalièrement un bilan ionique sur les eaux brutes de la réserve de Lamptar et sur celles du lac de Guiers. Le suivi bactériologique et des pesticides de ces eaux est assuré par le laboratoire de bactériologie de Saint-Louis, l'Institut Pasteur de Dakar et le Laboratoire de toxicologie de l'Ucad. Par ailleurs, les centres secondaires de Dagana et Richard-Toll envoient mensuellement à Sor des échantillons pour analyse des eaux brutes.

La Saed dispose d'un laboratoire de pédologie à Ross-Béthio. Des analyses de l'eau d'irrigation sont effectuées de manière épisodiques. Les paramètres concernent le pH et la conductivité. De 1989 à 1993, la Saed a assuré un suivi de la salinité des eaux de drainage des stations d'exhaure de Ndong et Gaéla (cuvette de Mboundoum).

La CSS a conçu un programme de suivi de la qualité des eaux d'irrigation et de drainage afin de mesurer l'efficacité du dessalement des parcelles et du rabattement de la nappe. Des échantillons d'eau sont prélevés quotidiennement au niveau des stations de pompage pour le suivi du pH et de la conductivité. Depuis juin 1987, elle effectue des analyses de pollution sur toutes les stations de drainage. Sur la base d'échantillon moyenne mensuelle, les mesures portent sur le bilan ionique et tous les 2-3 mois sur la DBO, la DCO, MES et NO₃

L'absence de données sur la qualité des autres rejets sur le fleuve, nous oblige à extrapoler celles de la CSS. Nous avons supposé que les périmètres sont installés sur des sols à texture et à salinité semblables à ceux du casier sucrier. Des analyses comparatives entre le laboratoire de la CSS et celle de L'Orstom ont été effectuées en juin-juillet 1994 pour tester la fiabilité des données. Les résultats d'analyse de chlorure montrent une bonne corrélation entre les deux laboratoires. Les données de la station KH1 (CR2) ont été extrapolées à Dagana (CR1), celles

de la station X5 (CR5) à Thiagar (CR4), Mpourié (CR7) et Débi (CR8). La localisation de ces divers paramètres est schématisé à la figure 8.

1 - 3 CALCUL DES TERMES DU MODELE

Le processus évolutif de la qualité des eaux va être complexe vu le nombre de paramètre qui intervient. Afin de préciser les effets quantitatifs et qualitatifs de chacun, nous avons scindé le fleuve en 8 zones définies comme suit

- la zone 1 est sous l'influence des pompages et rejets des périmètres Dagana A et B (QP1, QR1, CR1).

- la zone 2 est sous l'influence des pompages des périmètres privés et Sonader en Mauritanie ainsi que de ceux de la Sonees à Dagana

- la zone 3 est sous l'influence des rejets C.S.S. (QR3, CR3 et QR4, CR4) ainsi que des transfères vers le lac de Guiers.

- la zone 4 est sous l'influence des pompages des périmètres privés (QP6 et QP7) et de ceux de Thiagar (QP8).

- la zone 5 est sous l'influence des rejets de Thiagar (QR4, CR4) et de la C.S.S. (QR5, CR5 et QR6, CR6)

- la zone 6 est sous l'influence des pompages des périmètres du Garak (QP9), de ceux situés au Sénégal (QP11) et des pompages et rejets de la ferme de Mpourié (QR7, CR7 et QP10).

- la zone 7 est sous l'influence des transferts d'eau vers le Gorom (QP12)

- enfin la zone 8 qui va de Ronkh à Diama est sous l'influence directe des transferts d'eau vers les défluent mauritaniens (QP13), de ceux du Djoudj et de Crocodiles (QP14) et des rejets et pompages du périmètre de Débi (QP15, QR8, CR8).

Des formules sont appliquées à chaque zone pour estimer le volume et la concentration chimique.

Les termes hydrologiques (QF) sont calculés à partir de l'équation du bilan hydrologique

$$QF = QR - QP + \Delta(Qév - pl)$$

QF= débits fluviaux

QP= volume d'eau pompé

QR =volume d'eau rejeté

$\Delta(Qév - pl)$ = bilan évaporation, pluviométrie

Calcul des termes qualitatifs (CF)- Les matières rejetées dans les eaux de surface participent de façon spécifique aux processus physiques, aux réactions chimiques et aux cycles biologiques qui se développent dans le milieu récepteur. Par conséquent, ces rejets exercent une influence sur ce dernier. Le mélange des rejets avec les eaux du fleuve est un processus de dispersion qui est fonction de la vitesse d'écoulement (HUBERT, 1984). Si un effluent de débit q et de concentration c se déverse dans un cours d'eau de débit Q et de concentration C , la concentration résultante (Cr) après mélange, sera de:

$$Cr = (Q.C) + (q.c) / (Q + q)$$

L'application de cette formule de dilution n'est valable que dans le cas d'un régime fluvial c'est à dire durant la période d'ouverture des vannes à Diama. En période de fermeture (février et mars), la réserve de Diama est considérée comme un grand lac où, du fait de la relative stagnation des eaux, on assiste à un accroissement des phénomènes de concentration. Dans ce cas précis, la concentration moyenne de l'élément x (C_r) au temps t sera égale au stock de l'élément (M) présent à ce moment divisé par le volume de la réserve (V)

$$C_r(t) = M(t)/V(t)$$

C_r = concentration de l'élément dans la réserve

M= stock de l'élément au temps t

V= volume de la réserve au temps t

Cette formule est appliquée dans la zone comprise entre Diama et Ronkh, qui est celle directement influencée par la gestion des vannes du barrage.

Au total 17 sous-modèles permettent de calculer les termes QF2 à QF 8, CF2 à CF8 ainsi que CD et CDs. Le tableau 3 précise le mode de calcul de chaque terme et la figure 7 donne leur localisation.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Tableau 3: Calcul des différents termes hydrologiques et qualitatifs du modèle

	TERMES	MODE DE CALCUL
1	QF2	$QF1-QP1+QR1+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 1
2	CF2	$((QF1-QP1)*CF1)+(QR1*CR1)/QF1-QP1+QR1+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 1
3	QF3	$QF2-QP2-QP3+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 2
4	CF3	$QF2*CF2/QF2-QP2-QP3+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 2
5	QF4	$QF3+QR2+QR3-QP4-QP5+Q(\acute{e}v-pl)$ zone 3
6	CF4	$(QF3*CF3)+(QR2*CR2)+(QR3*CR3)/QF3+QR2+QR3-QP4-QP5+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 3
7	QF5	$QF4-QP6-QP7-QP8+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 4
8	CF5	$QF4*CF4/QF4-QP6-QP7-QP8+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 4
9	QF6	$QF5+QR4+QR5+QR6+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 5
10	CF6	$(QF5*CF5)+(QR4*CR4)+(QR5*CR5)+(QR6*CR6)/QF5+QR4+QR5+QR6+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 5
11	QF7	$QF6-QP9-QP10-QP11+QR7+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 6
12	CF7	$((QF6-QP9-QP10-QP11)*CF6)+(QR7*CR7)/QF6-QP9-QP10-QP11+QR7+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 6
13	QF8	$QF7-QP12+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 7
14	CF8	$QF7*CF7/QF7-QP12+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ zone 7
15	CD op.lac*	M selD/VD
16	CDop.fleuve*	$QF8*CF7+QR8*CR8/QF8+QR8+\Delta(Q\acute{e}v-pl)$ s zone 8
17	CDs	$((QF8-QP13-QP14-QP15)*CF8)+(QR8*CR8)/QF8-QP13-QP14-QP15+\Delta Q\acute{e}v-PI$ zone 8

* Concentration de l'élément chimique à Diama suivant un régime hydrologique de type lacustre ou fluvial.

CHAPITRE 2 TEST D'APPLICATION DU MODELE

Le modèle est testé sur l'année 1992 qui est celle pour laquelle nous disposons des données hydrologiques et agronomiques complètes. Le test est établi sur la salinité car c'est la seule donnée qualitative actuellement disponible. Le calcul de la salinité est effectué à un pas de temps journalier durant une année. Pour un meilleur lissage des courbes de simulation, les résultats graphiques sont obtenus sur base de moyenne mobile à 10 jours.

Le modèle sera utilisé pour

- établir le bilan hydrologique de la réserve;
- simuler l'évolution de la salinité des eaux entre Dagana et Diama;
- simuler des options de gestion qui limiteraient les effets négatifs des rejets sur l'environnement.

2 - 1 BILAN HYDROLOGIQUE DE LA RESERVE EN 1992

L'évolution de la réserve est sous la dépendance de la gestion concertée des barrages de Diama et de Manantali, de la satisfaction des demandes en eau pour l'irrigation, de l'alimentation en eaux des agglomérations, du remplissage gravitaire des défluent, du volume d'eau de drainage rejeté et de l'évaporation. La figure 10 présente le schéma général des apports et des pertes au niveau de la réserve de Diama.

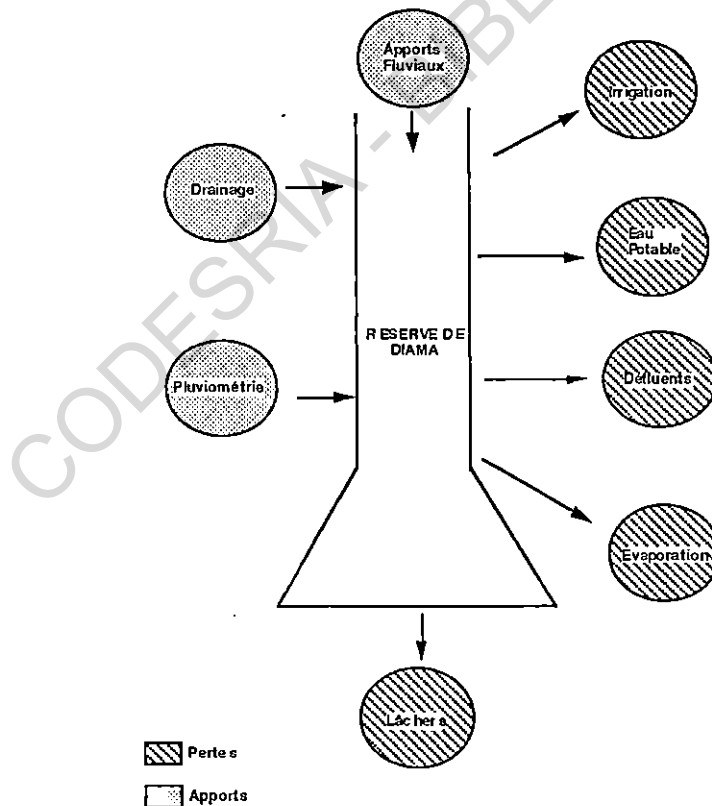


Figure 10 Bilan hydrologique de la réserve de Diama

Le modèle permet de calculer annuellement la valeur de chacun de ces paramètres. En 1992, le bilan hydrologique de la réserve dans sa partie comprise entre Dagana et Diama se présente comme suit

- au rang des apports: Les apports fluviaux transitant par Dagana représentent 98% du total contre 1,5% pour le drainage. La faiblesse de cette dernière va entraîner leur dilution importante en période de crue fluviale. Le tableau 4 présente pour chaque station les volumes d'eau rejetés dans le fleuve. Enfin l'apport pluviométrique est faible puisqu'il ne représente que 0,5% du total.

Nom de la station	Dagana A (QR1)	KH1 (QR2)	KH2 (QR3)	X1 (QR5)	X2 (QR6)	Thiagar (QR4)	Débi (QR8)	Mpourié (QR7)
Volume rejeté (Million m3)	31,2	21,1	44,8	25,2	12,5	5,4	2,8	5,4

Tableau 4- Estimation des volumes d'eau de drainage rejetés par les stations d'exhaure du delta.

- Au rang des pertes: les lâchers journaliers au barrage de Diama sont très importants puisque ils représentent 73% des pertes annuelles. Une telle gestion de la réserve aura des conséquences sur les zones situées en aval du barrage. En cas d'année exceptionnellement pluvieuse, la combinaison entre les importants lâchers et les fortes pluies peut favoriser une inondation des zones ne disposant pas de digue de protection tout en compromettant sérieusement les cultures de décrue.

Les pertes dues à l'évaporation et à l'alimentation des défluent (Gorom, Djoudj, Garak, Dioup, Ndiadier etc...) représentent respectivement 11,5% et 12,5% du total. Le tableau 5 présente l'estimation des volumes d'eau pour l'alimentation des défluent. Le volume d'eau prélevé pour l'irrigation est faible avec 3% des pertes annuelles.

Nom du défluent	Ensemble Djoudj, Crocodiles (QP14)	Gorom (QP12)	Lac de Guiers (QP5)	Garak (QP9)	Ensemble Gouère, Dioup, Aftout, Lemer (QP13)
Volume (Million m3)	1,1	126,5	784,9	14,7	484,3

Tableau 5- Volumes d'eau écoulés dans les défluent du fleuve Sénégal (région du delta) en 1992

2-2 SIMULATION DE L'EVOLUTION DE LA SALINITE DES EAUX FLUVIALES ENTRE DAGANA ET DIAMA

L'évolution moyenne annuelle de la salinité entre Dagana (CF1) et Diama (CD et CDs) est présenté à la figure 11. Elle montre l'existence d'un gradient caractérisé par

- une relative stabilité de la salinité à 55-60 mg.l⁻¹ de Dagana (CF1) jusqu'aux rejets de la C.S.S. et de Thiagar (CF5).

- une augmentation nette de la salinité qui atteint 80 mg.l⁻¹ de la hauteur du Natchié (CF6) à Ronkh (CF8) .

- enfin à Diama la salinité atteint 89 mg.l⁻¹ soit une augmentation de 61,8% par rapport à Dagana.

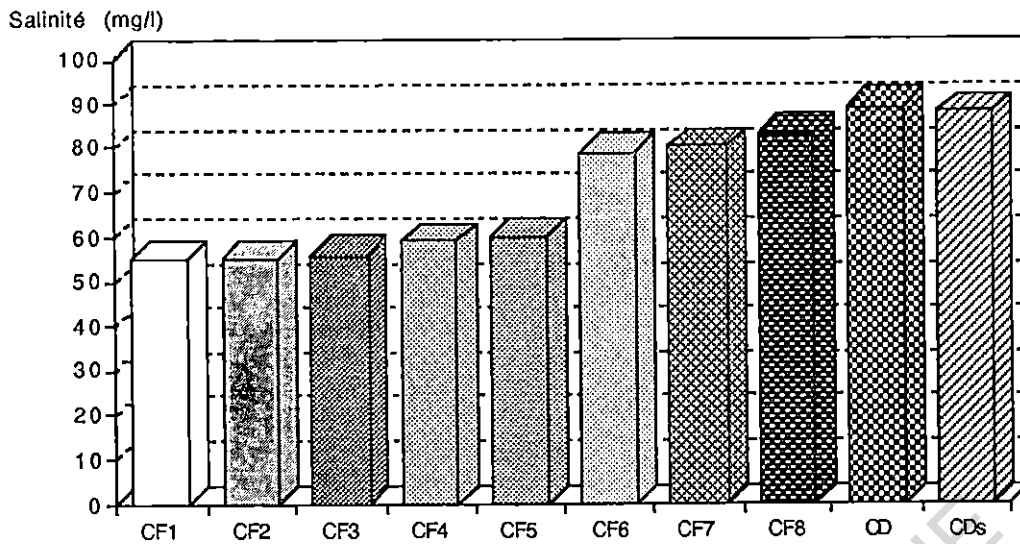


Figure 11: Simulation de l'évolution moyenne annuelle de la salinité des eaux (mg.l^{-1}) entre Dagana (CF1) et Diama (CD, CDs).

Quatre stations de référence sont choisies pour expliquer les causes de ce gradient. Ils concernent

- Dagana (CF1) qui servira de base à l'étude de l'évolution de la salinité.
- Richard-Toll (CF4) permettra de voir l'impact des rejets de Dagana A (QR1), de la CSS (QR2 et QR3) ainsi que des divers pompages (QP1, QP2, QP3).
- Ronkh (CF8) déterminera l'impact des transferts vers le lac de Guiers (QP5) et le Gorom (QP12), des pompages divers (QP7 à QP11) et des rejets de Thiagar (QR4), de la C.S.S. (QR5, QR6) et de Mpourié (QR7)
- Diama (CD) permettra de déterminer l'impact des lâchers au barrage (Qs), des transferts vers les défluent de rive droite (QP 13) et ceux du Djoudj et Crocodiles (QP15) ainsi que des pompages et rejets du périmètre de Débi (QR8, QP15).

La figure 12 et le tableau 6 présentent les résultats des simulations de l'évolution de la salinité aux 4 stations.

En période hors crue (janvier-juillet), la salinité des eaux est élevée à Ronkh (CF8) et Diama (CD). On observe un premier pic de salinité de 130 mg.l^{-1} entre le 25 et 31 janvier. La faiblesse des débits fluviaux ($60 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ en moyenne), les pompages pour la production d'eau potable et pour l'irrigation (QP4), et l'évaporation ont entraîné la faible dilution des rejets CSS (QR2, QR2, QR5, QR6). Ceci explique l'augmentation de la salinité de 16% à Richard-Toll, 92,7% à Ronkh et 103% à Diama.

Le pic de salinité le plus important (248 mg.l^{-1}) est observé le 15 mars à Ronkh (fig.6). L'ouverture le 8 mars du barrage de Ndombo sur la Taoué a fortement diminué les débits entre Richard-Toll et Ronkh. Par conséquent, on assiste à une augmentation des valeurs de la salinité suite à la concentration des rejets C.S.S. X5 (QR5) et X1(QR6). Durant cette période, les écarts de salinité entre Dagana, Ronkh et Diama ont plus que doublé (tableau 6).

	CF1	CF4	Δ	CF8	Δ	CD	Δ
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	%	mg.l ⁻¹	%	mg.l ⁻¹	%
Janvier	62,7	72,7	16,0	120,8	92,7	127,4	103,4
Février	65,7	73,1	11,2	107,6	63,6	116,8	77,8
Mars	52,3	60,0	14,7	120,9	131,7	112,7	115,4
Avril	53,6	59,6	11,4	88,8	65,9	103,5	93,2
Mai	52,8	56,4	6,7	75,3	42,6	83,9	58,8
Juin	45,4	49,2	8,4	70,3	54,9	75,8	67,0
Juillet	48,0	50,3	4,8	60,6	26,3	62,7	30,8
Août	49,5	51,5	4,2	60,5	22,3	65,6	32,7
Septembre	55,0	56,4	2,5	60,7	10,3	64,0	16,4
Octobre	61,9	63,5	2,7	69,8	12,8	76,3	23,3
Novembre	55,7	59,4	6,6	73,9	32,6	87,2	56,5
Décembre	55,1	60,3	9,5	83,9	52,3	97,0	76,0

Δ = Ecart de salinité par rapport à Dagana (CF1)

Tableau 6- Résultats de la simulation de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l⁻¹) à Dagana (CF1) Richard-Toll (CF4), Ronkh (CF8) et Diama (CD).

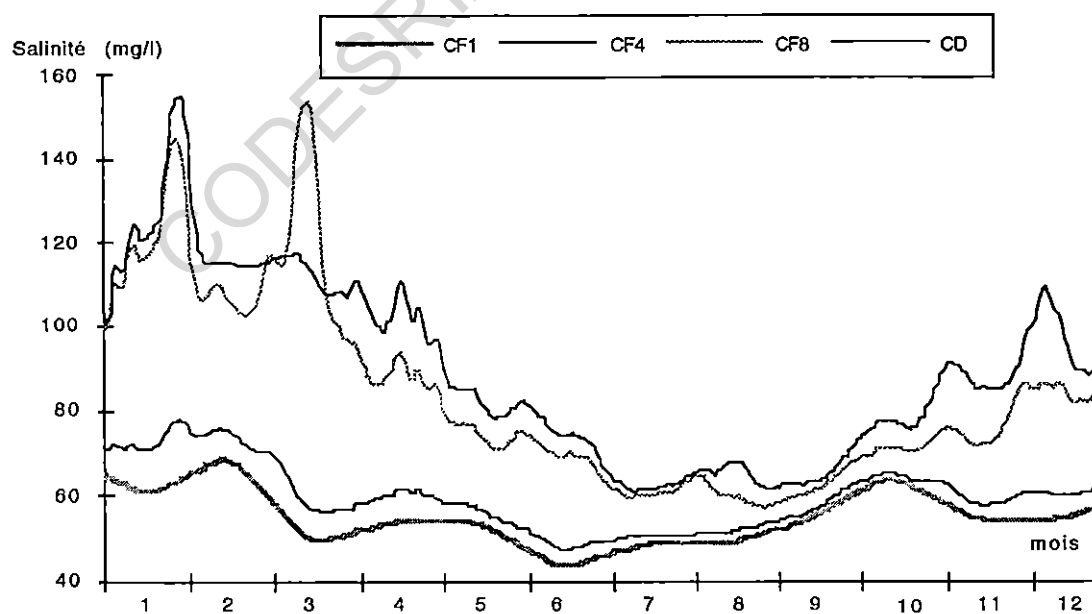


Figure 12- Simulation de l'évolution de la salinité en 1992 à Dagana (CF1), à Richard-Toll (CF4), à Ronkh (CF8) et à Diama (CD).

Amorcée en février, le remplissage de la réserve favorise, cependant, une baisse de la salinité d'avril à juillet (figure 11). Les plus faibles valeurs de la salinité sont d'ailleurs enregistrées durant cette période. Elles sont inférieures à 50 mg.l^{-1} entre Dagana et Richard-Toll; de Ronkh et Diama la salinité se situe entre $70\text{-}76 \text{ mg.l}^{-1}$ (tableau 6). Par ailleurs, l'ouverture des vannes permet de chasser les eaux très minéralisées accumulées au pied du barrage pendant deux mois.

Durant la période de crue (campagne d'hivernage) l'essentiel des terres est mis en culture. On assiste à la multiplication des prélèvements (irrigation, alimentation des défluent), à l'augmentation des rejets dans le fleuve avec le fonctionnement des stations d'exhaure autres que celles de la C.S.S.. Ce qui contribue à la baisse des débits fluviaux et à l'augmentation des concentrations chimiques dans le fleuve. Ces facteurs combinés à l'évaporation expliquent l'augmentation de la salinité des eaux en novembre-décembre (figure 6). A Ronkh, la salinité passe de $60,5 \text{ mg.l}^{-1}$ en août à $83,9 \text{ mg.l}^{-1}$ en décembre; à Diama ces chiffres sont respectivement $65,6 \text{ mg.l}^{-1}$ et 97 mg.l^{-1} (tableau 6).

L'arrivée de la crue fluviale et le remplissage de la réserve permettent de diminuer les écarts de salinité entre les différentes zones. En septembre-octobre, la salinité connaît une faible augmentation de 2,5% de Dagana à Richard-Toll; entre Ronkh et Diama elle ne dépasse pas 24%. A cet effet, la figure 12 montre un rapprochement des courbes de salinité durant ces deux mois.

2 - 3 SIMULATION D'OPTIONS DE GESTION

Le chapitre précédent souligne le rôle qualitatif joué par les rejets sur l'évolution spatio-temporelle de la salinité des eaux fluviales. Trois options de gestion qualitative sont envisagées ici dans le but de limiter leurs effets sur l'environnement aquatique.

- L'option 1 présente la situation actuelle sans aucune intervention sur les rejets. Elle servira de référence pour évaluer l'impact des autres options.
- L'option 2 prévoit la suppression des rejets C.S.S. dans le fleuve.
- L'option 3 simule la situation avec suppression de tous les rejets dans le fleuve

Les simulations porteront sur la salinité et les stations choisies concernent Richard-Toll (CF4) qui déterminera l'impact des rejets de Dagana (QR1) et de la C.S.S. (QR2,QR3); Ronkh (CF8) et Diama (CD) détermineront celui de tous les autres rejets (QR4 à QR8). Les résultats de simulation de l'option 1 ont déjà été présentés à la figure 12 et au tableau 6; ceux des autres options sont indiqués aux figures 13, 14, 15 et aux tableaux 7, 8 et 9.

Rappelons qu'en situation réelle (option 1), l'impact des rejets est surtout perceptible en période hors crue (janvier à juillet). La faible dilution des rejets C.S.S. (QR2, QR3) a entraîné l'augmentation de la salinité à Richard-Toll de 16% en janvier, 14,7% en mars et 8,4% en juin. A Ronkh et Diama, la salinité passe à des valeurs supérieures à 100 mg.l^{-1} avec une pointe de 155 mg.l^{-1} en fin janvier. A partir du mois d'août, l'effet des rejets est à peine perceptible à cause de leur dilution : la salinité reste maintenue à 62 mg.l^{-1} en moyenne excepté en novembre décembre ($+73 \text{ mg.l}^{-1}$).

La suppression des rejets C.S.S. de Kouma Mbilor (option 2) a une faible incidence sur la salinité des eaux à Richard-Toll (CF4). La salinité diminue de 5 à 12% entre janvier et juillet; en période de crue fluviale, elle ne dépasse pas 6%. L'option 2 a des impacts nets à Ronkh et à Diama. Sur la figure 7, on constate la disparition des pics de salinité observés en janvier en option 1 (figure 12). Par ailleurs on note une diminution importante de la salinité:

- à Ronkh (CF8), elle est de 50% en mars, 28% en juillet, 18 à 9% entre juillet et septembre et 29% en décembre.

- à Diama (CD) on note une diminution de 44% en janvier-février, 30% en juin, 13% en septembre et 34,8% en décembre.

Les effets de l'option 3 sont surtout perceptible durant la crue fluviale, période pendant laquelle l'essentiel des stations de drainage sont fonctionnelles. D'octobre à décembre, Diama a enregistré une diminution de -14,5% à -34,5% contre -5,9% et -24,7% pour l'option 2. A Ronkh, la baisse est de -16,8% en Août contre -12,8% pour l'option 2, en novembre ces chiffres sont respectivement -20,4% et -14,3% (Tableau 8). Cette diminution explique le rapprochement des trois courbes de salinité observé sur aux figure 14 et 15.

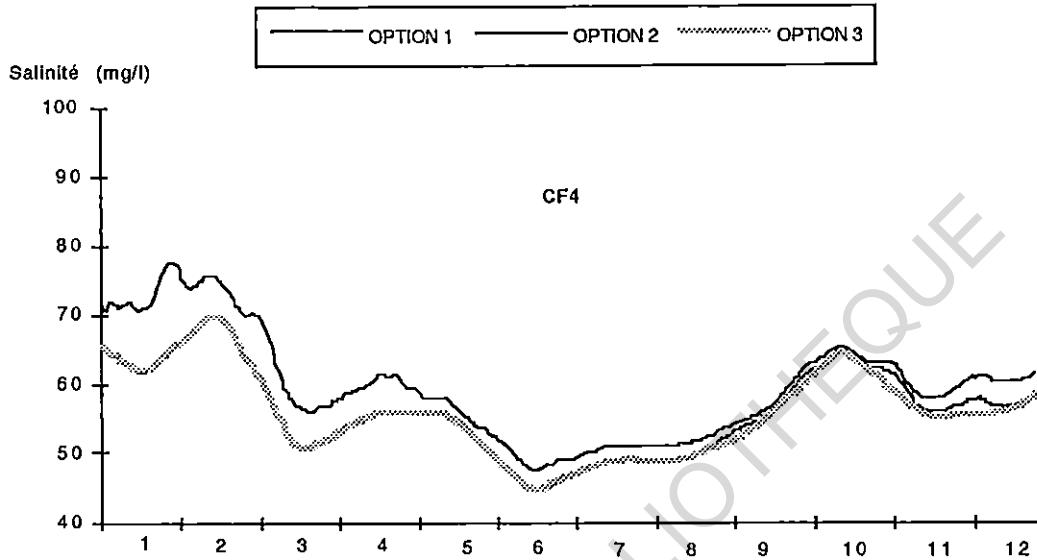


Figure 13 Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Richard-Toll (CF4) selon les 3 options de gestion

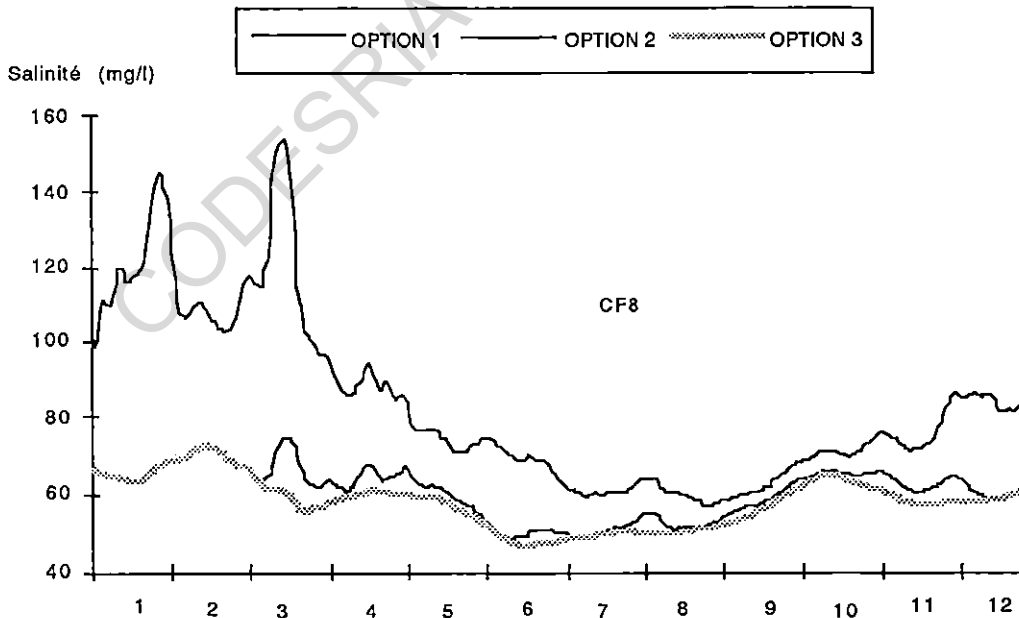


Figure 14 Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Ronkh (CF8) selon les 3 options de gestion

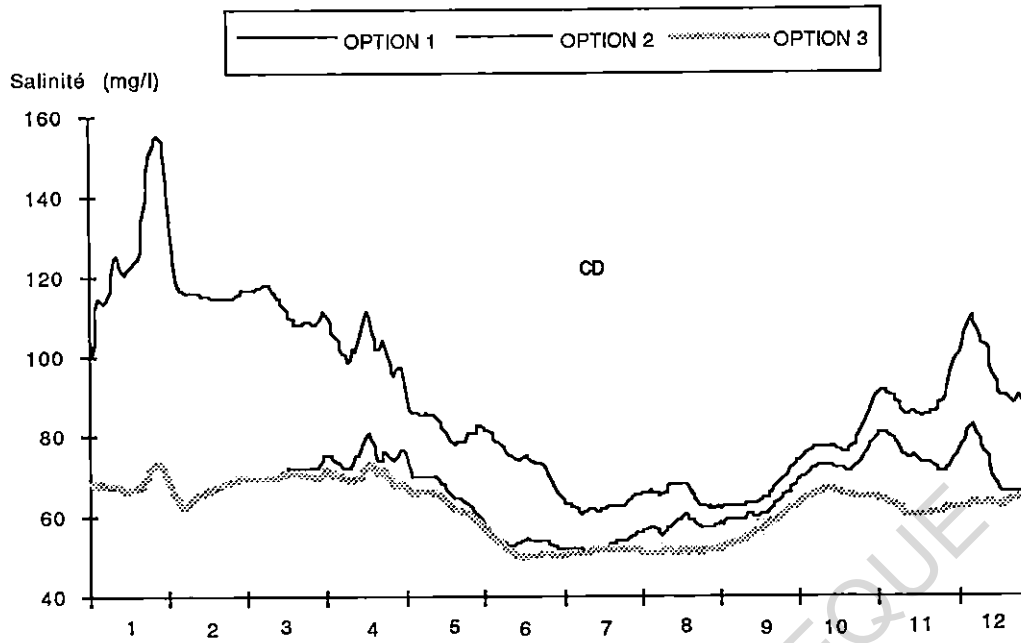


Figure 15 Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Diama (CD) selon les 3 options de gestion

			CF4		
	OPTION 1	OPTION 2	Δ	OPTION 3	Δ
	mg.l^{-1}	mg.l^{-1}	%	mg.l^{-1}	%
Janvier	72,7	63,6	-12,5	63,6	-12,5
Février	73,1	67,1	-8,2	67,1	-8,2
Mars	60,0	53,7	-10,5	53,7	-10,5
Avril	59,6	55,1	-7,6	55,1	-7,6
Mai	56,4	54,2	-3,9	54,2	-3,9
Juin	49,2	46,3	-5,9	46,3	-5,9
Juillet	50,3	48,5	-3,6	48,5	-3,6
Août	51,5	49,9	-3,1	49,7	-3,5
Septembre	56,4	55,8	-1,0	55,1	-2,3
Octobre	63,5	63,0	-0,9	62,4	-1,8
Novembre	59,4	57,9	-2,6	56,6	-4,7
Décembre	60,3	57,3	-5,1	56,2	-6,9

Δ = écart de salinité par rapport à l'option 1

Tableau 7: Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Richard-Toll (CF4) selon les 3 options de gestion.

	CF8				
	OPTION 1	OPTION 2	Δ	OPTION 3	Δ
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	%	mg.l ⁻¹	%
Janvier	120,8	65,8	-45,5	65,8	-45,5
Février	107,6	70,2	-34,8	70,2	-34,8
Mars	120,9	67,3	-44,3	59,9	-50,4
Avril	88,8	64,5	-27,3	60,0	-32,5
Mai	75,3	61,2	-18,8	57,8	-23,3
Juin	70,3	50,6	-28,1	48,6	-30,9
Juillet	60,6	50,9	-16,0	49,6	-18,1
Août	60,5	52,8	-12,8	50,4	-16,8
Septembre	60,7	57,5	-5,2	55,3	-8,8
Octobre	69,8	65,3	-6,4	63,5	-8,9
Novembre	73,9	63,3	-14,3	58,9	-20,4
Décembre	83,9	61,2	-27,0	58,9	-29,8

Δ = écart de salinité par rapport à l'option 1

Tableau 8: Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l⁻¹) à Ronkh (CF8) selon les 3 options de gestion

	CD				
	OPTION 1	OPTION 2	Δ	OPTION 3	Δ
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	%	mg.l ⁻¹	%
Janvier	127,4	68,8	-46,0	68,8	-46,0
Février	116,8	66,6	-43,0	66,6	-43,0
Mars	112,7	71,2	-36,8	70,1	-37,8
Avril	103,5	75,6	-27,0	70,5	-31,9
Mai	83,9	68,2	-18,7	64,4	-23,2
Juin	75,8	54,5	-28,1	52,5	-30,8
Juillet	62,7	52,7	-16,0	51,4	-18,1
Août	65,6	57,8	-11,9	51,3	-21,9
Septembre	64,0	60,8	-4,9	55,7	-12,9
Octobre	76,3	71,8	-5,9	65,2	-14,6
Novembre	87,2	76,2	-12,6	62,3	-28,6
Décembre	97,0	73,0	-24,7	63,2	-34,8

Δ = écart de salinité par rapport à l'option 1

Tableau 9: Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l⁻¹) à Diama (CD) selon les 3 options de gestion

Remarque

Au Sénégal comme en Mauritanie, les schémas d'aménagement prévoient l'implantation de grands émissaires devant servir à drainer les eaux usées des périmètres hydro-agricoles soit dans le fleuve en aval du barrage de Diama (Emissaire rive gauche), soit vers des dépressions utilisées pour le lagunage des eaux usées (Emissaire du Ndiadier en rive droite).

L'impact des ces émissaires sur la qualité de l'eau entre Dagana et Diama est très faible puisqu'ils ne favorisent que la suppression des rejets de Thiagar représentant 3,6% du total du drainage. Par contre des risques environnementaux sont à craindre avec le déversement important d'eaux usées très chargées dans la partie aval du barrage.

CONCLUSION

Les impacts environnementaux des barrages de Diama et de Manantali dans la zone du delta du fleuve Sénégal sont liés d'une part à l'accroissement des populations riveraines et à l'insuffisance des infrastructures sanitaires, d'alimentation en eau et d'assainissement, et d'autre part au développement de l'agriculture irriguée dans la zone.

Bien que financièrement difficile et moralement éprouvant, cette étude sur la gestion qualitative des eaux dans le delta du fleuve Sénégal, fut intéressante à tout point de vue. Contrairement à ce que pense bon nombre de personnes comme quoi "disposer d'une eau en quantité suffisante apparaît bien souvent un impératif supérieur à celui de disposer d'une eau de bonne qualité", les problèmes qualitatifs des eaux sont bel et bien vécus par les populations touchées par les maladies hydriques. Les agriculteurs et industriels ne sont pas du reste car des coûts supplémentaires sont dégagés pour lutter contre l'envahissement des plantes aquatiques ainsi que pour assurer une meilleure qualité de l'eau distribuée. A cela s'ajoute le climat de suspicion qui anime les divers utilisateurs dès qu'un problème de pollution se présente.

L'intérêt de ce travail réside aussi dans l'élaboration du modèle de gestion qualitative des eaux fluviales qui nous a permis de disposer d'une banque de données sur la gestion de l'eau dans le delta et de mettre à la disposition des gestionnaires un outil de simulation efficace leur permettant de mieux orienter leur politique de gestion des ressources en eau.

Cependant l'élaboration de ce modèle ne s'est pas faite sans problèmes. Ils sont inhérents à l'étendue de la zone d'étude (delta sénégalais et mauritanien), au nombre de paramètres qui intervient, à la fragmentation des structures de gestion de l'eau, aux travaux de réhabilitation en cours dans le delta et à l'indisponibilité des données qualitatives. Ceci explique les nombreuses extrapolations faites lors du test d'application du modèle. A l'avenir, il serait intéressant dans le cadre d'une thèse de troisième cycle de mieux l'affiner sur la base de données plus fiables et complètes et en le testant sur d'autres paramètres tels que les pesticides, azote, phosphore etc... Pour cela les recherches devront être orientées :

Au plan hydrologique

- à la collecte mensuelle du nombre d'heures de fonctionnement des stations de pompage-drainage afin de créer des fiches de suivi. Des enquêtes auprès des organisations paysannes sont nécessaires pour comprendre la gestion de ces stations.

- * au dénombrement des groupes moto-pompes (G.M.P.) à chaque campagne et concevoir des fiches de suivi où seront mentionnés leurs caractéristiques, le nombre d'heure de fonctionnement et leurs états.

- * à la conception de fiches journalières où seront mentionnées les niveaux amont-aval des différents ouvrages vannés. Des données complémentaires sur les nouvelles caractéristiques de ces ouvrages et les mouvements des vannes sont essentielles pour calculer les débits.

Au plan qualitatif

- * Un programme complet d'échantillonnage pourra être mené en fonction des calendriers culturels. Trois stations tests seront choisis (Dagana, Ronkh et Diama) pour mesurer l'évolution de la qualité des eaux fluviales.

- * Des échantillons seront prélevés aux différentes stations de drainage pour la caractérisation des eaux usées.

Au plan agronomique des enquêtes au niveau des producteurs permettront:

- * de déterminer les surfaces mises en culture ainsi que les différentes spéculations associées.
- * de connaître le calendrier de chaque campagne afin de déterminer le nombre de jours d'irrigation et de drainage.
- * de disposer d'informations sur les conditions d'utilisation des engrais et pesticides

La banque de données constituée, on pourra tester la fiabilité du modèle en faisant des comparaisons entre les résultats simulés et ceux recueillis sur le terrain. Par ailleurs, la simulation du comportement de la réserve après la mise en fonction du canal du Cayor permettra d'évaluer son impact sur la gestion de la réserve de Diama.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

BIBLIOGRAPHIE

BA A. 1994 - Aspects juridiques et institutionnels de la gestion de l'environnement (rive droite), 10 pages. In "Etude des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal" O.M.V.S, 1994, 131 pages

COGELS F.X. 1991 - L'évaporation du lac de Guiers (sénégal) de 1976 à 1989. Bilan et essai d'interprétation. Rapport C.E.E. (projet Equesen), 25 pages.

COGELS F.X. 1993 - Premiers effets des barrages du fleuve Sénégal sur l'hydrologie, la qualité des eaux et la végétation aquatique du lac de Guiers. Rev. Hydrobiol. Tropicale 26 (2): pp 105-117

COGELS F.X. 1994 - La qualité des eaux de surface dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers, 48 pages. In "Etude des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal" O.M.V.S., 1994, 131 pages

DEJOUX C. 1988 - La pollution des eaux continentales africaines
Editions ORSTOM Collection Travaux et Documents n° 213, 513 pages

DIOP M.D. 1992 - Hydrologie du bassin du Djoudj. Mémoire de maîtrise. Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de géographie Ucad, 144 pages.

DIOP M.D. 1993 - Critères de surveillance de la qualité des eaux menacées d'eutrophisation. Application à la problématique du lac de Guiers. Rapport de stage Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon Belgique 15 pages.

DIOP M.D. 1994 - Approche méthodologique pour l'étude des nutriments au lac de Guiers. Rapport de stage Orstom, 26 pages

EVORA N.D. 1992 - Utilisations et applications pratiques du modèle d'aide à la gestion des eaux du lac de Guiers (modèle L.G.P.L.G.). Alternatives de gestion actuelle et future. Rapport C.E.E., projet Equesen, 47 pages

FEACHEM R.G. 1983 - Sanitation and disease: Health aspects of excreta and wastewater management (World bank studies in water supply and sanitation 3, Washington, D.C., 1983)

HUBERT P. 1984 - Eau puscul: une introduction à la gestion de l'eau. Editions Marketing, Paris 1984, 192 pages.

ISRA 1991 - Inventaires des motopompes en fonctionnement dans le delta pendant la saison sèche chaude et l'hivernage 1991. Rapport analytique des travaux de recherche en gestion de l'eau.

JAMIN J.Y, TOURRAND J.F. 1986 - Evolution de l'agriculture et de l'élevage dans une zone de grands aménagements: la delta du fleuve Sénégal. In Cahiers de la recherche développement n° 12, pp 21-34

KANE A.1993 - " Hydrologie estuarienne" in Equesen projet CEE TS 2 0198 F EDB, rapport de synthèse tome IV, 80 pages + annexes.

LEGAL P.J. 1989 - De l'analyse des pratiques paysannes à l'aide à la décision: l'état des recherches sur le delta du fleuve Sénégal. Communication présentée au Ilième symposium de RESPAO à Accra

MULLIE W.C. 1989 - The impacts of pesticides on palearctics migratory birds in the western Sahel with special reference to the Senegal river delta. University of Wageningen, Pays Bas, 95 pages

NDIR O. 1994 - Effets des aménagements sur les maladies hydriques, 10 pages. In "Etude des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal".OMVS, 1994, 131 pages

NICOLAS G.1994 - Approvisionnement et assainissement. Contribution à l'étude du plan directeur de santé pour le bassin du fleuve Sénégal. U.S.aid, projet Wash/Task 512.

OMVS/FAC (1994): Etude des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal" O.M.V.S., 1994, 131 pages

ONUDDTD 1991 - La gestion qualitative des eaux dans les pays en développement: critères et approches. Ressources naturelles Série eau n°26, 348 pages

Quotidien "le Soleil" du 5 Mai 1994

ROBIDOUX L. 1992 - Effects of user handing on drinking water quality in urban Senegal. ORSTOM, programme "Eau et santé" 36 pages.

ROCHE M.F. 1988 - Dictionnaire français d'hydrologie de surface.Paris Masson, 1986. 288 pages

SAED 1991 - La Bilharziose associée à la riziculture irriguée. Projet gestion de l'eau Saed/K.U. Leuven bulletin technique n°4, 15 pages

SAED 1993 - Programme Irrigation IV, rapport trimestriel d'activités n°5 mai-juillet 1993, 51 pages

Annexes

1- Caractéristique des stations de pompage/exhaure du Delta du fleuve Sénégal (situation en 1992)

2- Caractéristiques des ouvrages hydrauliques du Delta du fleuve Sénégal (situation en 1992)

Tableau annexe 1: Caractéristique des stations de pompage/exhaure du Delta du fleuve Sénégal (situation en 1992)

Nom de la station	Fonction	Nombre de pompes	Débit total des pompes
Dagana A	mixte	5	3400 l/s
Dagana B	irrigation	5	5500 l/s
Richard-Toll (CSS)	irrigation	3	
KH 1 (CSS)	drainage	1	
KH 2 (CSS)	drainage	1	
X 1 (CSS)	drainage	1	
X 5 (CSS)	drainage	1	
Diawar	irrigation	2	4800 l/s
Thiagar Principale	irrigation	3	4200 l/s
Thiagar exhaure	drainage	2	1700 l/s
Ronq	irrigation	4	8500 l/s
Débi	mixte	5	3808 l/s
Mpourié (Rosso Mauritanie)	mixte	5	3808 l/s

Tableau annexe 2 Caractéristiques des ouvrages hydrauliques du Delta du fleuve Sénégal (situation en 1992)

Zone	Nom de l'ouvrage	Fonction	Nbre de vannes	Débit total
Delta rive droite	Gouère	alimentation du Gouère	2	10 m ³ /s
	Dioup	alimentation du Dioup	1	5 m ³ /s
	Aftout es Sahéli	alimentation du Ndiadier, de l'Aftout es Sahéli	4	60 m ³ /s
	Lemer	alimentation du Lemer et réalimentation du Thiallakht par le Bell	3	15 m ³ /s
	Tounguène	alimentation du Garak		50 m ³ /s
Delta rive gauche	Pont-Barrage de Richard-Toll	Alimentation du lac de Guiers via la Taoué	8	
	Ronq	alimentation du Gorom-Lampsar	8	20 m ³ /s
	Caïman	alimentation du canal du crocodiles	4	
	Débi	alimentation de la cuvette de Débi	3	
	Djoudj	alimentation du Djoudj	4	

LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS UTILISES

ADRAO : Agence pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest

AFNOR : Agence française de normalisation

CNCAS : Caisse nationale de crédit agricole du Sénégal

CSS : Compagnie sucrière sénégalaise

CODESRIA : Conseil pour le développement de la recherche en sciences sociales en Afrique

DDT : Dichlorophényltrichloroéthane

DPRD : Direction de la planification et de la recherche développement (Saed)

EQUESEN : Environnement et qualité des eaux au Sénégal

ISRA : Institut supérieur de recherches agronomiques

MDRE : Ministère du développement rural et de l'environnement (Mauritanie)

OCDE : Organisation de coopération et de développement économique

O.M.S : Organisation mondiale de la santé

OMVS : Organisation de mise en valeur du fleuve Sénégal

ONU DCTD : Organisation des Nations Unies: Département de la coopération technique pour le développement.

ORSTOM : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération.

SAED : Société nationale d'aménagement et d'exploitation des terres du delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé (Sénégal)

SNTI : Société nationale de tomate industrielle

SONADER : Société nationale de développement rural (Mauritanie)

SONEES : Société nationale d'exploitation des eaux du Sénégal.

SONELEC : Société nationale d'eau et d'électricité (Mauritanie).

USAID : Agence américaine pour l'aide au développement

LISTE DES FIGURES

- 1- Carte du delta du fleuve Sénégal
- 2- Evolution moyenne mensuelle de la pluviométrie (1981-1991)
- 3- Carte du réseau hydrographique du delta du fleuve Sénégal
- 4- Carte des infrastructures hydrauliques du delta du fleuve Sénégal
- 5- Relation entre la hauteur d'eau à Diama (H_{Diama} en m IGN), les débits d'entrée à Dagana ($QF1$ en million de $m^3.j^{-1}$) et les lâchers à Diama (Qs en million de $m^3.j^{-1}$) en 1992
- 6- Carte des établissements humains du delta
- 7- Evolution de la conductivité entre Diama et Richard-Toll en 1991
- 8- Paramètres hydrologiques et leurs interventions qualitatives et quantitatives dans l'évolution de la qualité de l'eau entre Dagana et Diama.
- 9- Alimentation du lac de Guiers en fonction du jeu du barrage de la Taoué
- 10- Bilan hydrologique de la réserve de Diama
- 11- Simulation de l'évolution moyenne annuelle de la salinité entre Dagana et Diama
- 12- Simulation de l'évolution de la salinité à Dagana, Richard-Toll, Ronkh et Diama
- 13- Simulation de l'évolution de la salinité à Richard-Toll (CF4) selon les 3 options de gestion
- 14- Simulation de l'évolution de la salinité à Ronkh (CF4) selon les 3 option de gestion
- 15- Simulation de l'évolution de la salinité à Diama (CD) selon les 3 option de gestion

LISTE DES TABLEAUX

- 1- Généralités sur la culture du riz et de la tomate.
- 2- Comparaison entre les besoins en eau des cultures et les volumes d'eau pompés par les stations de Thiagar (1992) et de Dagana A (1993).
- 3- Calcul des différents termes hydrologiques et qualitatifs du modèle.
- 4- Estimation du volume d'eau de drainage rejeté par les différentes stations d'exhaure du delta.
- 5- Estimation du volume d'eau nécessaire pour l'alimentation des principaux défluent du delta.
- 6- Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Dagana, Richard-Toll, Ronkh et Diama.
- 7- Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Richard-Toll selon les 3 options de gestion.
- 8- Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Ronkh selon les 3 options de gestion.
- 9- Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Diama selon les 3 options de gestion.

LISTE DES CARTES UTILISEES

- OMVS (1988):** Projet d'exécution des endiguements du barrage de Diama. Endiguements rive droite Feuille Diama -Keur Massène Septembre 1988 Echelle 1/50000
- OMVS (1988):** Projet d'exécution des endiguements du barrage de Diama. Endiguements rive droite Feuille Keur Massène-Rosso Septembre 1988 Echelle 1/50000
- OMVS (1993):** Carte des périmètres irrigués aménagés en maîtrise de l'eau. Situation au 1er juillet 1992, feuille 1. Echelle 1/100000
- SAED (1994):** Carte des aménagements hydro-agricoles de la Délégation de Dagana. Hivernage 1992-1993. Echelle 1/20000