

OMUS = Projet Endoignement

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



**ESSAI DE MODÉLISATION
DE LA QUALITÉ DES EAUX FLUVIALES
DU DELTA DU SÉNÉGAL**

Rapport de stage présenté par

MAME DAGOU DIOP

Pour l'obtention
du Diplôme d'Etudes Approfondies
de Géographie (DEA)

sous la direction de :

F.X. COGELS

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

Mars 1995



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 rapport de stage "Essai de modélisation de la qualité des eaux fluviales du delta du Sénégal" s'inscrit dans cette dynamique.

Ce rapport a bénéficié de l'appui financier et scientifique du laboratoire de Géochimie de l'ORSTOM Hann. Il constitue, de ce fait, un exemple concret de l'esprit de partenariat dans la recherche développement. Nos vifs remerciements à la direction de l'Orstom et au chef du département de Géographie qui nous ont permis de réaliser notre étude. Nous adressons nos profonde gratitude à 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.

Cette recherche en coopération s'est aussi matérialisée sur le terrain avec l'aide des gestionnaires sénégalais et mauritaniens pour l'acquisition des données nécessaires à l'élaboration de notre modèle de gestion qualitative. Nous tenons à remercier tous les organismes et personnes qui nous ont aidés dans notre recherche.

- Mrs Massogui Guèye, Pape Demba Bâ, Kader Lô à la Délégation de Dagana (Ross-Béthio)
- Mrs Sène Abdoulaye et Ndiaye du service Recherches de la CSS
- Mrs Bèye et Aly Sèye Diop du service Irrigation-Drainage de la CSS
- Mr Camara à la cellule provisoire de gestion des barrages de l'OMVS à Rosso-Mauritanie pour toute sa disponibilité et ses recommandations auprès des services de la Sonader et de la Sonelec.
- Mr Sidibé, agronome à l'OMVS à Dakar, pour ses recommandations en Mauritanie et son entière disponibilité.
- Mrs Dia et Sarr à la Cellule suivi évaluation de l'OMVS à Dakar
- Mr Loum technicien au barrage de Diama

Nous adressons notre profonde gratitude à Monsieur Ahmedou Ould Ohamedena Habiboulah 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

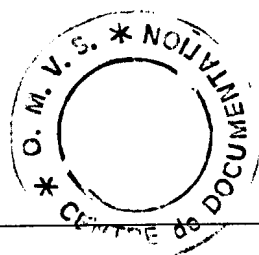


TABLE DES MATIERES

Introduction	p.3
1 Description du modèle de gestion qualitative des eaux fluviales	p.6
1-1 Présentation des données hydrologiques	p.6
1-1-1 Les prélèvements	p.6
1-1-1-1 L'irrigation	p.6
a°) Les périmètres privés et de la Sonader	p.6
b°) Les périmètres anciennement gérés par la Saed	p.7
c°) Les périmètres CSS	p.9
d°) La ferme Mpourié	p.9
1-1-1-2 L'alimentation des défluent	p.9
1-1-1-3 La production d'eau potable	p.11
1-1-2 Les rejets d'eau de drainage des cultures	p.11
1-1-3 Les lâchers au barrage de Diama	p.13
1-1-4 Bilan évaporation-pluviométrie	p.13
1-1-5 Les apports fluviaux	p.14
1-2 Présentation des données de qualité d'eau	p.14
1-3 Calcul des termes du modèle	p.15
2 Test d'application du modèle	p.18
2-1 Bilan hydrologique de la réserve en 1992	p.18
2-2 Simulation de l'évolution de la salinité des eaux entre Dagana et Diama	p.20
2-3 Simulation d'options de gestion	p.23
Conclusion	p.27
Bibliographie	p.28
Liste des sigles, acronymes et des abréviations utilisés	p.29
Annexes	p.30



INTRODUCTION

Zone d'étude

Comprise entre les latitudes 15° et 16° Nord, la région du delta du Sénégal se situe en aval de la vallée du fleuve Sénégal (fig.1). Elle commence au niveau de la zone d'élargissement de la basse vallée, à proximité de la ville de Dagana, jusqu'à l'embouchure du fleuve (ville de Saint Louis).

Cette zone intègre le climat sahélien qui se caractérise par la longueur de la saison sèche (novembre à juin); la faiblesse des précipitations (200 à 300 mm par an en moyenne); l'intensité du vent et les fortes températures. Mais au delà de son expression générale, le climat du delta subit une nuance régionale liée à l'influence océanique.

On trouve dans le delta trois grands ensembles géomorphologiques: des cuvettes argileuses de décantation à salinité variable (*hollaldé*); des levées fluvio-deltaïques formées de sols limoneux (*fondé*) en bordure des marigots et des dunes sableuses sur la périphérie (*jeeri*). Les premiers forment le domaine privilégié des grands aménagements hydro-agricoles et de la riziculture irriguée.

Le lit mineur du fleuve Sénégal est très large dans la région du delta (jusqu'à 800 m). Son tracé hydrographique est spatialement fixe et sa pente de Richard-Toll à son embouchure est de 0,6 cm par km². Les principaux défluent du Sénégal sont (fig.1)

- en rive droite: le Ndiadier, le Gouère, le Dioup, le Garak, le Ncallax;
- en rive gauche: le Gorom, le Djoudj, le Djeuss.

Le fleuve Sénégal alimente aussi deux lacs: Guiers en rive gauche et R'kiz en rive droite.

Avant la mise en place d'un système de gestion hydraulique, ces marigots se remplissaient lors du passage de la crue et se vidaient progressivement sous l'influence de l'évaporation et des prélèvements. L'aménagement du fleuve a permis la pérennisation de ces marigots qui sont utilisés comme canaux naturels d'irrigation.

Grace à la présence de ces plans d'eau, le delta joue un important rôle pour l'accueil d'oiseaux paléarctiques et afro-tropicaux. La création de parcs nationaux (Djoudj et Diawling) permet de sauvegarder les grandes valeurs floristiques et fauniques du delta.

Problématique de la qualité des eaux dans le delta.

Avant l'aménagement du fleuve par l'OMVS, 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 CSS. L'agriculture irriguée n'était possible qu'en période de crue à cause des effets de la salinité sur les plantes.

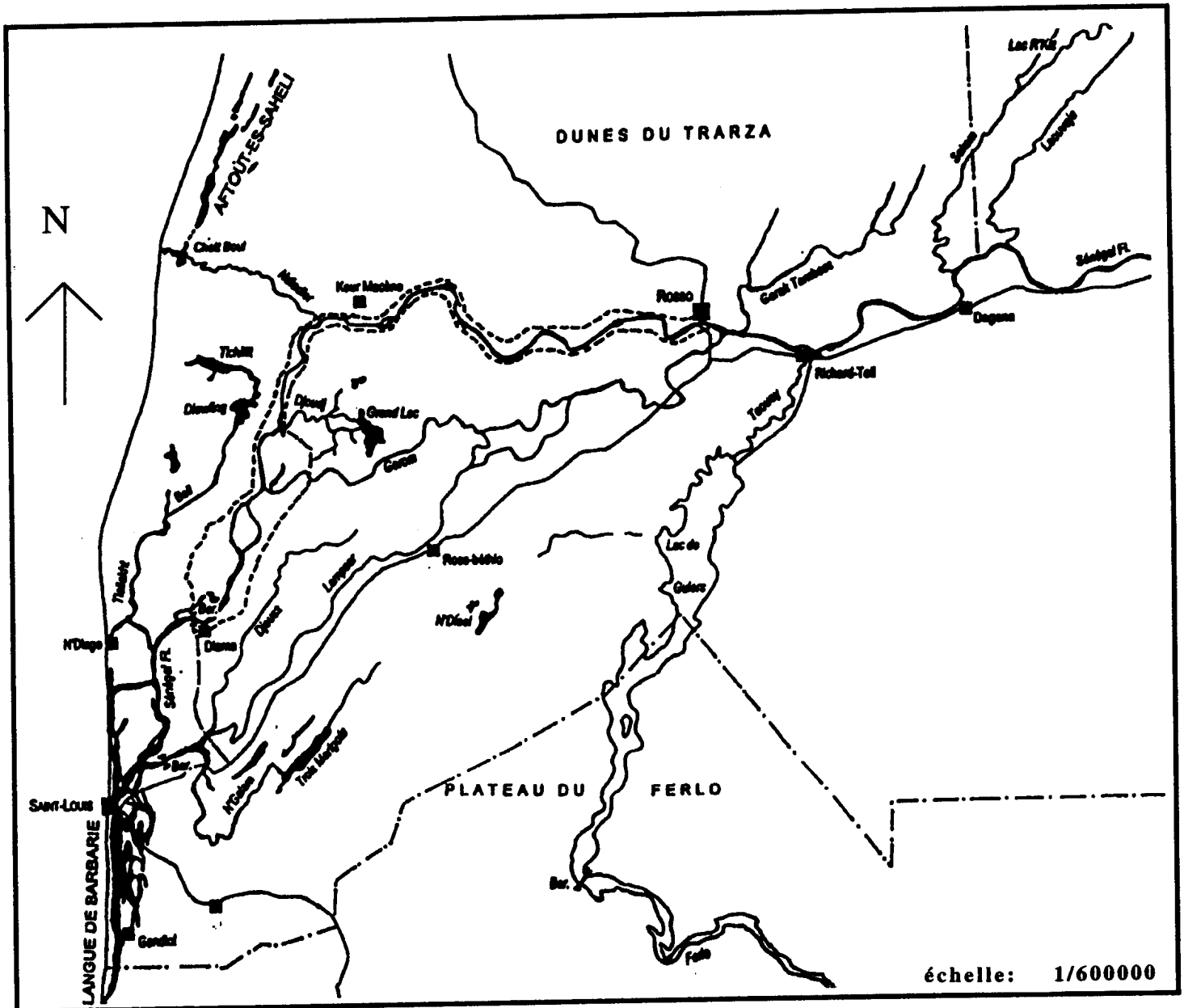


Figure 1 Carte du delta du fleuve Sénégal

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. Cependant, la construction de barrages donne lieu à des controverses. Elles résultent d'une part de la nécessité de développer l'agriculture irriguée, et d'autre part des impacts écologiques qui en découlent.

Quelques exemples dans le delta montrent que la régularisation du fleuve, le développement de l'agriculture irriguée et ses obligations de rendement ainsi que la pression démographique autour du fleuve ont engendré les premiers signes de changement de la qualité des eaux.

- La pollution des eaux par les matières fécales résultent des problèmes d'assainissement des agglomérations riveraines du fleuve. Cette pollution favorise une augmentation de la prévalence des maladies à transmission hydrique.
- La contamination de l'eau par les pesticides est une conséquence des rejets directs dans le fleuve d'effluents agricoles chargés de résidus. La toxicité et la persistance de certains pesticides (HCN, dieldrine...) constituent un danger pour les populations riveraines dont l'essentiel des besoins en eau de boisson est assuré par le fleuve.
- Les premiers signes d'eutrophisation des eaux apparaissent depuis 1990 avec le développement excessif de la végétation aquatique. Les nouvelles conditions hydro-chimiques et l'utilisation des fertilisants agricoles peuvent en être les causes.
- Enfin, la salinité des eaux fluviales présente un gradient bien marqué entre Dagana et Diama. Cette situation s'explique par les rejets directs d'eaux de drainage fortement chargées en sels.

L'ampleur des problèmes de qualité de l'eau dans le delta a conduit les Etats riverains à réfléchir sur les moyens d'atténuer ou de supprimer les effets négatifs du développement agricole. La construction d'un émissaire pourra résoudre la majeure partie de ces questions. Mais, compte tenu du délai imposé pour sa construction, des actions urgentes doivent être entreprises pour dresser un bilan de la situation actuelle. A cet effet, la mise au point d'un modèle de gestion qualitative, adapté aux conditions du milieu, permettra de comprendre le rôle des rejets dans l'évolution de la qualité des eaux et de proposer des solutions de gestion qui limiteraient leurs effets sur l'environnement aquatique. Tel est l'objectif de ce présent rapport de stage.

Méthodologie

L'élaboration du modèle de gestion qualitative des eaux fluviales s'est effectuée en trois phases.

- 1°) Identification des usages et des utilisateurs de l'eau pour l'inventaire des paramètres entrées et sorties du modèle.
- 2°) Collecte des données de pompages et de rejets à partir de stages et visites au sein des structures agro-industrielles (CSS, Sonader, Saed, Sonees, Sonelec) et de celles qui s'occupent de la gestion de l'eau (Cellule provisoire de gestion des barrage de l'OMVS).
- 3°) Traitement des données et conception du modèle sur tableur Excel.4

1 DESCRIPTION DU MODÈLE DE GESTION QUALITATIVE DES EAUX FLUVIALES

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 Présentation des données 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 2.

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) disposent de groupes moto-pompes (GMP) pour leur alimentation en eau. Dans un rapport analytique (1994), l'Isra avait inventorié le nombre de GMP 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 (GIE). 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).

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 (OMVS, 1993).

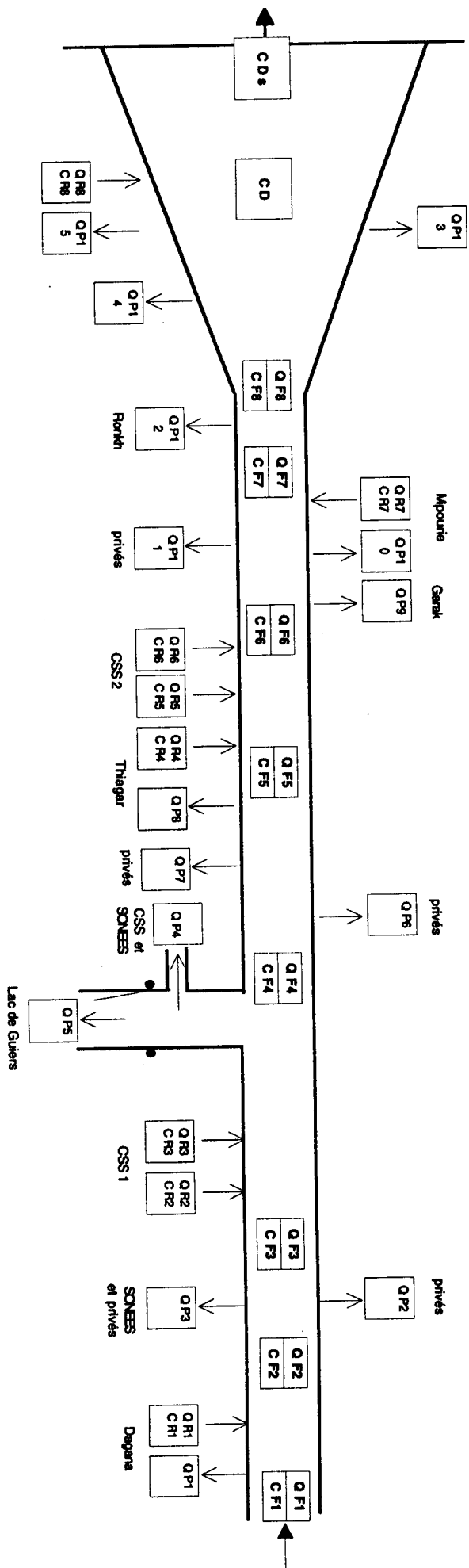


FIGURE 2: PARAMETRES DU BILAN HYDROLOGIQUE ET LEURS INTERVENTIONS QUANTITATIVES (QP, QR) ET QUALITATIVES (GARAK, CF, CR)



	CAMPAGNE		
DESIGNATION	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 m ³ /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= 175 Mars= 3470 Avril= 4320 Mai= 1460
Total besoin en eau en m ³ /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)

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

q_p = débit nominal de la pompe

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 **	27840540	11833560
Volumes d'eau pompée en m ³	67922064	25284636
Différence	+40081524	+13451076

* 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 3)

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

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.. On en déduit qu' il y a un important gaspillage desressources en eau, ce qui nécessite un contrôle très serré de la part des responsables chargés de la par les stations et les besoins en eau des cultures. On en déduit qu' il y a un important gaspillage desgestion de l'eau.

c°) La compagnie sucrière sénégalaise (CSS) exploite trois casiers de canne à sucre dont la superficie totale est estimée à 8000 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 m³.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 fourni par la CSS. 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 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 M.D.,1992):

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

Q_s = débit exprimé en m³

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/s²)

H = charge hydraulique = niveau amont-niveau aval

- 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 (OMVS, 1993).

- Le laboratoire de géochimie de l'Orstom (Evora et al, 1993) a mis au point un logiciel de gestion prévisionnel des eaux du lac de Guiers (LGPLG). 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 CSS et à la SONEES d'effectuer leurs prélèvements (figure 3).

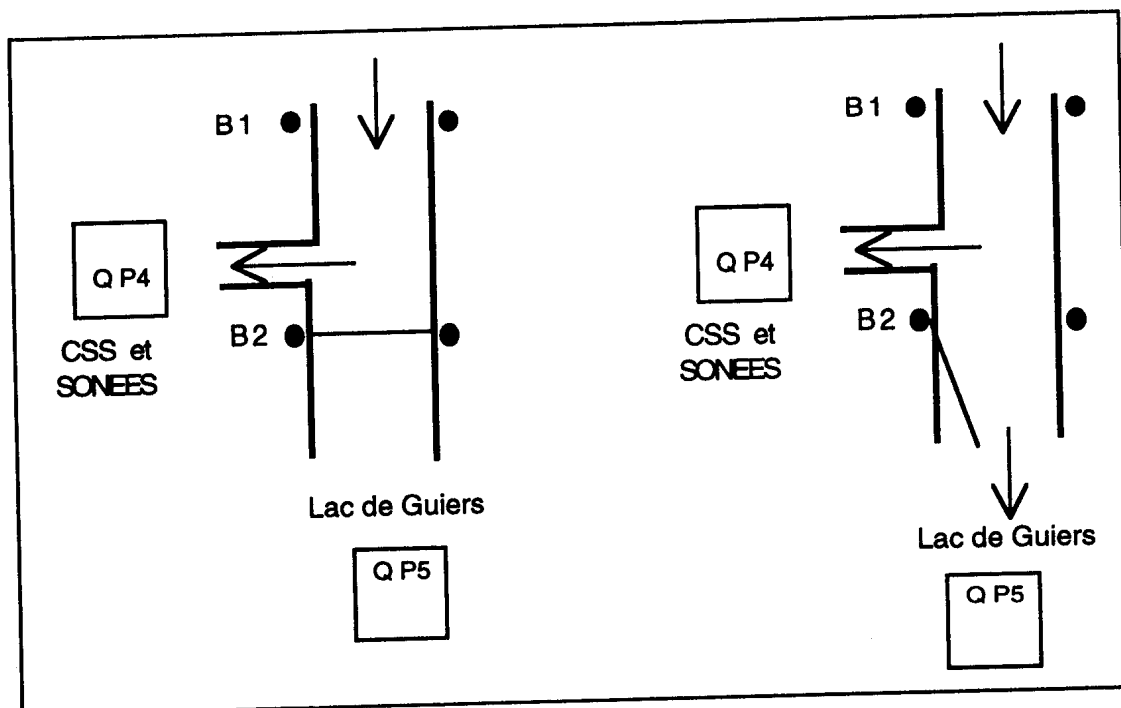


Figure 3: Alimentation du lac de Guiers en fonction du jeu des barrages sur la Taoué (B1, B2)

- En rive mauritanienne, les données sur la gestion des ouvrages sont disponibles à la Cellule Provisoire de Gestion des Barrages de L'OMVS. L'insuffisance des relevés limnimétriques en amont et aval des ouvrages du Gouère, Dioup, Aftout es Saheli 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 Dagona a une capacité de 11000 m³ par jour.

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

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

- Les stations de drainage de la CSS 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 fleuve via 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 CSS. 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

qp= débit nominal de la pompe

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 (Faye A. 1991)

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

Qs= débit exprimé en m³

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/s²)

H= charge hydraulique =(niveau amont+niveau aval)/2

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

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

$$V = (0,97 + (145,8 \cdot H) + (28,97 \cdot H^2) + (52,782 \cdot H^3)) / 68\%$$

H= niveau limnimétrique à Diama

Les apports pluviométriques directs (Qpl) sur le fleuve sont calculés à partir de l'équation suivante

$$Q_{pl} = (P \cdot S) / 1000$$

P= pluie en mm

S= surface du bassin le jour de l'averse

Les données pluviométriques sont fournies par le laboratoire d'hydrologie-pédologie de la CSS qui dispose de 16 postes pluviométriques et 3 stations agrométéorologiques.

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 et al (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

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

Q_{Dagana} = apports fluviaux à l'entrée de Dagana

H = niveau limnimétrique à Dagana

L'aménagement du fleuve par l'OMVS 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 global de la réserve.

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

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

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

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

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

1-2 Présentation des données de qualité 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 Lampsar 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 2.

1-3 Calcul des termes du modèle

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 CSS (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 CSS (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

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

QF= débits fluviaux

QP= volume d'eau pompé

QR =volume d'eau rejeté

$\Delta(Q_{\text{év}} - pl)$ = 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 P., 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 (Cr) au temps t sera égale au stock de l'élément (M) présent à ce moment divisé par le volume de la réserve (V)

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

Cr= 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 18 sous-modèles permettent de calculer les termes QF2 à QF 8, CF2 à CF8 ainsi que CD et CD_s. Le tableau 3 précise le mode de calcul de chaque terme et la figure 2 donne leur localisation.

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

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

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

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 obtenues 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 réserve 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 4 présente le schéma général des apports et des pertes au niveau de la réserve de Diama.

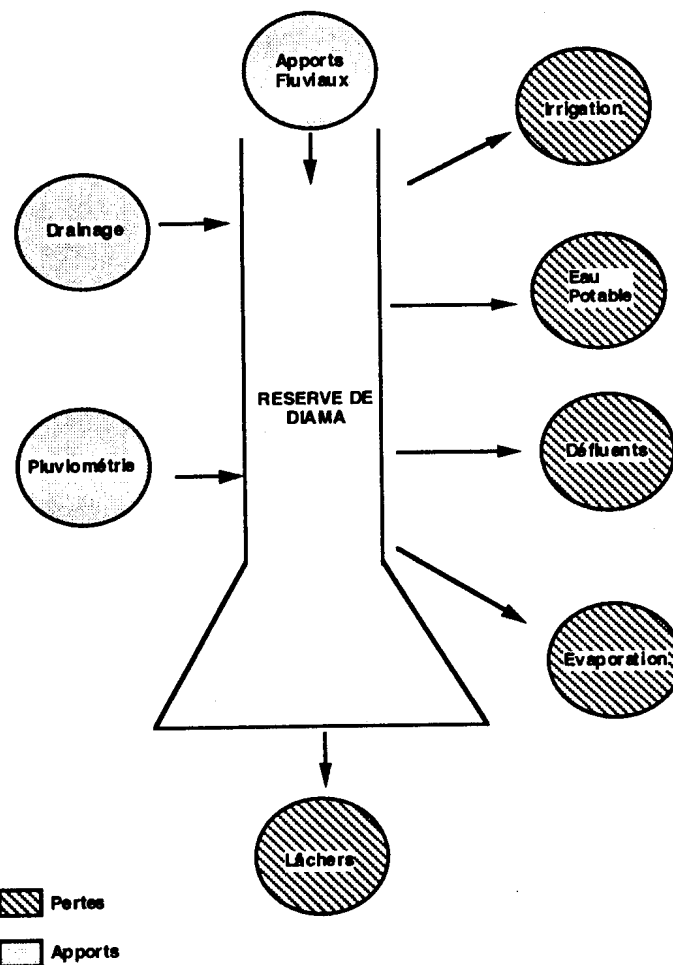


Figure 4 Paramètres du bilan hydrologique de la réserve de Diama

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 (QR 1)	KH 1 (QR 2)	KH 2 (QR 3)	X 1 (QR 5)	X 5 (QR 6)	Thiagar (QR 4)	Débi (QR 8)	Mpourié (QR 7)
Volume rejeté (Mm3)	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 (Mm3)	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'ÉVOLUTION DE LA SALINITÉ DES EAUX FLUVIALES ENTRE DAGANA ET DIAMA

L'évolution moyenne annuelle de la salinité entre Dagana (CF1) et Diama (CD et CD_s) est présenté à la figure 5. 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 CSS 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.

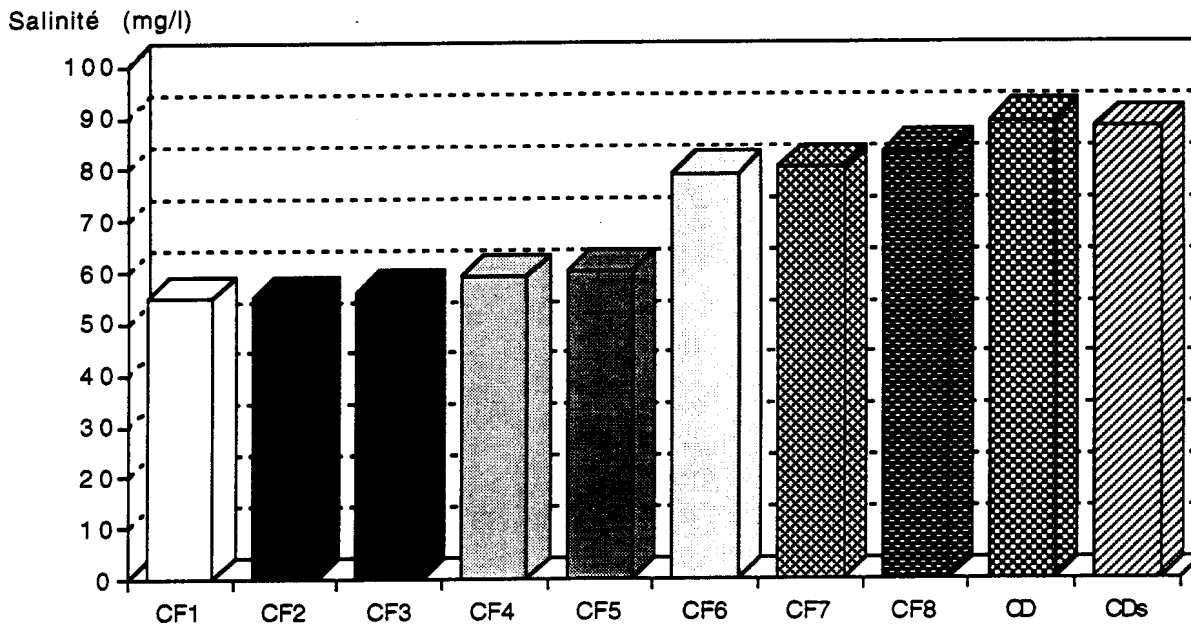


Figure 5: Simulation de l'évolution moyenne annuelle de la salinité des eaux (mg.l⁻¹) entre Dagana (CF1) et Diama (CD, CD_s).

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 CSS (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 6 et le tableau 6 présentent les résultats des simulations de l'évolution de la salinité aux 4 stations.

	CF1 mg.l ⁻¹	CF4 mg.l ⁻¹	Δ %	CF8 mg.l ⁻¹	Δ %	CD mg.l ⁻¹	Δ %
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	131,1	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).

En période hors crue fluviale (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 m³.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 CSS X5 (QR5) et X1(QR6). Durant cette période, les écarts de salinité entre Dagana, Ronkh et Diama ont plus que doublé (tableau 6).

Amorcée en février, le remplissage de la réserve favorise, cependant, une baisse de la salinité d'avril à juillet (figure 6). 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 70-76 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.

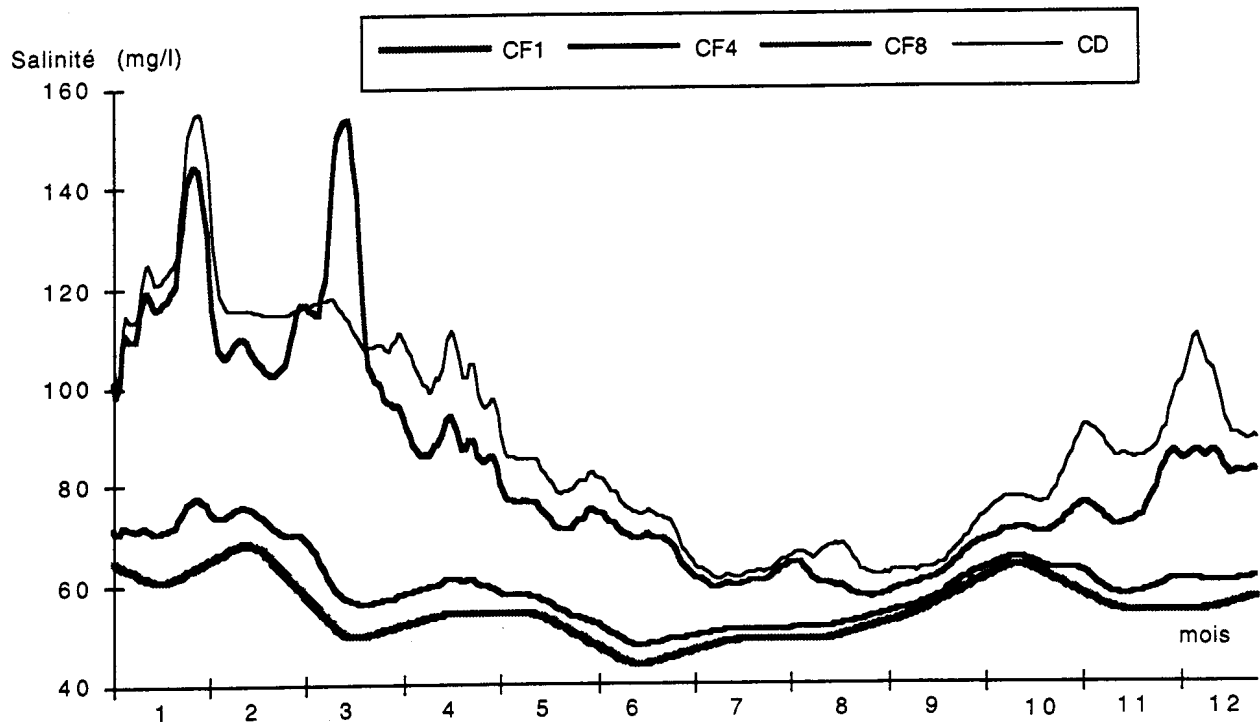


Figure 6- Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) en 1992 à Dagana (CF1), à Richard-Toll (CF4), à Ronkh (CF8) et à Diama (CD).

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 CSS. 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 6 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 CSS 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 CSS (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 6 et au tableau 6; ceux des autres options sont indiqués aux figures 7 et 8 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 CSS (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 mg.l⁻¹).

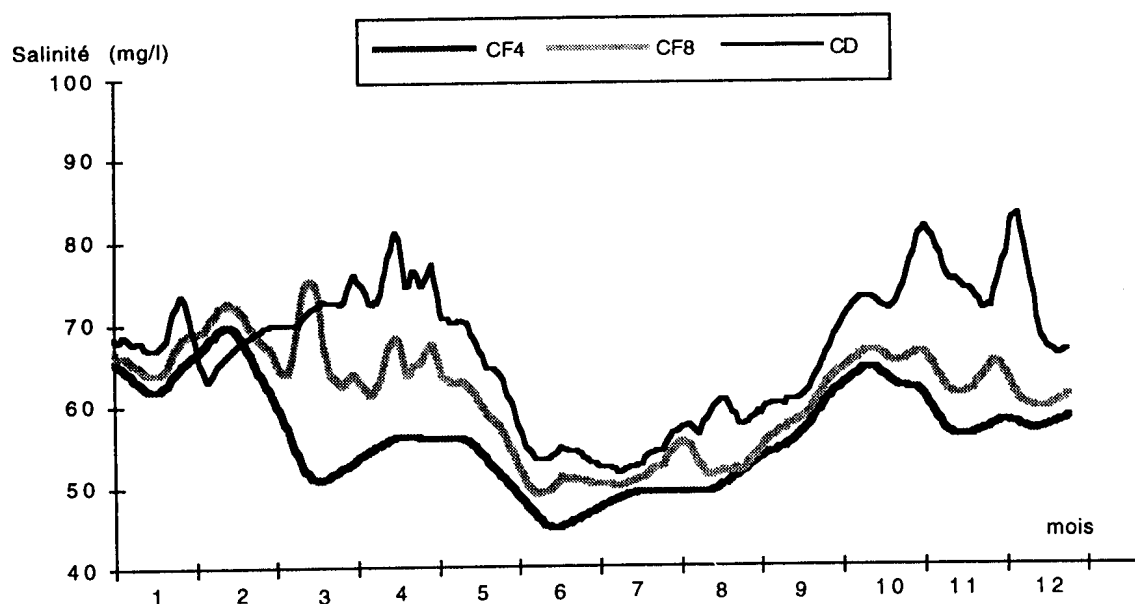


Figure 7- Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l⁻¹) à Richard-Toll (CF4), Ronkh (CF8) et Diama (CD) selon l'option 2

La suppression des rejets CSS 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 6). 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.

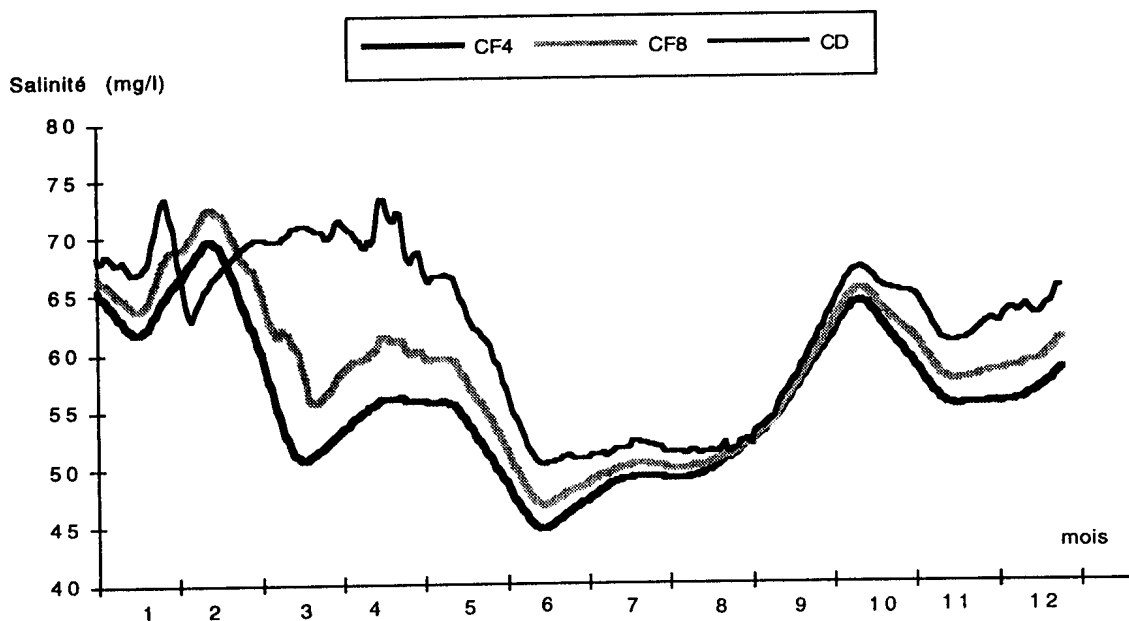


Figure 8- Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Richard-Toll (CF4), Ronkh (CF8) et Diama (CD) selon l'option 3.

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 la figure 8.

	CF4				
	OPTION 1 mg.l ⁻¹	OPTION 2 mg.l ⁻¹	Δ %	OPTION 3 mg.l ⁻¹	Δ %
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 8: Résultats des simulations de l'évolution moyenne mensuelle de la salinité des eaux (en mg.l⁻¹) à Richard-Toll (CF8) selon les 3 options de gestion

	CF8				
	OPTION 1 mg.l ⁻¹	OPTION 2 mg.l ⁻¹	Δ %	OPTION 3 mg.l ⁻¹	Δ %
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 mg.l ⁻¹	OPTION 2 mg.l ⁻¹	Δ %	OPTION 3 mg.l ⁻¹	Δ %
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 l'eau 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 changements qualitatifs des eaux du delta du Sénégal résultent de l'aménagement du fleuve et des rejets directs, dans le milieu aquatique, d'effluents domestiques et agricoles.

Afin de préciser les impacts de ces rejets, nous avons élaboré un modèle de gestion qualitative des eaux. Les simulations effectuées sur la salinité montrent l'intérêt de disposer d'un outil de gestion adapté au milieu.

- La simulation de l'évolution de la salinité des eaux entre Dagana et Diama confirme l'existence d'un gradient de salinité largement dépendant du taux de dilution des rejets d'eau de drainage. Elle a permis de constater aussi le rôle des divers prélèvements sur l'évolution de la salinité notamment lors du remplissage du lac de Guiers, des défluent et des pompages pour l'irrigation.
- La simulation d'options de gestion montre que la suppression des rejets CSS entraîne une baisse importante de la salinité des eaux fluviales en période hors crue.

Comme toute première approche, ce travail comporte quelques insuffisances liées à l'indisponibilité de certaines données hydrologiques et qualitatives. L'efficacité du modèle de gestion qualitative repose sur la constitution d'une base de données fiables et complètes. Pour cela les recherches devraient être orientées au plan hydrologique *banque*

- 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 (GMP) 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 cultureux. Trois stations tests seront choisis (Dagana, Ronkh et Diama) pour mesurer l'évolution journalière 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 et après la réalisation de l'alimentation des vallées fossiles permettra de juger la faisabilité de tels projets.

BIBLIOGRAPHIE

Cogels F.X. et al (1991): L'évaporation du lac de Guiers (sénégal) de 1976 à 1989. Bilan et essai d'interprétation. Rapport CEE (projet EQUENSEN), 25 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.

Evora N.D. et al (1992): Utilisations et applications pratiques du modèle d'aide à la gestion des eaux du lac de Guiers (modèle LGPLG). Alternatives de gestion actuelle et future. Rapport CEE, projet EQUENSEN, 47 pages.

Faye A. (1991): Les écoulements du Fleuve Sénégal à la station de Diama au cours de l'année hydrologique 1990. Mémoire de DEA de géographie, 63 pages.

Hubert P.(1984): Eaupuscule: une introduction à la gestion de l'eau. Editions Marketing, Paris 1984, 192 pages.

OMVS (1993): Carte des périmètres irrigués aménagés en maîtrise de l'eau. Situation au 1er juillet 1992, feuille 1. Echelle 1/100000.

Saed (1993): Programme Irrigation IV, rapport trimestriel d'activités n°5 mai-juillet 1993, 51 pages.

LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS UTILISES

CSS : Compagnie sucrière sénégalaise

DBO : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

GIE : Groupement d'intérêt économique

GMP : groupe moto-pompe

MES : Matières en suspension

OMVS : Organisation de mise en valeur du fleuve Sénégal

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).

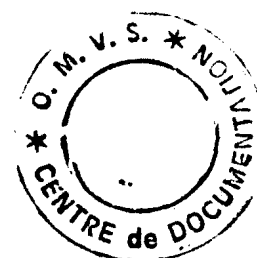
SNTI : Société nationale de tomate industrielle

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)

Ucad : Université Cheikh Anta Diop de Dakar



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)**
- 3- Table des figures**
- 4- Liste des tableaux**



Nom de la station	Fonction	Nombre de pompes	Débit total des pompes
Dagana A	irrigation drainage	5	3400 l/s
Dagana B	irrigation	5	5500 l/s
Richard-Toll (CSS)	irrigation	3	
KH 1 (CSS)	drainage / irrigation	1	
KH 2 (CSS)	drainage / irrigation	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
Rong	irrigation	4	8500 l/s

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

Zone	Nom de l'ouvrage	Fonction	Nombre 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
	Afrout es Sahéli	alimentation du Ndiadier, de l'Afrout 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
	Caiman	alimentation du canal du crocodiles	4	
	Débi	alimentation de la cuvette de Débi	3	
	Djoudj	alimentation du Djoudj	4	

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

ANNEXE 3: TABLE DES FIGURES

- 1- Carte du delta du fleuve Sénégal.
- 2- Paramètres hydrologiques et leurs interventions qualitatives et quantitatives dans l'évolution de la qualité de l'eau entre Dagana et Diama.
- 3- Alimentation du lac de Guiers en fonction du jeu du barrage de la Taoué.
- 4- Paramètre du bilan hydrologique de la réserve de Diama.
- 5- Simulation de l'évolution moyenne annuelle de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) entre Dagana et Diama.
- 6- Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à Dagana, Richard-Toll, Ronkh et Diama.
- 7- Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à, Richard-Toll, Ronkh et Diama selon l'option 2.
- 8- Simulation de l'évolution de la salinité des eaux (en mg.l^{-1}) à, Richard-Toll, Ronkh et Diama selon l'option 3.

ANNEXE 4: 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.

