

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Ecole Doctorale « Eau, Qualité et Usages de l'Eau »



FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

THESE DE DOCTORAT UNIQUE

Spécialité : Environnement Littoral

Année académique : 2013-2014

N° d'ordre :

Présentée par

Marième MBOUP

Changements socio-environnementaux et dynamique de la végétation aquatique envahissante dans le delta du fleuve Sénégal



Thèse présentée et soutenue à Dakar le 03 juin 2014 devant le jury composé de

Alioune KANE	Professeur titulaire FLSH UCAD	Président de jury
Aliou GUISSÉ	Professeur titulaire FST UCAD	Directeur de thèse
Gérard BELTRANDO	Professeur titulaire Université Denis Diderot Paris VII	Co-directeur de thèse
Kandioura NOBA	Professeur titulaire FST UCAD	Examineur
Amadou Lamine NDIAYE	Docteur, Dir. Environnement et Développement Durable OMVS	Examineur
DA Dapola Evariste C.	Maître de Conférences UFR-SHR Université de Ouagadougou	Rapporteur
Paul Marie NDIAYE	Chargé de recherche FLSH UCAD	Rapporteur

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Ecole Doctorale « Eau, Qualité et Usages de l'Eau »



FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

THESE DE DOCTORAT UNIQUE

Spécialité : Environnement Littoral

Année académique : 2013-2014

N° d'ordre :

Présentée par MBOUP Marième

Changements socio-environnementaux et dynamique de la végétation aquatique envahissante dans le delta du fleuve Sénégal

Sous l'encadrement de

Aliou GUISSÉ - Professeur titulaire d'Ecologie végétale FST UCAD - Directeur de thèse

Gérard BELTRANDO - Professeur titulaire de Géographie Université Denis Diderot Paris VII - Co-directeur de thèse

Préparée au sein de

Laboratoire d'Ecologie Végétale et d'EcoHydrologie-Département biologie végétale FST UCAD

Et de l'UMR 8586-CNRS Pôle de Recherche pour l'Orientement et la Diffusion de l'Information

Géographique PRODIG – Université Paris VII Diderot



AVEC L'APPUI FINANCIER ET LOGISTIQUE DE

Projet U3E de la Coopération Française



Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS)



Résumé

Le delta du fleuve Sénégal a subi des transformations hydroclimatiques et socioenvironnementales majeures ces trente dernières années. C'est à partir de 1985, dans un contexte généralisé de dégradation climatique et d'insécurité alimentaire au Sahel, qu'un vaste programme de barrages et d'aménagements hydro-agricoles sera mis en œuvre dans le delta par l'OMVS. Dans cet écosystème marqué par une grande fragilité des relations nature-société, où toute modification environnementale pourrait avoir des répercussions majeures sur les modes de vie, ce sera le début de transformations à la fois rapides et brutales. En moins d'une décennie, la végétation aquatique s'est développée à une vitesse rapide, prenant ainsi des proportions inquiétantes. Cette prolifération de plantes aquatiques représente une menace sérieuse à la biodiversité, à la qualité de l'eau, à la santé publique et aux activités socioéconomiques dans le delta.

L'objectif de cette thèse est d'apprécier les changements socioenvironnementaux qui se sont opérés dans le delta à travers l'analyse de la dynamique de la végétation aquatique envahissante, qui n'est en réalité qu'une manifestation du degré de perturbation des écosystèmes.

L'approche méthodologique, pluridisciplinaire avant tout, s'est basée sur l'utilisation d'outils de la télédétection spatiale et de la phytoécologie. Nous retraçons l'histoire de la colonisation en s'appuyant sur une analyse diachronique d'images satellites Landsat TM de 1984 à 2010 et sur l'utilisation du satellite hyperspectral EO-1 Hyperion pour la discrimination de la végétation aquatique. Ensuite, nous étudions l'influence de quelques facteurs écohydrologiques sur le développement de *Typha domingensis* et les impacts de ce dernier sur la sécurité alimentaire et les activités socioéconomiques.

Les résultats obtenus montrent une progression de la végétation aquatique de 4 % par an entre 1984 et 2010 et *Typha domingensis* constitue la principale espèce proliférant dans le delta. *Typha* contient un taux d'humidité supérieur à 80 % et ne supporte pas un taux élevé de salinité ainsi qu'une profondeur d'eau dépassant 1 m. La prolifération de *Typha* a un impact direct sur la sécurité alimentaire dans la zone car elle entrave les activités de pêche, d'agriculture irriguée et d'approvisionnement en l'eau. Les stratégies de gestion mises en œuvre se sont avérées jusqu'ici inefficaces face à la ténacité de ces communautés végétales qui colonisent aujourd'hui plus de 164000 ha dans le delta.

La méthode biologique pour contrôler le développement des *Typha*, encore au stade de la recherche, aurait été certainement la stratégie la plus propre et la moins onéreuse mais à ce jour, aucun prédateur naturel du *Typha* n'est connu. Aujourd'hui, la valorisation de *Typha* semble être le dernier recours dans la lutte acharnée contre cette plante. Cette option pourrait, à la fois, éradiquer un problème écologique et créer de nouvelles pistes de création de richesses pour des populations de plus en plus atteintes par les conséquences des changements environnementaux et de leurs répercussions négatives sur le développement local.

Mots-clés : Delta du Sénégal, *Typha domingensis*, barrage, écohydrologie, écosystème, phytoécologie, télédétection, dynamique



Abstract: Socio-environmental changes and aquatic vegetation dynamic in Senegal River delta

Senegal River delta suffers for major transformations and hydro socioenvironmental the last thirty years. In the later 1985', in a context of generalized climatic degradation and food insecurity in the Sahel, a vast program of dams and irrigation schemes will be implemented in the delta by OMVS. In this ecosociosystem marked by great fragility of nature-society relations, where any environmental change could have a major impact on lifestyles, this is the beginning of brutals changes. In less than a decade, aquatic vegetation has grown at a rapid rate, thus taking on worrying proportions. This proliferation of aquatic plants represents a serious threat to biodiversity, water quality, public health and socio-economic activities in the Delta.

The objective of this thesis is to assess the socio-environmental changes that have occurred in the delta through the analysis of the dynamics of invasive aquatic vegetation, which is actually a manifestation of the degree of disruption of ecosystems.

The methodological foremost multidisciplinary approach is based on the use of tools of remote sensing and plant ecology. We trace the history of colonization based on a Landsat TM images from 1984 to 2010 and diachronic analysis on the use of satellite hyperspectral EO-1 Hyperion for discrimination of aquatic vegetation. Then, we study the influence of some factors on the development Ecohydrological *Typha domingensis* and impact of the latter on food security and socio-economic activities.

The results show an increase of aquatic vegetation of 4% per year between 1984 and 2010 and *Typha domingensis* is the main proliferating species in the delta. *Typha* contains greater than 80 % humidity and does not support high salinity water and a depth of more than 1 m. The proliferation of *Typha* has a direct impact on food security in the area because it hinders fishing, irrigated agriculture and water supply. Management strategies implemented so far proved ineffective against the tenacity of these plant communities that colonize today more than 164,000 ha in the delta.

Biological method to control the development of *Typha*, still in the research stage, was certainly the cleanest and least expensive strategy, but so far, no natural predator of *Typha* is known. Today, the value of *Typha* seems to be the last resort in the fierce struggle against this plant. This option could, at once, eradicate an ecological problem and create new avenues of wealth creation for populations increasingly affected by the consequences of environmental change and its negative impact on local development.

Key words : Senegal river delta, *Typha domingensis*, dam, ecohydrology, ecosociosystem, phytoecology, remote sensing, dynamic



Sommaire

RESUME.....	1
ABSTRACT.....	1
AVANT-PROPOS.....	2
SOMMAIRE.....	4
INTRODUCTION GENERALE.....	8
PREMIERE PARTIE LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL : CARACTERISTIQUES BIOPHYSIQUES, OCIOECONOMIQUES ET HUMAINES.....	19
CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES BIOPHYSIQUES DU DELTA.....	22
CHAPITRE II: ACTIVITES SOCIOECONOMIQUES ET ANTHROPISATION DU MILIEU.....	47
CHAPITRE III: PROBLEMES ENVIRONNEMENTAUX EMERGENTS	58
DEUXIEME PARTIE : ANALYSE MULTI-DAYES DE LA DYNAMIQUE DE LA VEGETATION AQUATIQUE DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL DE 1984 A 2010.....	67
CHAPITRE IV: L'OBSERVATION DE LA TERRE PAR LES SATELLITES : UN LONG PROCESSUS	70
CHAPITRE V : METHODOLOGIE D'ANALYSE ET DE TRAITEMENT	80
CHAPITRE VI : EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS DU DELTA DE 1984 A 2010.....	96
TROISIEME PARTIE : ETUDE DE L'INFLUENCE DE QUELQUES FACTEURS ECOHYDROLOGIQUES SUR LE DEVELOPPEMENT DE TYPHA DOMINGENSIS DANS LES ZONES HUMIDES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL.....	115
CHAPITRE VII - ETUDIER L'ECO-HYDROLOGIE DE <i>TYPHA DOMINGENSIS</i> : LE MATERIEL ET LES METHODES	120
CHAPITRE VIII - RESULTATS.....	129
CHAPITRE IX - DISCUSSIONS	154
QUATRIEME PARTIE : ANALYSE DES IMPACTS DE LA PROLIFERATION DE VEGETAUX DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL ET DES STRATEGIES DE GESTION MISES EN ŒUVRE.....	167
CHAPITRE X : ANALYSE DE LA VULNERABILITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION LOCALE A L'ENVAHISSEMENT DE VEGETAUX AQUATIQUES : CAS DES VILLAGES CEINTURANT LA ZONE TAMPON DU PARC DE DJOUDJ	164
CHAPITRE XI: CADRE DE GESTION DE LA PROLIFERATION DE VEGETAUX AQUATIQUES DANS LE DELTA	177
CHAPITRE XII : DE LA VALORISATION DE TYPHA.....	188

AVANT-PROPOS

Je voudrais commencer mes propos par cette histoire sur le bambou chinois que je trouve étonnamment belle. On raconte qu'il existe en Chine une variété de bambou tout à fait particulière. Si l'on sème une graine dans un terrain propice, il faut s'armer de patience...

En effet, une fois la graine plantée, on ne voit rien pendant à peu près cinq ans sauf une pousse minuscule. La première année, il ne se passe rien, aucune tige ne daigne sortir du sol, pas la moindre pousse. La deuxième année, non plus. La troisième ? Pas davantage. La quatrième, alors ?... Rien ! Ce n'est que la cinquième année que le bambou pointe enfin le bout de sa tige hors de terre. Mais il va alors pousser de douze mètres en une seule année !

Que s'est-il passé ? La raison est simple, durant cinq ans, alors que rien ne se produit en surface, le bambou développe de prodigieuses racines dans le sol grâce auxquelles, le moment venu, il est en mesure de grandir très rapidement. Je trouve cette histoire si jolie et tellement proche de celle de la réalisation de ma thèse. Quelle leçon de patience et de persévérance !

Il n'y a que sur ces quelques lignes de mon pavé que j'ai le droit de vous parler de mon expérience personnelle, de mes missions de terrain palpitantes, teintées de risque alors je ne m'en priverai pas parce que dans une thèse, on ne fait pas de récit de sa vie et de ses émotions. C'est parfois si frustrant de ne pouvoir partager avec nos lecteurs ces moments de doute et toutes les péripéties et histoires extraordinaires qu'on a vécu.

Je ne me laisserai jamais de rappeler mon histoire avec le *Typha*, cette plante aquatique « envahissante » que j'ai découverte à travers un très passionnant documentaire sur les cultures irriguées dans la vallée du Sénégal en 2008. C'est quelques temps après, à l'occasion d'une réunion de concertation des acteurs sur le *Typha* pendant mon stage à la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés que j'ai réellement compris tous les enjeux que cachaient cette plante. Je décidai à l'instant de travailler sur ce thème en DEA alors que j'étais encore en maîtrise...

C'est donc avec le *Typha* que j'ai découvert cette écorégion magnifique et complexe à la fois qu'est le delta du fleuve Sénégal entre Saint-Louis la ville, les milliers de méandres et détours du système fluvial, les aménagements, les équipements, les établissements humains et industriels,...et encore ! J'ai vécu mes premières missions de terrain en doctorat comme une expérience inédite. Inédite en cela parce qu'elles contrastaient vraiment avec celles que j'ai effectué en DEA où je n'avais aucun contact physique avec la jungle aquatique de *Typha*. En doctorat, j'ai franchi ce cap d'observatrice pour celui d'expérimentatrice. Je retiens surtout les débuts difficiles pour dompter cette jungle aquatique et les difficultés d'appliquer les méthodes d'étude de la végétation en milieu inondé. Professeur Guissé a tenu à ce que je me fraye un chemin dans les rideaux de *Typha* immergés pour mesurer la taille de la biomasse, prélever des échantillons d'eau et de sol, recenser les espèces présentes, leur abondance dominance... Croyez-moi j'ai eu envie

d'abandonner le jour où je suis tombée sur un python dans le fleuve à Richard Toll avec mon collègue Madiara Ngom Faye.

Aujourd'hui, à côté du soulagement de finir cette thèse que je peux ressentir, je ne regrette rien, car finalement j'ai éprouvé un grand bonheur à découvrir, à la rédiger et à contribuer à une recherche active de solutions à un grand problème socio-économico-environnemental.

J'ai envie du coup de m'excuser, pour tout le stress que j'ai pu donner durant ces quatre longues années à mon entourage, mes directeurs, amis et parents surtout, qui n'ont cessé de s'inquiéter de me savoir «seule» dans cette jungle aquatique qui peut s'avérer dangereuse parfois et de me soutenir moralement le tout le temps nécessaire pour que j'arrive au bout de cette mission où j'ai souvent été désagréable, nerveuse, émotive, incomprise ...

Ce travail de recherche doctorale a été effectué au Laboratoire d'Ecologie Végétale et d'Éco-Hydrologie (LEVEH) du département de Biologie Végétale de l'UCAD en collaboration avec la composante Université Denis Diderot Paris VII de l'UMR 8586 du CNRS-PRODIG. Cette recherche n'aurait jamais pu aboutir sans l'encadrement, les conseils et soutiens d'éminents chercheurs avec qui j'ai eu à collaborer durant ces années doctorales et à qui je tiens, ici, à adresser mes plus vifs remerciements.

Je commencerai par Professeur Aliou GUISSÉ, qui a assuré la direction et l'encadrement de cette thèse. Je vous dois mes premiers pas en écologie végétale, de m'avoir appris ce qu'est travail sous pression, esprit d'équipe, rigueur tout simplement je dirai... Merci d'avoir particulièrement suivi mes travaux sur le terrain. Vos suggestions et conseils me seront toujours utiles.

A Professeur Gérard BELTRANDO, mon co-directeur de thèse. Je vous suis profondément reconnaissante d'avoir suivi l'élaboration de ce travail et d'avoir facilité mon intégration au sein du PRODIG. Nos échanges et discussions scientifiques ont été très fructueux. Au-delà des considérations scientifiques, je me permets de lui témoigner ma plus grande sympathie eu égard à son accueil à Paris et à sa disponibilité.

Au Pr. Alioune KANE à qui je voue une grande admiration et une profonde reconnaissance, je dis MERCI. Je suis profondément touchée par l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail et d'être le président du jury. Les circonstances ont fait que vous ne figurez pas dans ce document en tant que directeur mais vous avez intensément participé à l'encadrement de mes travaux de recherche depuis le DEA et à ma formation au département de géographie.

Je tiens aussi à remercier messieurs les membres de mon jury de thèse pour avoir accepté de participer à ce jury mais aussi de contribuer significativement à l'amélioration du manuscrit. Je veux nommer Dr. DA Dapola Evariste de l'université de Ouagadougou, Dr. Amadou Lamine Ndiaye, Directeur Environnement et Développement Durable OMVS, Dr. Paul Marie NDIAYE du Département de géographie de l'Ucad et Pr Kandjoura Noba de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Ucad. Je vous prie de trouver ici mes vifs remerciements.

Mes remerciements iront ensuite à l'endroit de mon maître de stage Jean-Claude BERGES, ingénieur de recherches au PRODIG pour toute l'importance et l'intérêt qu'il accordé à cette

recherche. Vous avez assuré l'encadrement technique de la partie « télédétection » et spontanément mis à ma disposition toute la documentation nécessaire à la réalisation de ces travaux. Merci de m'avoir contaminé ce « feeling » pour les Images satellites hyperspectrales !

Ce travail qui ne vise pas à l'exhaustivité, est le fruit de l'application des méthodes de travail de recherche qui m'ont été enseignées au cours de ma formation universitaire et de réflexions personnelles qui ont été stimulées par toutes les personnes, qu'il m'a été permis de rencontrer durant mon cursus universitaire. C'est une heureuse occasion pour moi de leur exprimer ma profonde reconnaissance. Je commencerai par Monsieur Ahmadou Fadel KANE, Maître de conférences au département de géographie que j'appelle affectueusement « Tonton » et qui a d'avoir cru en moi dès le début. Merci pour toute sa sagesse, la richesse des ses enseignements et son affection paternelle envers moi.

A Madame Aminata Ndiaye, Maître de conférences au département de géographie, d'avoir été avec tonton Ahmadou Fadel Kane, la première à guider mes pas dans la rédaction scientifique.

Ma plus grande estime envers Monsieur Paul Marie Ndiaye, qui m'a, par ses critiques et suggestions ô combien utiles, aidé à formuler l'idée générale de ma « thèse » et l'angle d'attaque du géographe dans un thème de recherche aussi large et multidisciplinaire que l'environnement.

J'adresse mes sincères remerciements au Professeur émérite Jean-François Noel, pour sa disponibilité, sa grande générosité intellectuelle et le travail ingrat de relecture du manuscrit qui vous a été confié.

Au Professeur Abdou Salam SALL, ancien recteur de l'UCAD, je ne cesserai de merci. Il a cru en notre projet et a soutenu nos premiers pas dans le monde de la recherche.

Ma plus grande reconnaissance également envers le corps professoral du département de Géographie et la faculté des lettres et sciences humaines mesdames et messieurs Awa Niang Fall, Alioune BA, Ndiacé Diop, Coura Kane Diallo (ma grande sœur de cœur), Diatou Thiaw, Anastasie Mendy Beye, Lat Soucabé Mbow, Salif Diop, Mame Cheikh Ngom, Oumar Gueye du département d'Histoire,... je vous dis merci pour la qualité des enseignements que j'ai reçu durant mon cursus universitaire. Merci également à mes chers collègues doctorants de l'EDEQUE et à mes camarades de promotions !

Je fais une mention spéciale à Dr. Jacques André Ndione, la fécondité de nos discussions intellectuelles m'a à chaque fois encouragé à aller au bout de cette thèse. Thank's you Sir !

Au département de Biologie Végétale et particulièrement au sein du Laboratoire d'Ecologie végétale et d'Écohydrologie, j'ai noué des liens d'amitié indéfectible au fil de nos longues discussions et échanges scientifiques durant ces années de recherche doctorale. Mes remerciements iront d'abord à l'endroit de mes collègues Dr. Madiara Faye et Dr Ousmane Ndiaye avec qui j'ai partagé des missions de terrain palpitantes sur le terrain. A mon très cher ami Dr Mouhamed Charahabil, Dr Aly Diallo, Dr Amadou Lamine Ndoye, Dr Malick Ndiaye, Dr Sékouna Diatta pour les discussions enrichissantes. A mes chers amis doctorants Minda M.

Saleh (ma vipère de coupiiiiiiiiine), Amath Thiaw, Aïssatou T.Ndong Gaye, Dr Amy Bakhom, Dr Oumar Sarr, Khoudia Niang, Adjara Keita, Dr César Bassène, Moussa Kasse, Moustapha B. Sagna, Daouda Ndiaye, Mame Thierno Wade, Malick Diop, Almamy Alain Ndiaye. Je fais une mention spéciale au corps professoral : Pr Léonard Elie Akpo, Pr Ibrahima Ndoye, Pr Samba Ndao Sylla, Pr Mame Ourèye SY, Dr Mame Samba Mbaye, Dr Nalla Mbaye, Dr Alioune Ndiaye, Dr Diégane Diouf, merci pour la grande générosité intellectuelle dont avez fait montre à mon endroit.

J'aimerais adresser également mes sincères remerciements à tous mes collègues doctorants, docteurs et enseignants de l'Université Paris 7 et du laboratoire PRODIG : Ababacar Fall, Oumar Marega, Laurent Bruckmann, Dr Sarah Duche, Dr Coura Ba, Lucile Etienne, Anne Laure Lereboullet, Romain Perrier, Mélanie Pateau, Wahiba Menad, Dr Malika Madelin, Dr Emilie Lavie et Dr Nicolas Delbart. Je vous dois ma connaissance des outils de la télédétection spatiale et des discussions riches avec lesquelles notre expérience a pu se nourrir ces dernières années. Je vous serez éternellement reconnaissant d'avoir rendu agréable mes séjours à Paris.

Enfin, j'adresse mes vifs remerciements à la Direction Environnement et Développement Durable de l'OMVS notamment Tamsir Ndiaye, Dr Amadou Lamine Ndiaye, Mor Dieng, Victorine Fall, Malang Diatta, Traore, Gning d'avoir pris part activement à cette recherche.

J'ai aussi envie de remercier très profondément mes parents : Maman, Papa, mes frères à qui je dédie spécialement ce travail. Merci de votre amour démesuré, de vos conseils et de votre affection. A ma famille, à mes proches et amis qui ont supporté mes longues absences, mes tantes et oncles, grand-parents je dis merci pour leur soutien sans faille, leur aide morale et matérielle. Je serai très ingrate de ne pas citer Tata Amy Rose, Anta, Maman Adjí, Maguïta, Pape Gueye, ma cousine Ndatté à Paris, Tonton Professeur Lamine Diouf et sa famille, Tonton Maodo Dia et ces quatres messieurs qui ont énormément soutenu ma carrière professionnelle et mes recherches : Seyni Ndiaye Fall, Oumar Karamoko Ndiaye, Al Assane Sene et Bocar Diack.

Enfin, last but not least, dédicace à mes ami(e)s : Khadyjatou Kane, tout d'abord, nous avons caressé ensemble ce rêve à l'aube de nos 18 ans à peine bachelières, ce travail est le tien ! A Médoune Cissé, Issakaha Dia, et à mon très cher Damel Abdoulaye Fall...

Je remercie bien-sûr aussi tout ceux que j'ai omis de citer... en espérant qu'ils me le pardonnent... Je vais maintenant de vous laisser tranquillement lire mon manuscrit ...DIEUREDIEUF, MERCI du fond du cœur et Bonne lecture !



Introduction Générale

Les zones humides du delta du fleuve Sénégal donnent l'aspect d'un immense jardin aquatique avec des cours d'eau aux surfaces fortement végétalisées. En parcourant ces axes hydrauliques, l'observateur est surtout frappé par l'uniformité et la ressemblance des paysages marqués par l'abondance de la végétation aquatique et par l'omniprésence de *Typha domingensis*. Le spectacle est certes beau mais un examen de plus près montre de terribles dysfonctionnements écologiques. En effet, la forte présence des *Typha* est révélatrice du degré de perturbation de l'écosystème.

La prolifération de plantes aquatiques est aujourd'hui devenue un sérieux problème environnemental et socioéconomique dans le delta. Ce phénomène qui a surpris par son ampleur et sa vitesse de propagation, serait réapparu suite à l'édification des barrages et des aménagements hydro-agricoles à partir des années 1980. Et pourtant, cette prolifération de plantes aquatiques n'est pas en réalité un fait inédit dans le delta. En effet, des épisodes de "pullulation de *Typha*" ont été notés en 1933 dans les marigots Djeuss et Lampsar (défluent du fleuve) et sur les pourtours du lac de Guiers dans les années 1950 (Trochain 1940 ; 1956). Cette situation avait été favorisée par la construction des ponts-barrages de Kheune et de la Taouey (Kane 1997). Ces deux ouvrages ont cependant été très éphémères, la crue les ayant très tôt emportés. Le premier était destiné à créer une réserve d'eau douce pour la ville de Saint-Louis, alors que le second visait à empêcher l'intrusion des eaux marines en période d'étiage afin de réaliser une mise en valeur agricole cohérente autour du lac.

Cependant, aucun de ces deux épisodes n'a connu une intensité et une ampleur telle que la dernière.

- Aménagements hydrauliques et changements environnementaux dans le delta

L'aménagement des cours d'eau dans les zones arides à semi-arides est une question souvent très controversée. Généralement non planifiée, il se fait sous la menace directe d'un aléa climatique - sécheresse ou inondation - ou d'une injonction extérieure - bailleurs de fonds - (Diakhaté, 1986). Dans la vallée du fleuve Sénégal, il s'est fait dans le contexte d'un environnement hostile (Mietton, 2007) exacerbé par une péjoration climatique sévère (Lamagat, 2001).

Le bassin du fleuve Sénégal, à l'instar des autres régions sahéliennes a été marqué durant les décennies 1970-80-90 par une longue phase de sécheresse avec des répercussions graves sur le fonctionnement des hydrosystèmes. Elle s'est caractérisée par une baisse drastique des apports

pluviométriques et des débits des cours d'eau ouest africains (Gac et Faure, 1987). Le fleuve Sénégal, dont les écoulements proviennent totalement des régimes de pluies du bassin, a connu durant cette période une baisse importante des débits et des volumes de crue de l'ordre de - 30% (Niass et al, 2004).

Dans ce bassin, le régime hydrologique était marqué par l'alternance entre une période de crue où les cuvettes étaient généreusement inondées par les débordements du fleuve et une période d'étiage où c'est l'eau salée de la mer qui envahit tout le delta. Cette remontée des eaux marines a été particulièrement exacerbée par les changements hydroclimatiques observés durant cette période, et se faisait sentir jusqu'à plus de 250 km de l'embouchure (Kane, 1985).

Ceci a constitué pour les populations riveraines un véritable coup de frein à leurs activités (agriculture, pêche, élevage) car des problèmes de disponibilité d'eau douce se posaient ainsi avec acuité (Diakhaté, 1986 ; Dumas, 2006).

Face à cette dégradation du contexte hydro-climatique, la construction de barrages s'est imposée comme une solution logique. C'est elle qui a justifié les multiples tentatives d'aménagement de la vallée du fleuve jusqu'à l'édification du barrage anti-sel de Diama en 1985 à 27 km de l'embouchure par l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) et plus tard de celui de Manantali en 1989 situé dans le haut bassin en république malienne. Ce dispositif sera complété par une digue ceinturant tout le delta et un réseau d'ouvrages vannés pour contrôler les immersions (Dia Abdou, 1986).

Ces aménagements avaient pour but principal de créer une réserve d'eau douce et de réguler le débit de la crue. La disponibilité en toute saison de cette ressource a permis le développement à grande échelle de la culture irriguée, la production d'électricité et l'approvisionnement en eau potable des grands centres urbains. Ainsi, le delta est devenu une grande zone à vocation agricole avec une monoculture du riz dans les périmètres irrigués, du maraîchage et le développement de spéculations industrielles (tomates, canne à sucre, etc.).

Dans le delta et la basse vallée, le niveau des eaux est plus élevé et plutôt stable avec une vitesse de courant faible voire nulle. Toutefois, la présence de l'eau douce en permanence dans des écosystèmes qui étaient périodiquement secs et/ou submergés d'eaux saumâtres a considérablement perturbé l'équilibre naturel de ce milieu sensible. La qualité des eaux du fleuve s'est aussi sensiblement altérée avec l'expansion de l'agriculture irriguée. En effet, le rejet direct d'effluents liquides chargés (Azote, Phosphore et Chlorures) provenant des eaux de drainage non traitées des périmètres irrigués a entraîné une véritable pollution de ce milieu (Cissé, 2011).

Ces nouvelles conditions écologiques ont favorisé quelques années après la prolifération de végétaux aquatiques envahissants et la recrudescence de maladies liées à l'eau (bilharzioses,

fièvre de la Rift Valley) qui étaient jusqu'alors rares ou inconnues dans la vallée (Phillipe et al, 1998 ; Handschumacher et al, 1992).

- **La prolifération de végétaux aquatiques dans le delta et ses impacts**

La colonisation du bassin du Sénégal par ces espèces végétales a pris des proportions inquiétantes. En moins d'une décennie la plupart des axes hydrauliques inondés en permanence ou temporairement ont été envahis par la végétation aquatique. On dénombrait en 2001 plus de 100000 ha de plans d'eau infestés par la végétation aquatique (OMVS/SOGED 2002). Les principales espèces en cause sont *Salvinia molesta*, *Pistia stratiotes*, *Typha domingensis* et *Phragmites australis* (PGIAAPO/Sénégal 2005).

Les images satellites suivantes montrent une évolution de l'occupation du sol dans le delta entre 1984, une année avant l'édification du barrage de Diama et 2010 plus de deux décennies après les aménagements hydrauliques.

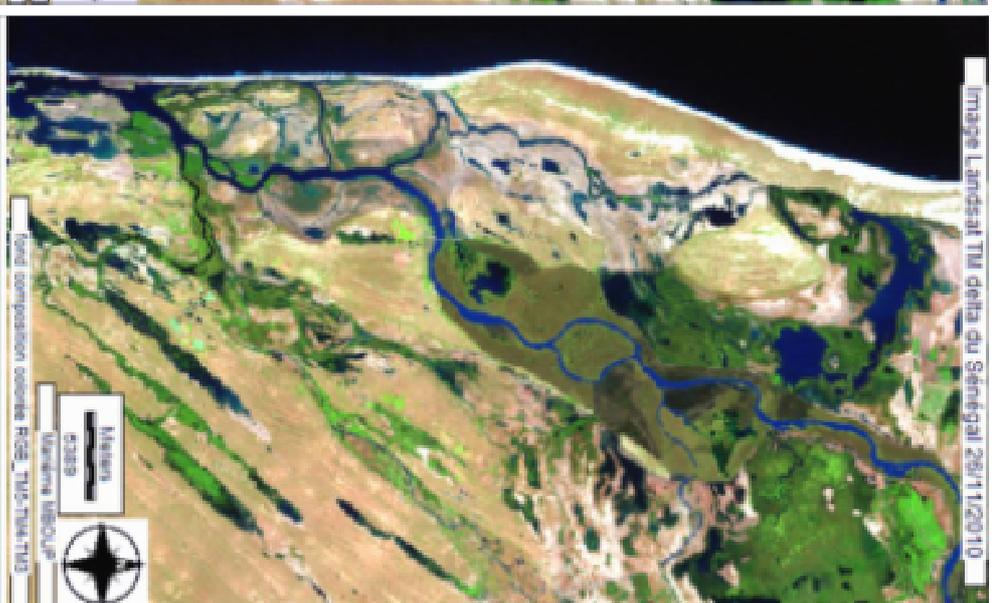
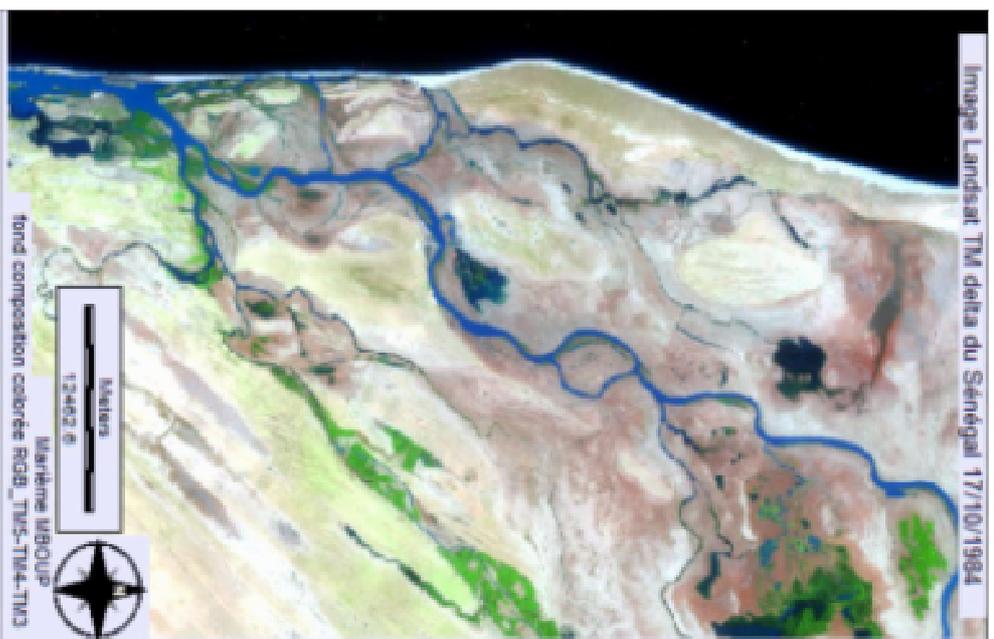


Planche 1: Images Landsat TM du delta du Sénégal en 1984, 1989 et 2010 mettant en évidence l'évolution de la végétation aquatique dans la retenue de Diama

Si la prolifération de *Salvinia* et de *Pistia* a pu être contrôlée grâce à l'introduction d'ennemis naturels, celle de *Typha* et *Phragmites* pose encore problème et continue à engendrer des impacts environnementaux et socio-économiques d'une gravité inattendue. Aujourd'hui, une actualisation des connaissances sur l'évolution spatiale de ces superficies infestées s'impose, au regard des nombreuses campagnes de lutte mécanique mises en œuvre dans le delta depuis le début des années 2000. La puissante dynamique de colonisation de ces espèces envahissantes est liée, entre autres, à leurs fortes capacités d'adaptation à de nombreux biotopes, à leur double système de reproduction et de compétition interspécifique (Dutartre, A. 2002).

L'invasion des zones humides du delta par la végétation aquatique a entraîné la diminution de taille de nombreuses rivières et plans d'eau et l'obstruction des voies de navigation (OMVS/SOGED 2002). En ralentissant les vitesses d'écoulement, ces macrophytes favorisent progressivement l'accélération du processus de sédimentation, d'envasement et d'eutrophisation des axes hydrauliques. Cette situation pourrait, à terme, devenir une sérieuse contrainte à l'approvisionnement en eau de Nouakchott et de Dakar (alimentés respectivement par les lacs de R'kiz et Guiers), ainsi que des villes riveraines.

Sur le plan socio-économique, la prolifération de ces végétaux a complètement bouleversé et même fragilisé le rôle structurant des zones humides dans le delta. Ces dernières font l'objet de divers usages : agriculture, pêche, approvisionnement en eau du bétail et des populations locales, cueillettes etc. L'organisation de l'espace autour de ces zones humides a été fortement déstabilisée par les problèmes d'accès aux ressources engendrés par ces plantes.

La végétation aquatique envahissante constitue également une menace sérieuse pour l'agriculture irriguée. Elle bouche les canaux d'irrigation, réduit leur efficacité hydraulique et cause parfois de sérieux déficits hydriques dans les parcelles de culture situées en aval des axes hydrauliques et l'effet contraire dans celles situées en amont. Elle peut avoir aussi des effets très néfastes pour la biodiversité car pouvant proliférer au détriment d'autres espèces (Dutartre, 2002).

De plus, le pourrissement sur place des tiges et l'envasement altèrent la qualité de l'eau de boisson pour les populations et le bétail, les exposant ainsi au péril fécal. Ce phénomène augmenterait considérablement la charge de travail des femmes et des enfants à qui revient la corvée d'eau. Ils sont obligés de parcourir de longues distances pour trouver une eau de bonne qualité leur laissant alors moins de temps pour des activités génératrices de revenus et pour l'éducation (Mboup 2010).

L'occupation des plans d'eau par la végétation aquatique, en augmentant la pression sur des ressources en eau déjà rares, constitue une sérieuse menace pour les investissements de l'OMVS, de l'Etat et les petites économies locales. Elle constitue ainsi un frein au

développement local et à l'atteinte des OMD en 2015 car elle limite les possibilités de création de richesses et d'exploitation optimale des ressources dans l'une des régions les plus pauvres au monde (moins de 350 \$ de PIB en moyenne). Les espèces envahissantes ont donc un impact considérable sur les secteurs économiques comme l'agriculture, la pêche, le tourisme, la gestion des eaux et la production d'énergie hydraulique (UNEP, 2004).

- Des stratégies de gestion inopérantes

Face à cette situation critique, les pouvoirs publics ont tenté de mettre en œuvre des actions visant à « éradiquer ce fléau¹ ». C'est ainsi que depuis la fin des années 1990, plusieurs projets de lutte contre les végétaux aquatiques envahissants ont vu le jour dans le delta. Des expériences de lutte biologique menées contre la prolifération de *Salvinia molesta* et de *Pistia stratiotes* ont remporté un franc succès et ont permis de réguler le développement de ces dernières.

Cependant, celui de *Typha* pose encore problème. La lutte contre cette plante a déjà mobilisé d'importants moyens humains et matériels sans résultats significatifs. Le faucardage, qui consiste en un enlèvement mécanique, est trop coûteux, la coupe manuelle trop insignifiante et la lutte chimique peut s'avérer dangereuse pour d'autres espèces non ciblées. La mise à feu des parcelles infestées semble renforcer la dynamique de colonisation de ces végétaux et la limitation des hauteurs d'eau n'est pas possible dans la majeure partie du delta à cause des cultures irriguées. La méthode biologique pour contrôler le développement des *Typha*, encore au stade de la recherche, aurait été certainement la stratégie la plus propre et la moins onéreuse mais à ce jour, aucun prédateur naturel du *Typha* n'est connu.

Aujourd'hui, les réflexions s'orientent de plus en plus vers la valorisation de *Typha*. Cette piste pourrait, à la fois, éradiquer un problème écologique et créer de nouvelles possibilités de génération de revenus pour des populations de plus en plus atteintes par les conséquences des changements environnementaux et de leurs répercussions négatives sur le développement local.

Certains projets et programmes ont investi cette option qui a démontré que cette plante, exclusivement perçue comme un danger, au départ, pourrait faire l'objet de diverses formes

¹ Allocution du ministre de l'environnement Djibo L. KA le 19 juillet 2009 lors de la cérémonie officielle de lancement des travaux d'enlèvement mécanique des plantes aquatiques envahissantes dans le système fluvial du Sénégal du projet à Diama le 19 juillet 2009 que le ministre de l'environnement Djibo L. KA s'exprimait « Le typha est devenu un véritable cancer pour l'économie nationale ». Il ajoutait que « le niveau préoccupant de cette infestation estimé à plusieurs centaines de milliers d'hectares, constitue une véritable calamité, voire un cancer qui risque, à terme, de compromettre tous les efforts consentis dans le bas delta pour le développement socio-économique au profit des populations riveraines du fleuve » car « le typha menace réellement l'agriculture, l'élevage, la pêche, la navigabilité et la santé... » in Le soleil du 21 juillet 2009

de valorisation au profit des populations. Il faut préciser que, dans le delta, *Typha* a toujours été utilisé par les populations comme matière première pour la fabrication de nattes, de clôtures et pour la vannerie. *Typha domingensis* offre en effet, d'autres possibilités d'utilisation comme la transformation en biocharbon, la fabrication de biogaz, l'isolation thermique des bâtiments, l'utilisation comme combustible pour l'électrification rurale, le compostage, l'épuration des eaux usées, etc... (CILSS, 2002).

A ce titre, une usine de fabrication de charbon à base de *Typha* a vu le jour dans le delta du Sénégal mais celle-ci tarde à prouver son efficacité et sa rentabilité (MBOUP, 2009). Des projets de compostage et d'utilisation de *Typha* comme matériau de construction sont également envisagés.

L'OMVS expérimente actuellement des techniques de poldérisation (endiguement) dans la lutte contre le *Typha* consistant à récupération des terres envahies et à les exploiter à d'autres fins agricoles ou environnementales, etc. (OMVS, 2013).

Pendant ce temps, aucune action concrète n'a encore été réalisée et les surfaces colonisées par cette plante ne cessent d'augmenter, rendant le delta encore plus « malade ».

De nos jours, l'impact nocif de ces espèces envahissantes est mondialement reconnu. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) a dédié une de ses précédentes « journée mondiale la biodiversité » (22 mai 2009) aux espèces envahissantes. Elles constituent selon la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) la plus grosse menace sur la biodiversité dans le monde. Le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) a fait de cette thématique, au même titre que l'Union Mondiale pour la Nature (UICN), un des axes prioritaires dans son vaste programme " bassins transfrontaliers". D'autres programmes internationaux travaillent exclusivement sur les espèces invasives comme le Global Invasive Species Programme (GISP) ou Programme mondial sur les espèces envahissantes pour endiguer le phénomène, sensibiliser et réduire les dommages.

Au niveau sous-régional, la CEDEAO, le Fonds Africain de Développement (FAD) et la Banque Africaine de Développement (BAD) ont financé un important programme de lutte contre les végétaux aquatiques envahissants (PGIAAPO) dans tous les pays de l'Afrique de l'Ouest.

Ce projet de recherche se place donc, dans un contexte d'actualité et se justifie largement par l'intérêt scientifique, socioéconomique et environnemental du thème choisi. Il fait l'objet d'une continuité voire une suite logique de travaux de recherches déjà soutenus en DEA sur le thème "Gestion intégrée de la prolifération de *Typha domingensis* dans le delta du fleuve Sénégal : l'exemple du Parc National des Oiseaux de Djoudj (PNOD) et de sa périphérie". L'objectif de cette étude était de diagnostiquer les différentes stratégies de gestion collective de la prolifération de *Typha* dans le delta du Sénégal mais aussi d'étudier et d'analyser la

pertinence des projets de valorisation de la biomasse en vue d'assurer une utilisation optimale des ressources en eau dans la zone du delta.

- Formulation des questions de recherche

Le contexte et la problématique de l'étude étant ainsi rappelés, il convient de réfléchir sur la formulation de l'**idée directrice de la thèse** ou de l'**hypothèse principale**, soubassement de tout projet de recherche.

La problématique du *Typha*, tout comme toutes celles qui s'apparentent à l'*Environnement*², est un thème transversal et pluridisciplinaire qui peut être approché sous différents angles. Ce qui nous a amené à nous poser la question suivante : quelle lecture le géographe peut-il faire de la problématique de la prolifération de *Typha* dans le delta ?

La géographie a longtemps été considérée comme une discipline de synthèse à la croisée des sciences naturelles et des sciences sociales, qui se limite à une étude descriptive des milieux physiques, d'une part, et des hommes, d'autre part. Cette idée n'était pas fautive à l'origine mais la géographie a connu bien des évolutions et fonde son objet aujourd'hui sur l'étude des relations entre l'homme et son milieu. Depuis le début des années 1970, les actions de l'homme sur les milieux naturels ont conduit à une telle dégradation de son cadre de vie et des systèmes de production que les préoccupations environnementales ont acquis une importance de premier plan pour le géographe (Juin-Rialland, 2003 ; Claval, 2011).

Pour les géographes, l'environnement ne recouvre pas la seule « nature » au sens restreint du terme. Il peut ainsi se définir comme « l'ensemble des éléments physiques et humains qui constituent le cadre de vie d'un individu ou d'une société » (Veyret, 1999). L'environnement inclut également des éléments produits et mis en place par les sociétés humaines et est pourvu d'une double dimension spatiale et temporelle. Ces deux dimensions sont fondamentales dans l'étude de l'environnement car intègre les notions de dynamique, d'évolution et de changement.

Ainsi, le géographe, dans son approche, place l'Homme et/ou le groupe social au cœur du sujet et ne le considère pas comme un intrus dans la nature mais comme partie intégrante. Il gère le milieu dans lequel il se situe, en utilise les ressources, les transforme, s'approprie les espaces, les aménage et les perçoit comme cadre de vie et territoire. Il existe donc plusieurs logiques de gestion de l'espace, laquelle doit d'abord être effectuée pour le bien être ou le mieux être de la société et de l'homme. Or, ce qui est bien ou mieux pour le groupe social dépend de facteurs multiples, économiques, écologiques, historiques, culturels et esthétiques, sans oublier les représentations que le groupe fait de son cadre de vie et de l'usage de celui-ci

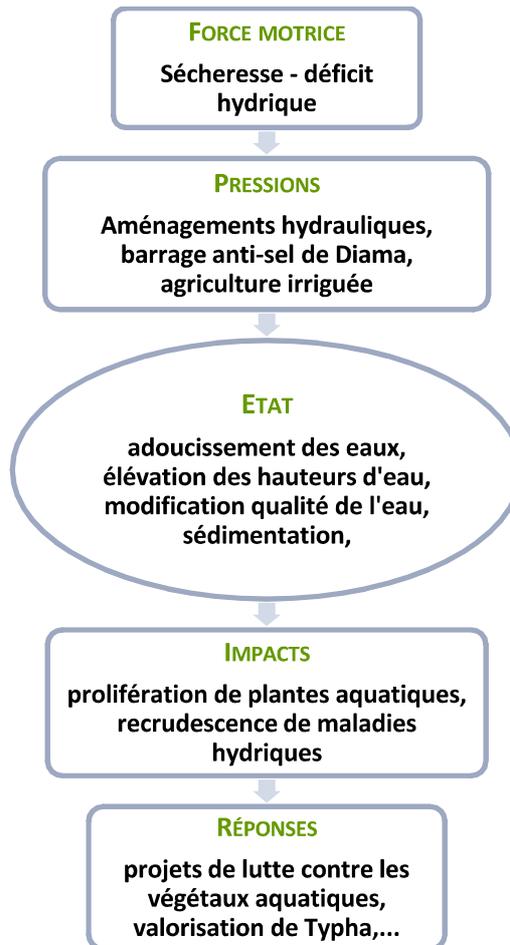
² Environnement comme discipline, thème d'étude

(Pech, 1990). Toutefois, ces interrelations présentent un équilibre fragile que tout changement brusque peut modifier.

La réponse à cette question nous a permis de formuler notre hypothèse de base. Ainsi, le cheminement de notre réflexion va, tout au long de cette recherche, se fonder sur l'idée directrice suivante: ***La prolifération de plantes aquatiques est la manifestation de perturbations profondes qu'ont subi les hydrosystèmes du delta, résultant d'une rupture d'équilibres des interrelations complexes qu'il ya entre facteurs anthropiques et facteurs écologiques et entre facteurs écologiques eux-mêmes.***

Dans cette optique, notre raisonnement scientifique va s'appuyer sur le modèle DPSIR³ (Driving Forces, Pressures, State, Impact, Responses) mis au point par l'Agence Européenne de l'Environnement à partir d'un modèle initial de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique, le modèle PER (pressions – état – réponses). Il vise à décrire les interactions entre la société et l'environnement à l'aide d'indicateurs et de statistiques diverses. Ce modèle est particulièrement intéressant car il permet de donner une description simple des relations existant entre les activités humaines ou « force motrices » (FM), les « pressions » et les « impacts » qu'elles exercent sur le milieu, et ultérieurement les actions (« réponses ») qu'il sera nécessaire d'engager (plan de gestion et programme des mesures) afin de réguler les pressions exercées par les activités humaines entraînant le plus de problèmes sur les hydrosystèmes ou sur les systèmes aquatiques.

³ DPSIR: Drivers/driving forces, Pressures, State, Impact, Responses - En français «Forces, pressions, état, impacts, réponses» EEA, 1998. Guidelines for Data Collection and Processing. EU State of the Environment Report, Annex 3.



Cette hypothèse nous a mené vers cette logique de questionnement :

- Quels sont les facteurs écologiques et hydrologiques qui influent sur la prolifération de *Typha* ?
- Quelle est la dynamique spatiale et temporelle de la végétation aquatique envahissante ?
- Quelles sont les stratégies de gestion mises en œuvre par les acteurs ?
- Quels sont les impacts de la prolifération de *Typha* sur la sécurité alimentaire et sur les couches sociales vulnérables et les stratégies de gestion mises en œuvre par les acteurs

- Objectif de la thèse

L'objectif global de ce travail est d'apprécier les changements socio-environnementaux brusques survenus dans un hydrosystème deltaïque fragile soumis à des pressions multiples à travers une analyse de la dynamique de la végétation aquatique envahissante. De façon plus spécifique, il s'agira de :

- analyser la dynamique spatiale de la végétation aquatique de 1984 (avant-barrages) à 2010 (post-barrages) ;
- étudier les caractéristiques physico-chimiques de ces hydrosystèmes et les facteurs biologiques et écohydrologiques influant sur la prolifération de *Typha* ;
- analyser les impacts de la prolifération de plantes aquatiques sur la sécurité alimentaire et le développement local ainsi que les stratégies de gestion mises en œuvre par les acteurs.

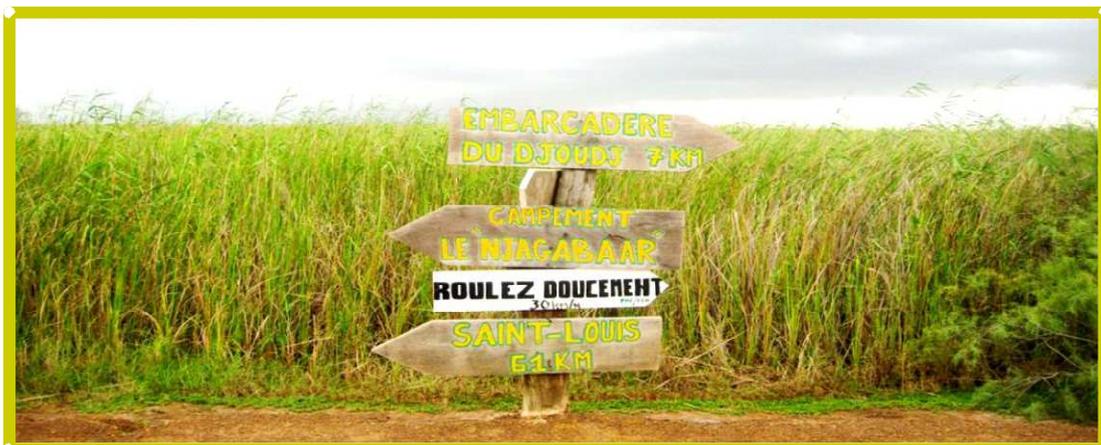
Structuration de la thèse

La première partie, « *Le delta du fleuve Sénégal : caractéristiques biophysiques, socioéconomiques et humaines* » présente le cadre géographique de la zone d'étude, ses caractéristiques socioéconomiques, les nouvelles problématiques environnementales et celle des végétaux aquatiques envahissants surtout dans un contexte de transformation de l'écosystème suite à l'édification de barrages.

La deuxième partie, intitulée « *Analyse multi-dates de la dynamique spatio-temporelle de la végétation aquatique dans le delta du fleuve Sénégal de 1984 à 2010* » fait un suivi de l'évolution de l'occupation du sol. Il a pour objet de retracer avec des images satellites Landsat TM multi-dates (1984, 1992, 2002 et 2010) l'historique de la colonisation en s'appuyant sur une analyse diachronique.

La troisième partie, « *Etude de certains facteurs écohydrologiques favorisant le développement de *Typha domingensis* dans les zones humides du delta du fleuve Sénégal* » vise à apprécier les composantes et la qualité du milieu biophysique par l'étude biophysique des écosystèmes (végétation, eau, sol), de leur fonctionnement, des interactions et des facteurs de dégradation.

La quatrième partie, « *Analyse des impacts socioéconomiques de la prolifération de végétaux aquatiques dans le delta du fleuve Sénégal et des stratégies de gestion* » étudie les impacts de l'envahissement des zones humides du delta par *Typha* sur la sécurité alimentaire et les modes de gestion opérées.



PREMIERE PARTIE

Le delta du fleuve Sénégal : caractéristiques biophysiques, socioéconomiques et humaines

Le fleuve Sénégal est un laboratoire d'études géographiques. Plusieurs auteurs ont étudié ses traits géophysiques, biogéographiques, socioéconomiques et humains. Cette partie fait donc la synthèse de toutes ces études et recherches. Elle comprend trois chapitres qui traitent des aspects suivants : la caractérisation biophysique des milieux (01) ; les hommes, leurs activités et l'anthropisation du milieu (02) et enfin les problèmes environnementaux émergents dans un contexte d'après-barrages (03).