

DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU ET INFRASTRUCTURES

IMPACTS DES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRIQUES SUR LES RESSOURCES EN EAU DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL

Fatou Ngom Diop, Honoré Dacosta, Matar Diaw, Raymond Malou, Léonard Elie Akpo

RESUME

Dans la recherche de voies et moyens pour faire face à la demande en eau, qui devient de plus en plus pressante du fait de la péjoration climatique, des infrastructures hydrauliques ont été édifiées dans le bassin du fleuve Sénégal. Ainsi le barrage de Diama a été construit dans le delta du fleuve avec, pour vocation essentielle, la lutte contre la remontée des eaux de mer et celui de Manantali sur le Bafing avec, pour objectifs, la régulation des débits du fleuve, la production hydro-électrique et l'irrigation des terres agricoles.

L'avènement de ces infrastructures et la mise en valeur des terres ont entraîné une évolution des disponibilités en eau et un bouleversement de l'environnement bio-physique et humain particulièrement dans le Delta du fleuve.

L'objectif de ce travail est d'identifier, à l'aide d'images satellitaires et de données de terrain, les changements intervenus dans l'environnement du Delta du fleuve.

L'analyse diachronique des images satellitaires a permis de noter l'ensemble des évolutions intervenues aux plans hydrologique et des disponibilités en eau, de la végétation, des sols et de l'habitat social.

Au plan hydrologique le fonctionnement des barrages a permis une remontée de la nappe alluviale et un engorgement des terres avec pour conséquence une forte prévalence des inondations. Ceci a fortement bouleversé l'habitat social notamment de la ville de Saint Louis, qui a fait l'objet de sinistres récurrents depuis la mise en eau des barrages. Corrélativement, la disponibilité des eaux de surface, notamment le remplissage des bas-fonds et mares temporaires pendant l'hivernage, a entraîné la prolifération des végétaux aquatiques envahissants tel que le Tiffa, la Salvinia qui dominent l'environnement.

La remontée de la nappe phréatique, antérieurement salée, a également entraîné le dépôt des sels en surface et donc une salinisation des terres. Par ailleurs la régulation du débit du fleuve a modifié la dynamique fluviale et entraîné une dérive de l'embouchure vers le sud ainsi que l'ensablement des écosystèmes aquatiques, notamment le lac de Guiers et le lac de Djoudj.

Cette recherche a permis de montrer les grandes modifications intervenues dans le delta du fleuve Sénégal du fait de son aménagement. Les résultats pertinents auxquels elle a conduit apportent un éclairage certain sur les conséquences, à l'origine imprévisibles des infrastructures hydrauliques sur l'environnement biophysique et humain. Elle a valeur d'études d'impacts nécessaires à la bonne gestion des grands aménagements.

Mots clés : delta du fleuve Sénégal, infrastructures hydrauliques, nappe alluviale, inondation, salinisation des terres, végétaux envahissants.

Introduction

Le déficit pluviométrique, en cours depuis plus de deux décennies en Afrique sub saharienne, a eu comme conséquence l'assèchement de la plupart des vallées. La rupture de l'équilibre hydrodynamique entre les eaux souterraines et les eaux de surface (Malou, 1992, NGOM, 2000 ; NGOM et al 2002, Malou, 2004) est à l'origine de cette dégradation des zones humides. La plupart des vallées devenues sèches ne fonctionnent plus que pendant la période des pluies où elles servent de drains aux eaux pluviales (ruissellement direct des eaux de pluies). Pendant la longue saison sèche (de Novembre à Mai/juin) tout est à sec. Seuls quelques rares cours d'eau, encore pérennes, se cantonnent dans leur lit mineur avec de faibles courants d'eau tandis que leur bief maritimes sont envahis par la mer. Le fleuve Sénégal, qui fait partie de cette catégorie, était envahi par les eaux de mer sur plus de 200 km jusqu'à la hauteur de Podor.

Dans la recherche de stratégies d'une gestion rationnelle des ressources en eau pour un développement durable, des infrastructures hydrauliques (les barrages de Diama et de Manantali) ont été édifiées dans la vallée du fleuve Sénégal depuis 1986. Ces deux ouvrages construits, l'un dans le delta du fleuve Sénégal, en territoire sénégalais, l'autre sur le Bafing, en territoire Malien, ont des vocations différentes mais complémentaires dans l'aménagement, l'exploitation et la gestion durable des ressources en eau du fleuve.

Le barrage de Diama, à vocation anti-sel, permet le blocage des remontées marines dans le delta du fleuve. Le maintien, en amont, d'un plan d'eau douce permanent lui permet, d'assurer l'approvisionnement en eau des populations et le développement de l'agriculture. La cote de ce plan d'eau est maintenue depuis 1992 à un niveau quasi constant de 1.80m (Diagana, 1994). Le barrage de Manantali, à vocation hydro-électrique, joue au plan hydrologique, le rôle de régulateur du débit du fleuve, en maintenant à Bakel un débit minimum de $300\text{m}^3\text{s}^{-1}$.

Ainsi, ces deux ouvrages, en accroissant la disponibilité des eaux douces dans le delta du fleuve, y favorisent le développement de l'agriculture irriguée qui constitue un des rôles essentiels qui leur sont assignés. De nos jours, plus de 240 000 ha de terres sont irriguées en rive gauche du fleuve. Cette situation aura également un impact sur les ressources en eau souterraines. En effet, la recharge de la nappe se faisait, avant la mise en place des aménagements, à partir des cours d'eau, des marigots et des dépressions naturelles qui se remplissaient pendant l'hivernage (OMVS / USAID, 1990). Ces zones de recharge naturelles ont été modifiées par l'action anthropique avec la création de périmètres agricoles, l'endiguement du fleuve et le relèvement du niveau des eaux de surface.

- Quels sont les avantages et les inconvénients de ces infrastructures hydro-agricoles sur les ressources en eau ?
- Quels en sont les avantages et les inconvénients sur l'environnement et l'habitat social ?
- Quelles sont les mesures à prendre en vu d'apporter des solutions aux problèmes qui se posent ?

Cet article a pour objectif d'apporter un éclairage sur ces questions d'importance majeure pour des écosystèmes aussi fragiles que les deltas dans un contexte climatique défavorable. L'analyse de ces aspects, a été effectuée aux plans hydrologique, hydrogéologique, environnemental, avec à la clé, l'outil SIG pour l'illustration des impacts.

I. Présentation de la zones de l'étude

I.1. Situation climatique de la zone d'étude

Le delta du fleuve Sénégal, situé au nord-ouest du pays (Fig.1) appartient au domaine climatique nord sahélien, caractérisé par une courte saison des pluies de 2 à 3 mois et une longue saison sèche de 9 à 10 mois. Cette zone est sous influence quasi-permanente de l'alizé maritime issue de l'anticyclone des Açores. Ce vent humide et frais, parfois même froid mais non ne générateur de pluies, y crée un climat doux aux faibles amplitudes thermiques. Pendant la saison des pluies, avec la montée du Front Intertropical, arrive la mousson qui arrose la région avec cependant une pluviométrie annuelle faible (moyenne annuelle variant autour de 300 mm) et très variable d'une année à l'autre.

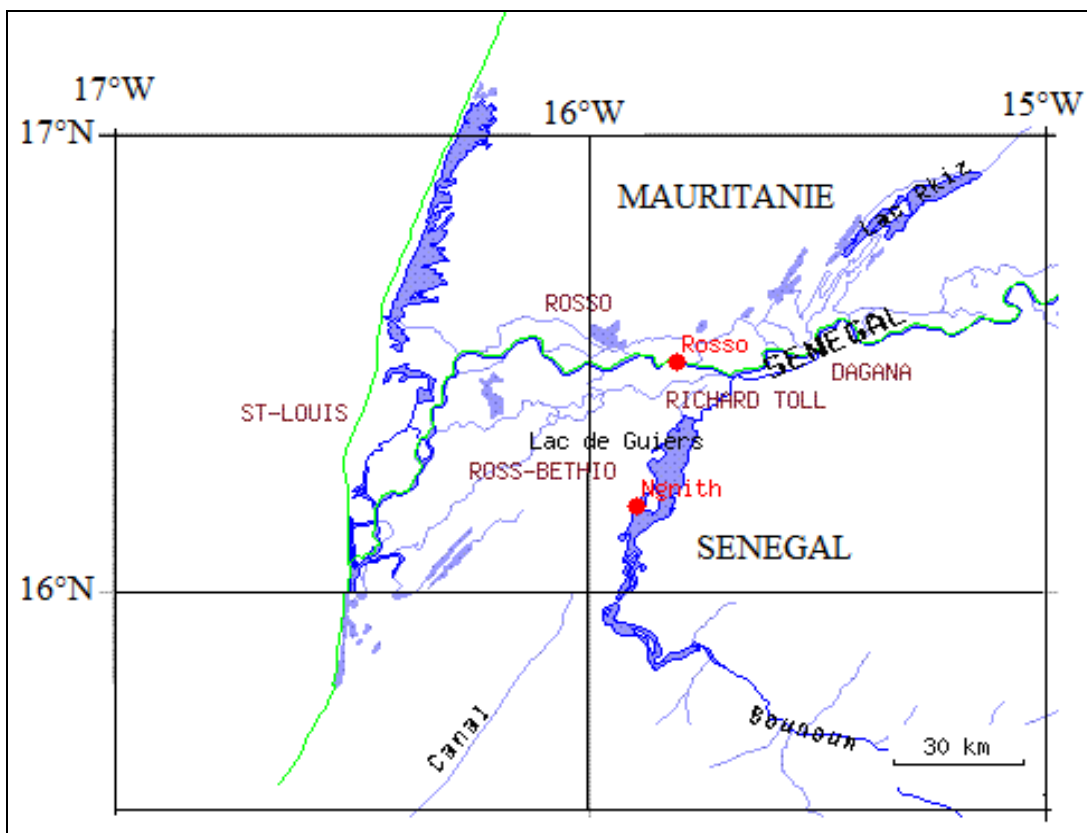


Fig. 1 : Le Delta du fleuve Sénégal

I.2. Géologie et géomorphologie

Le delta du fleuve Sénégal s'est formé durant le Quaternaire sous l'influence des variations climatiques qui ont conduit aux fluctuations du niveau marin avec des cycles d'érosion fluviale et de dépôts alluvionnaires lors des régressions et transgressions marines (Le Brusq, 1980 ; Van Lavieren et Van Wetten, 1988 ; Loyer 1989). Le delta est alors constitué de marigots et de lagunes séparés de la mer par flèche littorale (J. Deckers et al, 1996).

De petites dunes de sables rouges fixées par la végétation s'élèvent au milieu des terres du delta (Fig.2). Ces dunes de direction Sud-Ouest / Nord-Est, appelées dunes rouges se

rencontrent de part et d'autre du fleuve. Les dunes littorales semi-fixées et les cordons littoraux occupent la façade maritime. Aux abords du fleuve se trouvent les cuvettes argileuses de décantation entre les quelles se trouvent les levées fluvio-deltaïques. Le cours d'eau décrit tout le long de son parcours de nombreux méandres du fait de la sédimentation très active au cours de la période de crue et de la présence de bancs de sable très mobiles.

Ces sols du delta sont initialement salés du fait des multiples invasions marines au cours du Quaternaire. Ils sont de nature alluviale assez hétérogènes.

Sous ces formations alluviales du Quaternaire, se trouvent les formations Eocènes constituées de faciès marins argileux, marneux ou marno-calcaires et détritiques. Ces faciès de l'Eocène reposent sur les formations essentiellement sableuses du Maastrichtien. Par endroit l'Eocène est lacunaire, et le Quaternaire repose directement sur le Maastrichtien.

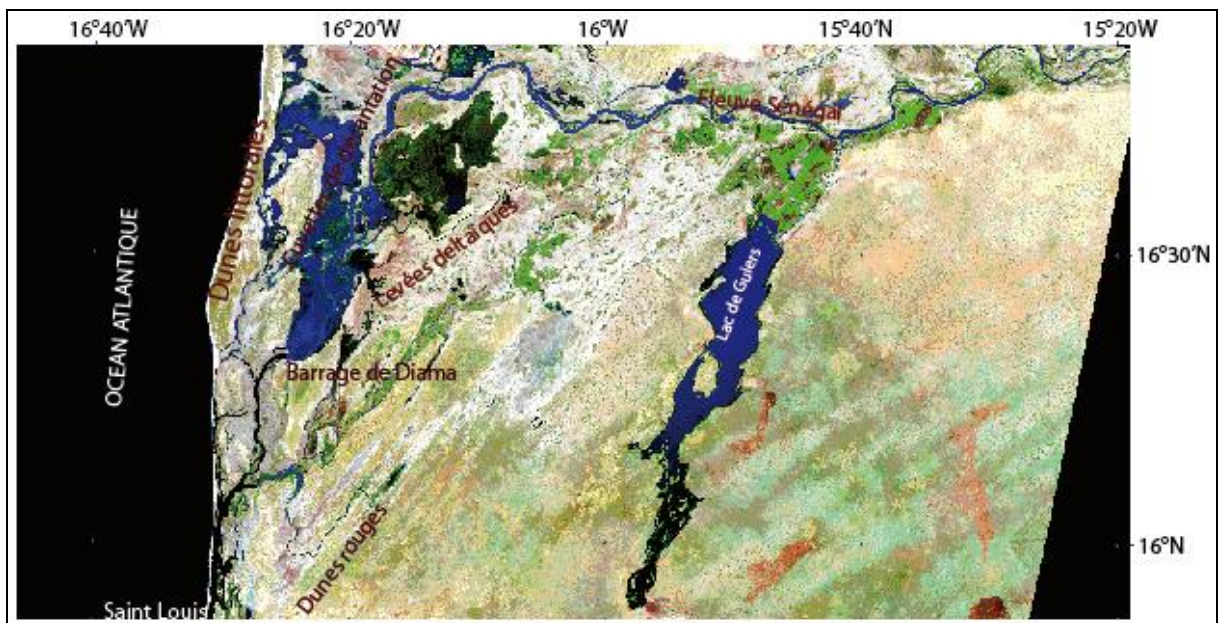


Figure 2: Cadre géomorphologique et géologique

1.3. Hydrologie et hydrogéologie

Le fleuve Sénégal formé par la réunion du Bafing et du Bakoye au nord-est du pays, coule dans une grande vallée alluviale qui se dirige d'abord vers le nord-ouest ; ensuite, il décrit une grande boucle pour se diriger vers l'ouest aux environs de 15° de longitude Ouest. A 80 Km de la mer, le fleuve entre dans une région basse deltaïque à hydrographie très anastomosée. Dans cette zone il s'infléchit vers le sud-ouest pour se jeter dans l'océan au sud de Saint Louis. Le régime du fleuve Sénégal dépendait essentiellement de la pluviométrie en région guinéenne, cependant, les ouvrages réalisés sur son cours ont, de nos jours, fortement perturbé son fonctionnement. Le fleuve alimente plusieurs dépressions (cuvettes, lacs) dont la plus importante est le lac de Guiers qui est la réserve d'eau douce la plus importante du pays.

L'hydrogéologie, dans le delta, est marquée essentiellement par la présence de deux aquifères : l'aquifère superficiel, alluvial et marno-calcaire et l'aquifère profond des sables maastrichtiens. Le réservoir superficiel est constitué de deux compartiments séparés par une couche semi-perméable constituée de limons et d'argiles. Cette couche n'est pas continue sur

toute l'étendue du delta, permettant ainsi la communication entre les deux compartiments (SAED/ DPDR, 1998). La nappe du compartiment supérieur, située entre 4 et 18m de profondeur, est directement sous l'influence d'actions locales, notamment, l'irrigation et la reprise directe par évapo- transpiration. La nappe du deuxième compartiment, avec plus de 20 m de profondeur, est plutôt sous influence de variations régionales affectant tout le système aquifère.

II. Matériels et Méthodes

Dans cette analyse, de l'impact des aménagements sur les ressources en eau et l'environnement, trois catégories de données ont été utilisées. Il s'agit :

- de données relatives à l'évolution du plan d'eau dans le fleuve lui-même afin d'identifier l'impact des barrages sur l'hydrologie fluviale et ses dépendances (affluents, défluent, lacs et autres dépressions inter dunaires),
- de données piézométriques devant permettre de voir l'impact de cette hydrologie fluviale sur les ressources en eau souterraine,
- l'imagerie satellitaire devant permettre de comprendre la réponse du milieu physique à cette évolution des ressources hydriques.

En ce qui concerne l'évolution hydrologique, les cotes mensuelles du plan d'eau du fleuve en amont de Diama et à Dagana ont été utilisées. Elles ont permis d'établir la courbe d'évolution du niveau du fleuve de 1986 à 2004 et de comprendre les changements intervenus dans la période «après barrage» à partir de l'année 1992.

L'analyse des ressources en eau souterraine a été limitée à la nappe phréatique des formations alluviales. Les données piézométriques de la banque de données de l'OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal) ont été utilisées pour la même période afin de permettre une analyse comparative. Le choix des piézomètres présentés a été fait en fonction de la position par rapport aux aménagements et aux cours du fleuve lui-même et de la nappe captée (compartiments, supérieur et inférieur, de la nappe alluviale). Ainsi trois piézomètres ont été choisis :

- un premier piézomètre (le GA0006) captant la nappe du compartiment supérieur (à 13 m de profondeur) a été pris tout près du fleuve (à 800 m de la rive gauche) et dans une zone non aménagée afin d'identifier l'impact exclusif du fleuve sur le compartiment supérieur de la nappe alluviale,
- un deuxième piézomètre (le GA0046), captant le compartiment inférieur de la nappe alluviale (à près de 30 m de profondeur) est choisi non loin du fleuve (à 1179 m de la rive) et dans une zone non aménagée afin d'identifier l'impact du fleuve sur le compartiment inférieur de cette même nappe alluviale (influence en profondeur),
- enfin un troisième piézomètre (le GA0051), captant le compartiment supérieur de la nappe alluviale (à 5.7 m de profondeur), choisi assez loin du fleuve (à 5000 m de la rive) et dans un périmètre agricole afin d'identifier l'impact exclusif de l'irrigation sur la nappe alluviale.

Les données piézométriques ainsi collectées ont été traitées de manière très classique sous «Excel» et les courbes des fluctuations mensuelles du niveau piézométrique de la nappe ont été tracées. Ainsi, l'influence des aménagements hydro- agricoles sur les eaux souterraines a

été réalisée par l'analyse comparative des fluctuations de niveaux à travers ces ouvrages. Cette analyse est, en l'occurrence, basée sur l'observation des variations de niveau de part et d'autre de l'année 1992 correspondant au relèvement de la côte du barrage de Diama.

L'analyse des impacts environnementaux a été menée à partir d'images satellitaires téléchargées à partir du site G.L.C.F. (Global Land Cover Facility). Ces images ont été traitées dans «Environnement» (logiciel de traitement d'image) et affichées avec la combinaison 7,4 et 2. Les bandes 7, 4 et 2 sont des longueurs d'onde du spectre électromagnétique du soleil. L'avantage de cet affichage est d'avoir une image assez nette, la végétation (qui apparaît sous les nuances du vert), des eaux salées (sous les nuances du gris) et de des eaux chargée en sédiments (sous les nuances du bleu).

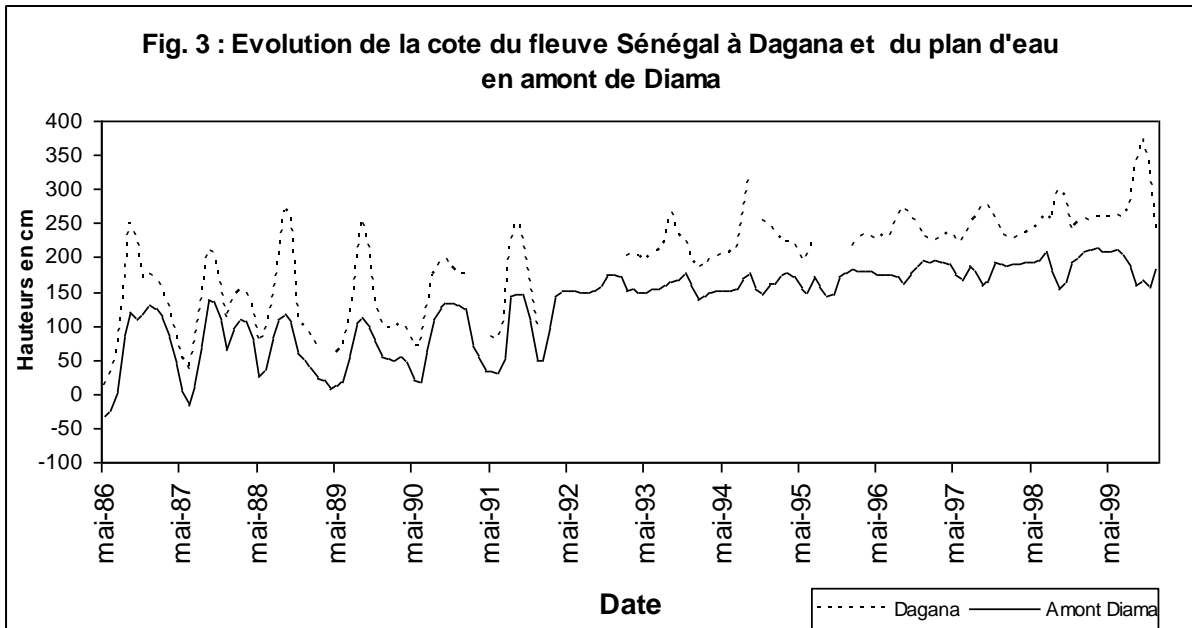
III. Résultats et discussion

III.1. Impact des barrages sur les eaux de surface

Afin d'identifier l'impact des infrastructures, essentiellement des barrages de Diama et de Manantali, sur le cours du fleuve Sénégal et de ses dépendances, nous avons examiné l'évolution des hauteurs du plan d'eau en amont du barrage de Diama et à la station hydrométrique de Dagana de 1986 à 2004. Ceci a pour objectif de mieux caractériser la variabilité interannuelle de la cote du fleuve et d'identifier la spécificité de la période «après - barrage».

Avant la mise en service du barrage de Diama (en 1987) le niveau de base du fleuve correspondait au niveau moyen de la mer. La courbe de fluctuations de la hauteur du plan d'eau en amont de Diama montre deux périodes bien distinctes (Fig. 3) :

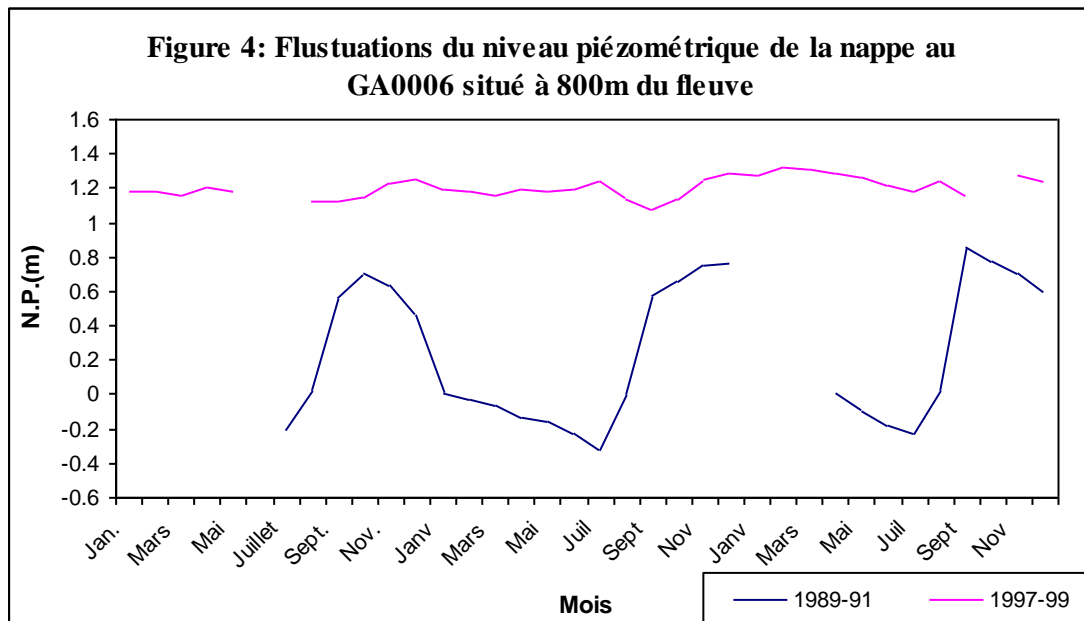
- une première période allant de 1986 à 1992 et une seconde qui va de 1992 à 2004. Au début de la première période (1986-1987), l'évolution des hauteurs du plan d'eau est marquée par le cycle saisonnier. Une saison sèche d'octobre à mai / juin et une saison humide de juin / juillet à septembre / octobre. En effet, la montée des eaux s'amorce dès le mois de juillet et se poursuivait rapidement pour atteindre un maximum en septembre – octobre. Il s'en suivait une baisse tout aussi rapide jusqu'à l'étiage maximum en mai-juin,
- une seconde période marquée par une rupture très nette de ce cycle saisonnier, à partir de mars 1992 et qui montre le passage à une gestion contrôlée des écoulements du fleuve. Le relèvement de la cote du barrage de Diama entre 1,50 m et 2 m a, en effet, eu un impact instantané sur l'hydrologie du fleuve avec un changement radical du régime d'écoulement. On est ainsi passée d'une période d'écoulement en régime transitoire de type intertropical saisonnier à un régime d'écoulement quasi permanent à la côte constante de 1.80 m IGN.



L'analyse des fluctuations de la cote du fleuve Sénégal effectué à partir des données hydrologique relevées à la station de Dagana, montre une évolution similaire à celle du plan d'eau de Diama. Le niveau de base du fleuve qui pouvait descendre jusqu'en dessous de zéro mètre en période d'étiage (1985 – 1986), s'est progressivement relevé pour se maintenir autour de 2,4 m à partir de 1996.

III.2. Impact du fleuve sur les eaux souterraines

Les Figures 4, 5 et 6, montrent les fluctuations du niveau de la nappe avant et après la mise en service des barrages.



Les variations du niveau de la nappe alluviale sont similaires de celles du fleuve, avant et après l'application de la cote de gestion de Diama, en 1992. Les courbes de variation des niveaux piézométriques, vues à travers le piézomètre GA0006 (situé proche du fleuve et en zone non irriguée), en est une parfaite illustration. Durant la période 1989 – 1991 «d'avant barrage» les variations du niveau de la nappe sont de nature saisonnière (Fig. 4). La remontée du niveau piézométriques, qui peut atteindre 1 m environ, s'effectue pendant la période de crue du fleuve (de juillet à octobre). Cette recharge est suivi d'une décharge aussi importante pendant la période de décrue (à partir de décembre). Cette coïncidence entre les périodes de crues et de décrue des eaux de surface et des eaux souterraines, dans un contexte pluviométrique déficitaire (moins de 300 mm par an) et en zone non irriguée, indique une forte interdépendance hydrodynamique entre le fleuve et la nappe alluviale.

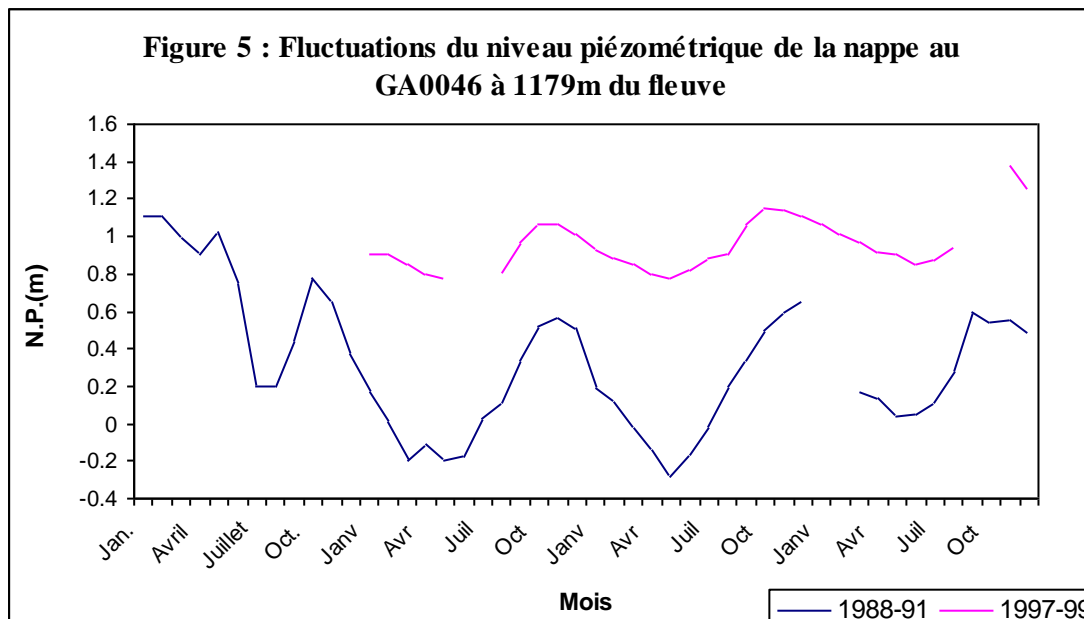
Corrélativement, au cours de la seconde phase «d'après barrage» la nappe d'eau souterraine a connu une recharge brutale avec une évolution piézométriques échappant aux influences saisonnières. De 1997 à 1999 le réservoir aquifère s'est remplie d'environ 1,5 m à partir des niveaux d'étiage «d'avant barrage». Les fluctuations piézométriques se sont ainsi estompées et les variations inter saisonnières ne sont plus que de quelques centimètres (environ 0.2 m). Le relèvement du niveau du fleuve à une cote relativement élevée et constante (1.80 m) explique donc cette forte recharge de la nappe phréatique.

Le piézomètre (le GA0046), captant le compartiment inférieur de la nappe alluviale (à près de 30 m profondeur) et choisi également non loin du fleuve (à 1179 m de la rive) et dans une zone non aménagée, a permis d'identifier l'impact de la «cote rehaussée du fleuve» sur le compartiment inférieur de la nappe alluviale et de percevoir les répercussions en profondeur de cette influence.

Les fluctuations de la nappe, perçues à travers cet ouvrage, montrent une influence mixte, à la fois saisonnière et hydrodynamique, liée aux rapports de drainage avec le fleuve.

Ainsi (Fig. 5), dans la période «d'avant barrage» (entre 1988-1992) le caractère saisonnier des variations piézométriques demeure bien perceptible et de fortes amplitudes (0.80 à 1 m) avec cependant un décalage de la crue des eaux souterraines dont le maximum est atteint entre décembre et janvier. La décharge qui s'amorce vers le mois de février atteint son paroxysme en fin juin avec le début de la prochaine crue du fleuve. Ce décalage du cycle hydrologique de la nappe, notamment de la phase de crue est certainement le fait de la profondeur qui allonge le temps de percolation. Cette percolation, vers le compartiment inférieur, devant, en tout état de cause, se faire après remplissage du compartiment supérieur à travers un aquitard, celui des formations semi-perméables qui compartimente l'aquifère en deux nappes.

L'impact de la «cote rehaussée» de Diama est également bien perceptible sur cette nappe du compartiment inférieur. La courbe des variations piézométriques entre 1997-1999 le montre bien avec des charges hydrostatiques rehaussées autour de 1.2 m et des amplitudes de fluctuations inter saisonnières réduits passant de 1 m à environ 0.2 m.



Le piézomètre GA0051, captant le compartiment supérieur de la nappe alluviale (à 5.7 m de profondeur) est choisi assez loin du fleuve (à 5000 m de la rive) et dans un périmètre agricole. Le choix délibéré de cette position est de minimiser l'impact direct du fleuve afin de mettre en évidence l'influence de l'irrigation sur la nappe alluviale.

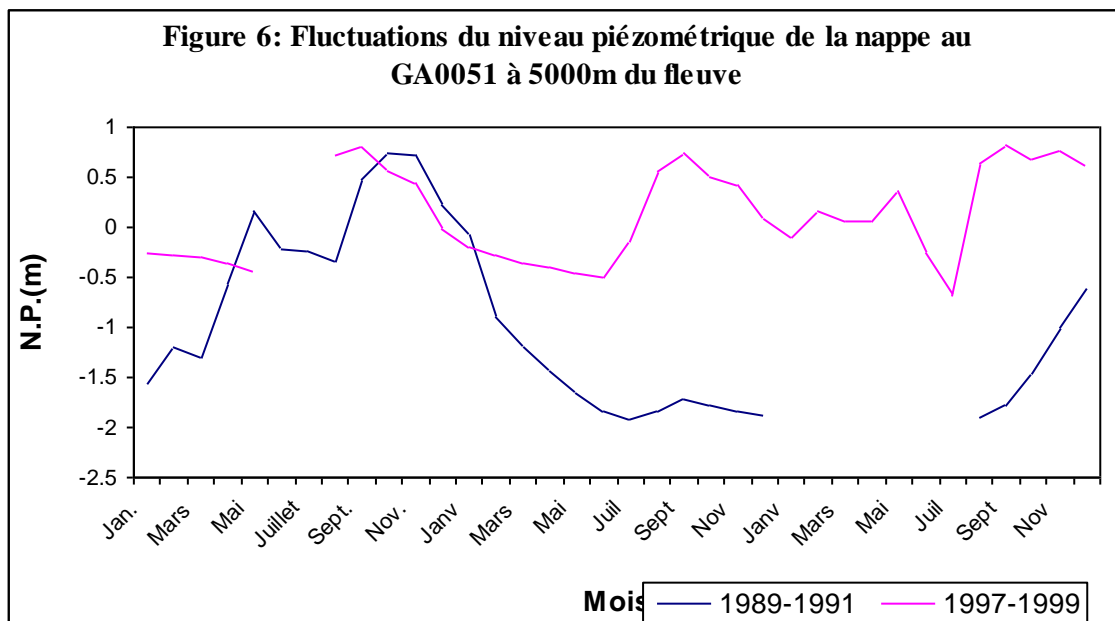
Les fluctuations de la nappe, lues à travers ce piézomètre (Fig. 6), sont beaucoup plus complexes que celles décrites antérieurement. Le changement majeur, dans l'hydrodynamique de la nappe, à ce niveau du réservoir aquifère, est la disparition du caractère saisonnier des fluctuations piézométriques. Les deux cycles hydrologiques observés au cours de la période «avant barrage» sont diamétralement opposés. L'hydrologie 1989-1990 est marquée par une phase de recharge alors que celle 1990-1991 est dominée par une phase de décharge.

Ceci donne l'impression de l'installation d'un cycle de fluctuation à longueur d'onde plus importante que le cycle saisonnier et atteignant la durée de l'année hydrologique. Ce qui voudrait dire, qu'à cette distance, l'influence du fleuve se fait toujours sentir mais avec une période de retard correspondant à la propagation de l'onde de recharge générée à partir des berges du fleuve. Ainsi la recharge observée au cours de l'hydrologie 1989-1990 correspondrait à l'onde de recharge de la crue du cycle hydrologique 1988-1989 alors que la décharge observée au cours de l'hydrologie 1990-1991 correspondrait à l'étiage de l'hydrologie 1989-1990. De ce fait la synchronie des cycles hydrologiques entre les eaux de surface et les eaux souterraines se disloque et l'on passe à un stade anachrone complètement déphasée avec une périodicité des fluctuations piézométriques devenant annuelle. Ces phases de fluctuation du niveau de la nappe sont, à des variantes près, similaires aux crues du fleuve avec une onde assez complexe au cours de l'année compte tenu de la variabilité pluviométrique. La phase de recharge est plus courte alors que la décharge est plus longue, reflétant ainsi l'hydrologie de surface. L'amplitude de l'onde de fluctuation inter annuelle, mise en évidence, au cours de ces deux cycles hydrologiques, est d'environ 1m.

L'évolution du niveau piézométriques dans la période « après barrage» 1997-1999, montre une forte perturbation de cette nouvelle périodicité (à longueur d'onde annuelle) de l'impact du fleuve sur la nappe phréatique. Une hausse importante du niveau piézométrique s'installe à partir de 1997 avec une pseudo périodicité saisonnière aux limites imposées à la cote

approximative de 0 m IGN correspondant à une limite à flux imposé par la propagation souterraine du niveau du fleuve. De plus la période de décharge, correspondant à la saison sèche fait l'objet d'interruptions saccadées avec des phases de recharge et de décharge intra saisonnières courtes et rythmiques.

Cette interruption, de la phase de décharge de la nappe, semble indiquer l'influence de l'irrigation sur la dynamique hydrogéologique. La mise en eau des périmètres irrigués serait certainement à la base de cette perturbation hydrodynamique.



La description hydro-chimique des eaux de la nappe n'a pas été faite dans ces développements, mais il va sans dire que la forte remontée des eaux souterraines entraînera forcément, à partir d'un certain niveau, un drainage per-ascendant (sous l'effet de l'évaporation directe) des sels de cette nappe, à l'origine salée, vers les horizons superficiels, entraînant ainsi la salinisation, à long terme, des terres de culture. Ceci constituera un impact négatif sur les activités agricoles qui constituent la vocation première du delta du fleuve Sénégal.

III.3. Impacts sur l'environnement physique du delta

L'analyse des images, traitées, a permis de noter les changements environnementaux majeurs issus de l'augmentation des disponibilités en eau dans le delta. Les évolutions les plus importantes sont liées aux inondations récurrentes des zones basses du delta, dont une bonne partie de la banlieue de la ville de Saint-Louis et le développement de plantes envahissantes dans ces plans libres.

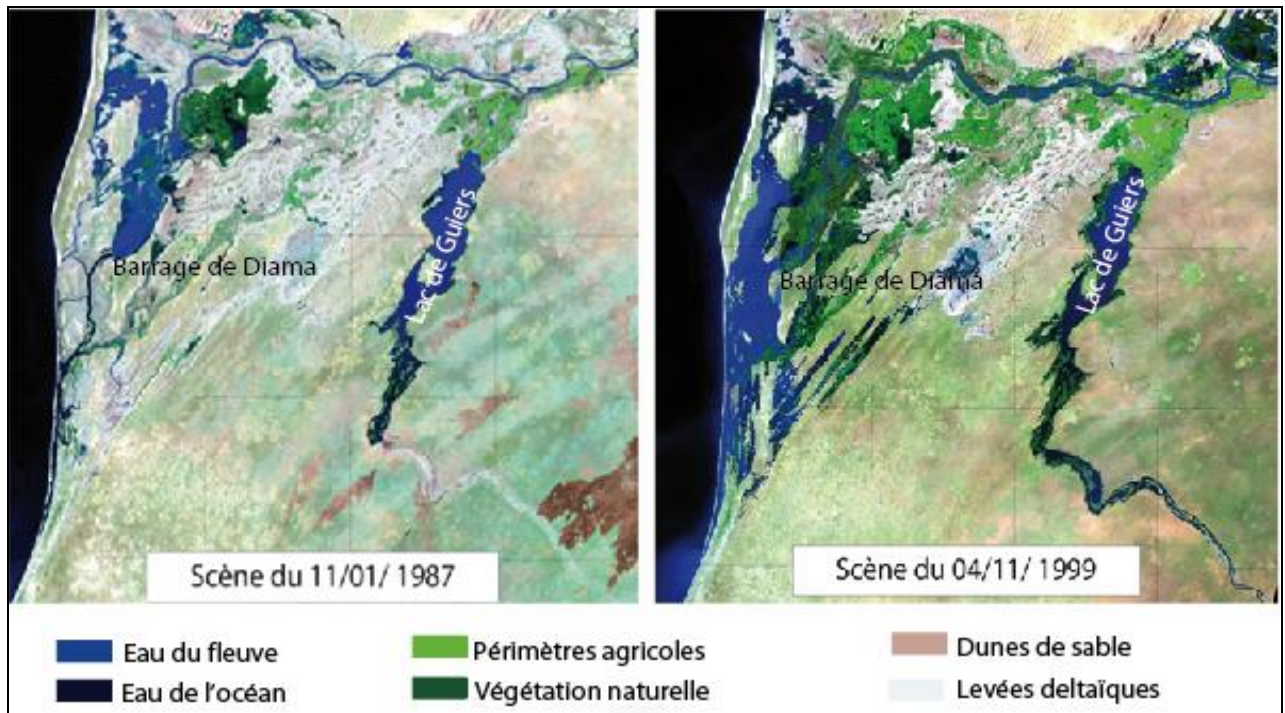


Figure 7 : Images du Delta du fleuve Sénégal

L'analyse de ces images avant et après barrage montre cette évolution du paysage. L'image de 1987 (Fig. 7, scène 1997), montre un couvert végétal peu dense limité:

- aux périmètres de canne à sucre de la CSS le long du canal de la Taoué,
- aux périmètres rizicoles du domaine de la SAED,
- aux inter dunes de la partie proximale du cours d'eau où se développe une végétation naturelle arborée.

Ce paysage pâle, «d'avant barrage», clairsemé de vert (végétation) et de bleu (plans d'eau libre) avec une occupation inférieure à 30 %, est devenu très vivace, couvert à plus de 70 % de plans d'eau libre et de végétation dans la période «après barrage» (fig. 7, scène de 1999).

Cette couverture végétale est particulièrement importante le long du fleuve et dans les plans d'eau qui abondent dans tout le delta en amont du barrage de Diama. Bien que les deux scènes n'aient pas été prises à la même période, l'évolution du paysage avant et après barrage est un fait indéniable. La brutale prolifération de la végétation dans toutes les zones basses du delta est une conséquence directe de la mise en disponibilité des eaux de surface après barrage.

Le barrage de Diama, à vocation anti-sel, en adoucissant ces plans d'eau de surface, a favorisé cette prolifération de la végétation aquatique constituée essentiellement d'espèces envahissantes telles que le Tiffa et la salvinia.

Le fonctionnement des barrages a également fortement modifié la dynamique fluo-marine qui s'est traduite par une prévalence de la sédimentation marine ayant conduit à la migration de l'embouchure du fleuve vers le sud. Cette migration, en jouant le rôle obturateur de crue, a fortement contribué à l'inondation de la ville de Saint-Louis.

Du fait de cette obstruction de l'embouchure, il se développe une intense érosion hydrique entraînant les fortes charges solides perceptibles par la couleur bleue foncée des eaux du

fleuve dans les images satellitaires. Ce fort débit solide, du fleuve, constitue une menace pour la survie du lac de Guiers qui est une des plus importantes réserves d'eau douce du Sénégal. L'approvisionnement en eau potable de Dakar est en grande partie assuré par cette réserve. Son envasement accroîtra d'avantage les pénuries d'eau déjà réelles dans le pays.

III.4. Impact sur l'environnement humain

La ville de Saint Louis, au cœur du delta, est très vulnérable aux processus hydrologiques. Elle a, de tout temps, fait l'objet d'inondations sporadiques lors de fortes crues naturelles du fleuve. Elle fait, de nos jours, face à la présence permanente des eaux dans les zones basses du fait de l'accroissement des disponibilités hydriques liées aux barrages.

Ceci est perceptible à la comparaison des images de la ville entre 1987 et 1999 (Fig. 8). L'alerte rouge est apparue en 1999 où la quasi totalité de la ville fut envahie à la suite de fortes pluies et de fortes crues.

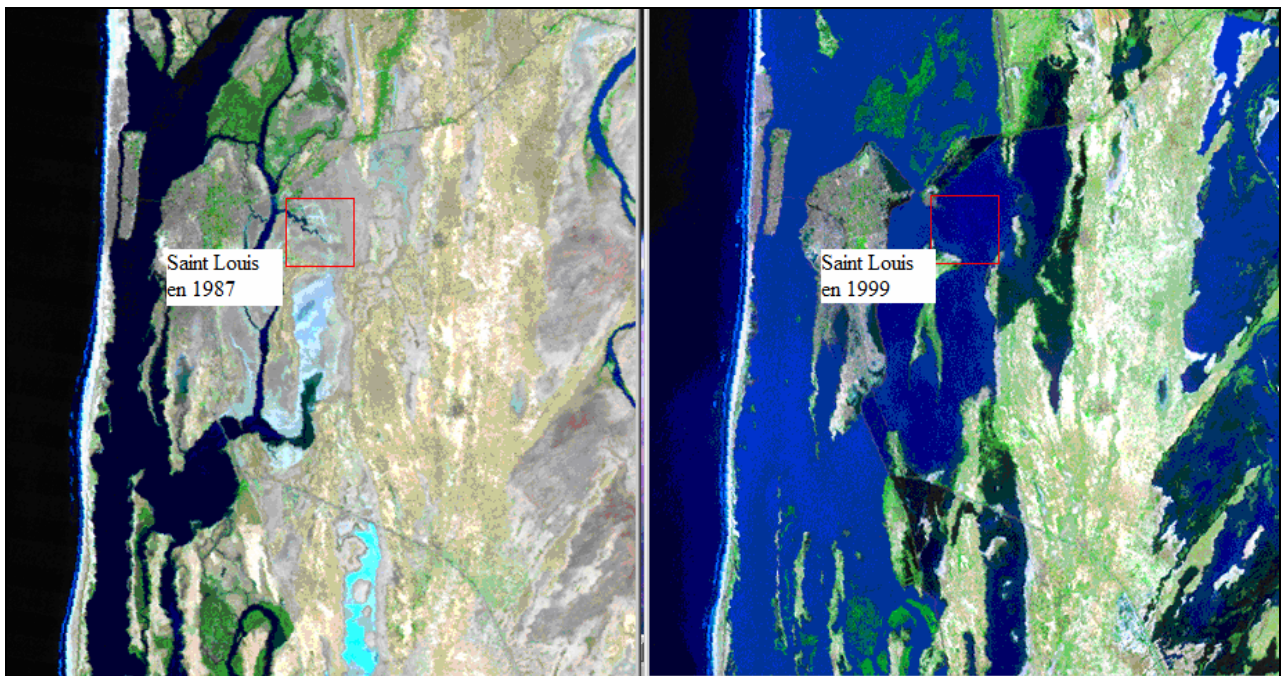


Figure 8 : Images de Saint Louis

L'extension de la ville dans les zones basses accroît cet impact sur l'habitat et entraîne un marasme social qui pèse sur la prise de décision politique quant à la recherche de solutions alternatives. L'ouverture de la brèche sur la langue de barbarie a été une des prises de décision forte dont les conséquences écologiques ne laissent pas indifférente la communauté scientifique.

La photo du quartier de Cité Niakh prise en septembre 2007 (fig.9) illustre la permanence du syndrome «inondation» dans cette grande ville du Sénégal.



Figure 9 : photo du quartier de Cité Niakh à Saint-Louis en septembre 2007 (Malou, 2007)

III.5. Impact sur le développement social et économique

Sur le plan économique et social, l'aménagement de la vallée du fleuve est bénéfique. En effet les barrages (Diama et Manantali) jouent les rôles qui leur sont assignés à savoir:

- l'intensification agricole par la culture irriguée pour Diama
- la production d'énergie électrique pour Manantali

Au plan agricole, les bénéfices sont perceptibles, tant au plan des productions agricoles (dans les périmètres irrigués de la SAED) que de la fixation des populations, notamment de la frange jeune, dans le terroir (baisse de l'exode rural). La prolifération des périmètres agricoles, emblavés par les populations elles-mêmes, est la preuve d'une appropriation des objectifs assignés cet infrastructure hydro-agricole. Les maîtres mots de cette réussite sociale endogène sont «accroissement du niveau de vie», «sécurité alimentaire».

Au plan énergétique, le bilan est aussi positif à l'échelle des états qui s'attèlent à l'optimisation des productions dans un avenir proche.

IV. Conclusion

Les développements présentés dans cet article ont permis de donner un aperçu des interactions entre les infrastructures, les ressources en eau et l'environnement physique et humain. Le cas du delta du fleuve Sénégal évoqué ici est intéressant à plus d'un titre.

Situé en zone sahélienne mais subissant un régime hydrologique de type intertropical humide, le delta du fleuve Sénégal a connu dans l'ère «après barrage» des modifications importantes tant aux plans des disponibilités en eau, de l'évolution du paysage et du mode de vie et d'exploitation du terroir.

Au plan hydrologique, la mise en fonction des barrages a inversé le régime du cours inférieur du fleuve qui est passé d'un régime transitoire saisonnier à un régime permanent à débit imposé. Ceci a eu pour conséquence la recharge de la nappe alluviale sous-jacente dans l'ensemble du delta et un accroissement des disponibilités en eau de surface.

Cet accroissement des eaux de surface et de sub-surface (nappe phréatique sub-affleurante) a, corrélativement, eu des répercussions sur l'environnement physique et humain par l'augmentation de la récurrence des inondations et la prolifération des végétaux aquatiques envahissants, en l'occurrence le Tiffa et la Salvinia.

Au plan socio-économique, les bénéfices, de l'aménagement de la vallée du fleuve, sont également importants. Ils ont pour nom la hausse du niveau de vie des populations, la sécurité alimentaire, la baisse de l'exode rurale, l'accroissement de la production énergétique des états riverain du fleuve à travers l'organisation qui les lie (l'OMVS).

Références bibliographiques :

Diagana, A., 1994. Etudes hydrogéologiques dans la vallée du fleuve Sénégal de Bakel à Podor : relations eaux de surface / eaux souterraines. Thèse 3^{ème} cycle Univ. Cheikh Anta Diop Dakar , Sénégal, 123p.

Deckers, J., , 1996

Le Brusq, J.Y., 1980. Etude pédologique des cuvettes de la vallée du Lampsar. Multig. ORSTOM Dakar, Sénégal, 76p +annexes.

Loyer, J. Y., 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, Paris, France, 137p.

Malou, R., 1992. Etude des aquifères superficiels en Basse Casamance : un modèle de bilan hydrique. Thèse 3^{ème} cycle Univ. Cheikh Anta Diop Dakar , Sénégal, 150p.

Malou, R., 2004. Impact du climat sur les ressources en eau souterraines en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat ès Science Naturelles, Univ. Cheikh Anta Diop Dakar, Sénégal, 152p.

Ngom, F. D., 2000. Caractérisation des transferts hydriques dans le bassin de la Néma au Sine Saloum. Thèse 3^{ème} cycle Univ. Cheikh Anta Diop Dakar, Sénégal, 130p.

Ngom F.D., Malou R.,Dacosta H., Mendy A., 2002. Contrainte climatique des nappes d'eau souterraine en zone soudano-sahélienne : cas de lanappe phréatique du bassin de la Néma dans la région du Sine au centre ouest du Sénégal. AJST Vol. 3 (N°1), 7p.

OMVS / USAID, 1990. Rapport de synthèse hydrogéologique du Delta du fleuve Sénégal (projet 625-0958). Rapport final, Volume II. International Science and technology Institute, Washington, USA, 76p.

SAED/ DPDR, 1998. Suivi des piézomètres dans le Delta du fleuve Sénégal. Projet Gestio de l'Eau, Bulletin Technique n°15, Saint Louis, Sénégal, 70p.

Van Lavieren, B. et Van Wetten, J., 1988. Profil de l'environnement de la vallée du fleuve Sénégal. Direction Générale de la Coopération au Développement (DGIS). Pays Bas, 159p.