



UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

9585



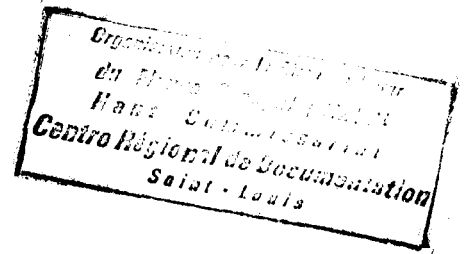
CSI

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR
L'EDUCATION LA SCIENCE ET LA CULTURE

**DEA DE GEOGRAPHIE
CHAIRE UNECO/UCAD**

Sur

"Gestion intégrée et développement durable des régions côtières et des petites îles"



Sujet

**ECOULEMENTS ET INONDATIONS DANS L'ESTUAIRE DU FLEUVE
SENEGAL : LE CAS DE LA VILLE COTIERE DE SAINT LOUIS**

Présenté par
ALIOU MAMADOU DIA

Sous la Direction de

M. ALIOUNE KANE, Maître de Conférence

M. PHILLIPE VAUCHEL, Hydrologue - Chercheur à l'IRD

Avec la collaboration scientifique de l'IRD



Année universitaire 1999-2000

RESUME

L'analyse des données hydrologiques de la zone estuarienne du fleuve Sénégal, ~~montre une~~ hausse progressive des niveaux d'eaux aux stations de Saint Louis et de Diama Aval. Cette hausse des niveaux maximums de crue s'accompagne de débordements du fleuve occasionnant ainsi des inondations dans toute la zone estuarienne et plus particulièrement à Saint Louis. Les études bathymétriques effectuées au niveau de l'embouchure ont permis de mettre en évidence un colmatage de celle-ci. Les profondeurs du bief fluvial ainsi que la largeur de la section mouillée diminuent au fur et à mesure que l'on s'approche de l'embouchure, ce qui contribue à freiner l'écoulement naturel des eaux fluviales de crue vers la mer. Les eaux océaniques qui envahissent le bief fluvial par les phénomènes de marée sont aussi piégées dans l'estuaire qui, du fait de "l'étroitesse" de l'embouchure a du mal à se vidanger.

Les inondations sont aussi accentuées par l'occupation plus ou moins incontrôlée des zones inondables autour de la ville de Saint Louis. Toutefois des mesures de protection telles que la construction de digues et de station de pompage ont pu être initiées pour sauver la ville des eaux. Malheureusement les moyens mis en œuvre pour faire face aux débordements du fleuve et à la stagnation des eaux pluviales, ne se sont pas révélés efficaces. Les propositions que nous avons faites à l'issue de ce travail contribuent à compléter et à renforcer les moyens de lutte et de protection contre les inondations qui frappent la ville de Saint Louis.

MOTS CLES

Estuaire, fleuve Sénégal, hauteurs d'eau, cotes maximales de crue, inondations, ville de Saint Louis, zone inondable, embouchure, bathymétrie, digues, station de pompage.

AVANT- PROPOS

Ce travail d'études et de recherche fait partie des nombreux sujets d'études proposés aux étudiants de la Chaire Unesco de la promotion 1999-2000. Contrairement aux années précédentes où les études ont toujours porté sur la petite côte et la zone de Yeumbeul, les sujets de cette année ont pour l'essentiel porté sur la grande côte nord du Sénégal. Notre étude qui porte sur la ville côtière de Saint Louis, l'une des plus grandes agglomérations de la zone, assai de comprendre les causes des inondations qui affectent la ville depuis quelques années. La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce à l'appui et à l'encadrement de plusieurs personnalités scientifiques, sans lesquelles, nous ne serions peut être pas arrivé à ce résultat.

Mes remerciements vont d'abord à l'endroit de Monsieur Alioune KANE, Maître de Conférence, au département de Géographie de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines (UCAD) qui a bien voulu assurer l'encadrement de ce travail. C'est grâce à ses conseils et pour sa rigueur scientifique que nous avons pu mener à terme ce mémoire. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de nos sincères remerciements.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Philippe VAUCHEL, Hydrologue - Chercheur à l'IRD qui a accepté d'assurer l'encadrement scientifique de ce travail. Malgré ses occupations, il s'est montré disponible à chaque fois que nous l'avons sollicité. Nous avons été impressionné par sa rigueur scientifique, sa patience, sa cordialité et ses immenses qualités humaines. Nous remercions à travers lui les autres chercheurs du laboratoire d'hydrologie de l'IRD, notamment Messieurs Jean Pierre LAMAGAT et Noël GUIGUEN.

Nos remerciements vont aussi à l'encontre de tous ceux qui nous ont aidé à traiter nos données au laboratoire. Nous pensons à Lamine KONATE, Daniel GOMIS et Kokou Mensah ABOTSI.

La réalisation de ce mémoire a été pour moi l'occasion de sentir la chaleur fraternelle de certaines personnes. Ainsi je dédie ce travail à mes parents et tout particulièrement à ma sœur Awà, à mes cousines et cousins et à mes amis (es) qui n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager.

SOMMAIRE

Résumé.....	1
Avant propos.....	3
Introduction.....	5
Problématique.....	5
Méthodologie.....	7
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE ESTUARIEENNE ET DE LA VILE DE SAINT LOUIS.....	9
A – Présentation de la zone estuarienne.....	9
B – Présentation de la ville de Saint Louis.....	13
C – Historique des inondations à Saint Louis.....	16
CHAPITRE 3 : LES CAUSES DES INONDATIONS A SAINT LOUIS.....	20
A – Les causes liées aux données internes de la ville.....	20
B – Les causes liées à l'évolution hydrologique dans l'estuaire.....	25
C – Les causes liées à l'évolution de l'embouchure.....	36
CHAPITRE 4 : LES MESURES DE PROTECTION ET LES PROPOSITIONS.....	46
A – Les mesures structurales.....	47
B – Les mesures non structurales.....	50
C – Les recommandations.....	51
CONCLUSION.....	58
Bibliographie.....	59
Liste des figures et des cartes.....	62
Listes des tableaux et des photos.....	63
Table des matières.....	64

INTRODUCTION

Les inondations ne sont pas des manifestations spontanées et mystérieuses, mais des phénomènes parfaitement naturels. Il est rare qu'elles frappent sans préavis, elles se produisent généralement dans des zones déjà reconnues comme critiques : les plaines inondables qui sont des étendues relativement plates, attenantes à un lac ou à une rivière, et susceptibles d'être envahies par les eaux de crues. Elles font partie intégrante de l'espace vital du cours d'eau que celui-ci peut occuper périodiquement. Les plaines inondables sont soumises à des variations de haut et faible niveaux d'eau qui s'étendent sur de longues périodes; elles subissent également des fluctuations rapides et saisonnières.

Le mot inondation est habituellement synonyme de dommages matériels, voire de pertes de vies. Peu de pays échappent aux effets des inondations. Entre 1991 et 1995, elles ont provoqué des dommages s'élevant à plus de 200 Milliards de Dollars US, soit près de la moitié des dégâts économiques dus à l'ensemble des catastrophes pendant cette période. Chaque année les inondations sont à l'origine de 26% des décès dus à des catastrophes naturelles. En 1996 uniquement, 60 Millions de personnes ont été touchées par cette calamité naturelle selon les estimations des Nations Unies.

Les dégâts causés par les inondations ont été aussi fortement ressentis en Afrique australe (Zimbabwe en 1999) et le long des grands bassins fluviaux de l'ouest africain. C'est notamment le cas dans la zone estuarienne du fleuve Sénégal plus précisément à Saint Louis où les phénomènes d'inondation sont de plus en plus fréquents.

PROBLEMATIQUE

Saint Louis, ville amphibie située au cœur du domaine estuarien subit des inondations de plus en plus fréquentes. Elle n'a pas cessé de recevoir durant ces dernières années un afflux massif et continu d'immigrants qui, faute d'espace viable se sont installés dans des zones de vasières impropres à l'occupation humaine. La décentralisation et une application défailante de

réglementations peu claires ont fait que 80% des bâtiments édifiés en zones inondables l'ont été depuis moins de quarante ans.

La ville subit les effets des inondations liées soit aux crues du fleuve soit aux précipitations car les digues de protection réalisées pour protéger les populations des crues du fleuve, sont de véritables obstacles à l'écoulement naturel des eaux pluviales. Les nombreuses habitations édifiées sur des zones basses remblayées connaissent alors des moments difficiles car leurs occupants sont condamnés à cohabiter avec les eaux pendant plusieurs jours voire plusieurs mois de l'année. La situation est d'autant plus difficile qu'il y a une absence presque totale de réseaux d'assainissement viables et capables d'assurer une bonne évacuation des eaux. De ce fait, certains quartiers de la ville comme Ndar Toute, Goxumbaac, Pikine, Léona, Diaminar, etc. sont presque en permanence sous les eaux aussi bien en hivernage qu'en saison sèche.

Les inondations les plus spectaculaires pendant ces dix dernières années ont été celles enregistrées durant la crue de l'année hydrologique 1994-1995, et récemment en 1999. Les inondations de ces deux années ont occasionné des dégâts importants aussi bien à Saint Louis que dans toutes les localités situées le long de la vallée (les villages de Donaye et de Tarédji furent sévèrement atteints en 1999).

Face à la gravité de la situation, des actions ont été initiées afin de venir à bout de ce fléau qui est un véritable casse-tête pour les populations de la ville mais aussi celles de toute la région du fleuve. Parmi ces actions nous pouvons citer la construction de digues de protection dont l'objectif principal est de sauver la ville des eaux de crue du fleuve Sénégal et la réalisation de stations de pompage et de bassins de rétention pour l'évacuation des eaux de pluviales.

Malgré les stratégies entreprises ces dernières années pour protéger Saint Louis des eaux, la ville ne cesse de connaître des inondations de plus en plus spectaculaires.

Le phénomène n'est donc pas simple, c'est pourquoi nous estimons qu'il est important de l'aborder sous plusieurs angles. Ainsi l'objectif de notre étude est de comprendre les principales raisons

qui pourraient expliquer les inondations de la ville. Pour ce faire, nous avons adopté la méthodologie suivante.

METHODOLOGIE

La méthodologie de recherche adoptée repose sur trois axes principaux :

1 - La recherche documentaire

La recherche documentaire a été la première étape de notre travail. Elle a permis de faire une synthèse bibliographique et d'approfondir notre thème d'étude. Nous avons visité des services et centres de documentation parmi lesquels : le laboratoire d'hydrologie du département de Géographie, la bibliothèque Universitaire, l'IFAN (Institut Fondamental d'Afrique Noire), le centre de Recherche et de Documentation de l'IRD, le centre de Suivi Ecologique (CSE), la Direction de l'Hydraulique, la bibliothèque du centre culturel français à Saint Louis, le CRDS (Centre de Recherche et de Documentation de Saint Louis ex IFAN), etc.

Ainsi, ouvrages généraux ou spécialisés, périodiques, revues, articles et rapports de mission nous ont inspiré et guidé dans notre démarche.

2 - Le Travail de Terrain

Une mission de terrain a été effectuée en juin 2000 à Saint Louis et dans la zone estuarienne sous la direction du professeur Alioune Kane pour s'enquérir des problèmes liés aux inondations dans cette zone. En dehors des entretiens fructueux que nous avons eus avec ceux qui sont chargés de gérer les inondations et les populations qui sont les principales victimes, nous avons visité les digues de protection, les quais et les nouveaux quartiers installés sur les zones dépressionnaires de vasières et de marécages. Cette mission nous a permis également de recueillir des données auprès du service régional de l'hydraulique et au barrage de Diama.

3 - Le traitement des données au laboratoire

Le traitement et l'interprétation des données en laboratoire a été la phase la plus décisive de ce travail. Nous avons commencé par digitaliser les données de marégrammes enregistrées à Saint Louis de 1979 à 2000. Ce traitement a été effectué à l'aide de Hydrom qui est un logiciel de banque de données hydrométriques. Il a permis de stocker les données et de procéder aux corrections de temps et de dérive de hauteur qu'il y a eu dans les diagrammes. Toutefois, la mauvaise qualité des données de certaines années a rendu difficile la digitalisation sous Hydrom.

Une fois les traitements de données effectués avec Hydrom, nous avons procédé à un transfert vers Excel afin de les arranger et de les ordonner en marées hautes – marées basses en liaison avec l'annuaire de marées de Dakar. Ce qui devrait permettre de mettre en évidence les éventuelles correspondances qui existent entre l'évolution des annuaires et celle enregistrée à Saint Louis. Malheureusement les corrélations que nous avons voulu établir à ce sujet n'ont pas été concluantes à cause de la mauvaise qualité des données recueillies par le limnigraphe. Cependant, des comparaisons fort intéressantes ont pu être faites entre Saint Louis et Podor et entre Saint Louis et Diama Aval à l'aide du logiciel Cormul qui a permis d'établir une régression entre ces deux stations et de compléter les données manquantes de Saint Louis.

Eu égard à la nature du thème que nous abordons dans cette étude et à la diversité des données que nous avons eues à traiter, nous avons jugé utile d'articuler notre démarche en trois chapitres que voici :

- le premier chapitre portera sur la présentation de l'estuaire et de la ville de Saint Louis
- le deuxième chapitre abordera les causes des inondations de la ville de Saint Louis
- le troisième enfin, traitera des moyens de protection et suggère des recommandations.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE ESTUARIEENNE
ET DE LA VILLE DE SAINT LOUIS

CHAPITRE 1 : APERCU SUR LE DOMAINE ESTUARIEN DU FLEUVE SENEGAL ET PRESENTATION DE LA VILLE COTIERE DE SAINT LOUIS

La ville côtière de Saint Louis est située au nord du Sénégal à la rencontre du fleuve et de l'océan. Elle fait partie intégrante de la zone estuarienne du fleuve, un domaine complexe qui mérite d'être défini avant de s'intéresser à la ville en question.

A – APERCU SUR LE DOMAINE ESTUARIEN

Né des régions montagneuses guinéennes, le fleuve Sénégal parcourt 1700 km avant de se jeter en mer au sud de la ville de Saint Louis par une embouchure unique. Dans sa partie terminale communément appelée estuaire, le bassin fluvial est envahi par les eaux marines qui remontent le bief en saison sèche jusqu'au barrage de Diama avant d'être refoulées par les eaux de crue en hivernage. Il faut dire que l'utilisation de la notion d'estuaire pour le cas spécifique du fleuve Sénégal est trop controversée.

Selon PRITCHARD (1955), l'estuaire est "une zone de mélange entre l'eau douce et l'eau salée". Il convient d'ajouter à cette définition trop simple que le terme d'estuaire recouvre une grande diversité d'interfaces qui ne sont en aucune façon comparables entre elles. D'après JOUANNEAU J.M. (1981), la classification des estuaires s'établit sur trois critères principaux que sont : le rapport compétence du fleuve/énergie de la marée ; la plus ou moins grande maturité du système et la charge solide.

En ce qui concerne le fleuve Sénégal, il faut signaler que la notion d'estuaire y est discutée par certains spécialistes en géomorphologie littorale. La controverse réside en effet sur la nature de la partie terminale du fleuve : s'agit-il d'un delta ? d'un pseudo-delta ? d'un delta fossile ? ou tout simplement d'un estuaire ?

DUBOIS (1955), défendit la thèse d'un pseudo-delta en soulignant notamment l'unicité de l'embouchure du fleuve, la présence d'une côte à peu près rectiligne, l'intrication entre les dunes

parallèles à la direction générale de l'écoulement et les bras qui se faufilent dans leurs intervalles et enfin l'importante remontée de l'eau salée dans le cours du fleuve.

Pour TRICART (1961) le fleuve Sénégal se termine par un véritable delta en raison d'une construction alluviale de niveau de base édifiée dans une nappe d'eau, du colmatage de l'ancien golf nouackchottien fermé en lagune et l'arrivée des alluvions jusqu'au droit de la côte.

Toutefois nous convenons avec KANE (1997) que le cours inférieur du Sénégal se termine par un véritable estuaire. Les raisons pour lesquelles le fleuve se déverse en mer par un chenal unique sont à rechercher dans le régime hydrologique et dans le jeu de la dynamique littorale.

Avant l'aménagement du barrage de Diama, la marée remontait le cours du fleuve jusqu'au village de Diouldé Diabé à 450 km de l'embouchure, et la langue salée jusqu'à Podor. La zone estuarienne était alors plus vaste qu'aujourd'hui. Depuis 1986, elle est limitée en amont par le barrage de Diama, et en aval par son embouchure caractérisée par une extrême mobilité. Ce milieu (**figure 1**) est constitué de deux marigots en rive droite en aval du barrage, du Djeuss barré au niveau de Dakar-Bango, de petits affluents comme le Khor et le Marméal qui recoupent le Sénégal en amont de Gandiole, du petit bras du fleuve entre la Langue de Barbarie et l'île de Saint Louis et enfin du complexe lagunaire situé entre Saint Louis et Gandiole.

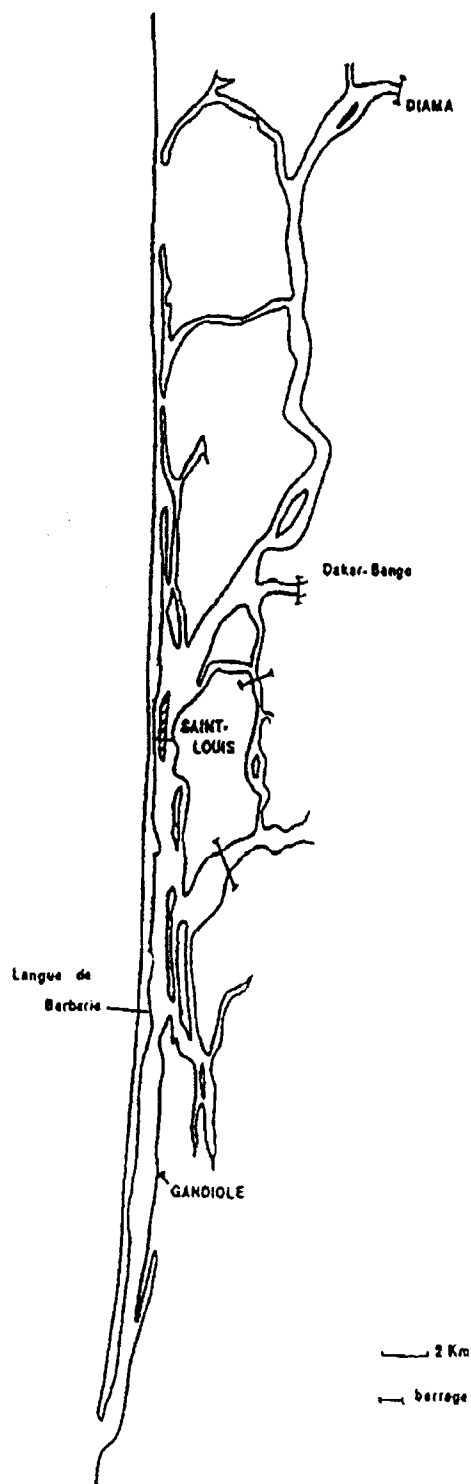


Figure 1 : Estuaire du fleuve Sénégal (source : KANE.A.1997)

1 – LA DYNAMIQUE MARINE AU LARGE DE L'ESTUAIRE

La dynamique marine au large de l'estuaire du fleuve Sénégal est essentiellement dominée par la présence de houles de NW, engendrant une dérive littorale de même direction. Cette dérive littorale provoque un important transport de sable qui a fini par édifier le cordon littoral sableux de la Langue de Barbarie. Les houles du SW exercent une faible influence sur l'évolution du littoral au large de Saint Louis. Elles perdent une bonne partie de leur énergie par suite d'une diffraction au niveau de la presqu'île du Cap Vert qui constitue un véritable écran dont l'abri englobe toute la Langue de Barbarie.

Le transit sédimentaire assuré par la dérive littorale aux larges des côtes saint louisiennes est soumis à des périodes d'accélération et de ralentissement facilement observables sur les profils de plages. Les estimations de ce transit sédimentaire varient entre 550 000 m³/an (MINOT, 1934), 223 000-495 000 m³/an (BARRUSSEAU, 1981) et 365 000 m³/an (SALL, 1982). Les différentes phases d'engraissement et de démaigrissement qui sont observées sur le rivage externe de la Langue de Barbarie, entretiennent des changements importants dans la position de la ligne de rivage.

2 – LA DYNAMIQUE FLUVIALE INERNE

La dynamique interne de l'estuaire est contrôlée par le fleuve en coordination avec les actions de la marée qui ne sont pas des moindres. Les apports fluviaux ont plutôt tendance à façonner le rivage interne de La Langue de Barbarie. Si à l'heure actuelle le fleuve Sénégal ne joue pas un rôle essentiel dans l'édification de la flèche littorale, il peut en revanche contribuer à son érosion au cours de la crue. Ceci pouvant aboutir à sa rupture complète et la création d'une nouvelle embouchure.

Le barrage de Diama est le facteur clé qui détermine à l'heure actuelle l'hydrodynamique estuarienne par le phénomène d'ouverture et de fermeture des vannes. Ainsi deux périodes peuvent être décrites : une période longue de 7 à 8 mois pendant laquelle l'estuaire est soumis à la présence des eaux issues de la marée océanique et une période plus courte de 3 mois au cours de laquelle l'estuaire est envahi par les eaux de crue.

La turbidité varie en fonction de l'évolution des masses d'eaux que nous venons de distinguer. Pendant la saison des hautes eaux, les eaux estuariennes sont extrêmement turbides en raison de leur importante charge en limon. Elles déversent en mer un important panache turbide facilement identifiable sur les images satellitaires. Leur forte turbidité diminue vers fin novembre-début décembre avec la fermeture des vannes du barrage.

La température et la salinité des eaux estuariennes sont soumises à des variations saisonnières. Les eaux issues de la mer ont une température variant entre 16° C et 30° C. Par contre l'eau douce issue des crues du fleuve a des températures sensiblement plus élevées que les précédentes. Quand les vannes du barrage restent fermées en saison sèche, le taux de salinité dans l'estuaire est sensiblement égal à celui de l'eau de mer (35 g/l). Par contre quand ces dernières (vannes) sont ouvertes pour évacuer la crue, il y a une dilution de la masse d'eau et les taux de salinité naguère élevés baissent. Cette baisse connaît également une variabilité spatiale car il est démontré que les taux de salinité les plus élevés sont enregistrés à l'embouchure et les plus faibles en amont (barrage de Diama).

B – PRESENTATION DE LA VILLE DE SAINT LOUIS

Carrefour des voies transsahariennes, maritimes et fluviales, lieu de convergence des peuples sahéliens, nomades comme sédentaires, l'île de Djambar DIOP (ancienne appellation de l'île de Ndar avant la colonisation) convoitée par toutes les puissances coloniales est devenue Saint Louis du Sénégal, fut en Afrique et pour plusieurs siècles le cœur palpitant de cette aventure humaine qui prit son départ avec les grandes découvertes.

Saint Louis, ville symbole de la pénétration coloniale en Afrique et melting-pot culturel garde encore un physique architectural rappelant son passé colonial. Sur le plan historique, la ville de Saint Louis a toujours fait l'objet d'un intérêt certain. Créée en 1659 et érigée en commune en 1872, Saint Louis est la plus ancienne colonie française d'Afrique. C'est la raison pour laquelle Camille Camara décrit la ville en ces termes : " Vieille de plus de trois siècles, la ville de Saint Louis est la première cité construite par les blancs chez les noirs en Afrique occidentale. Née du

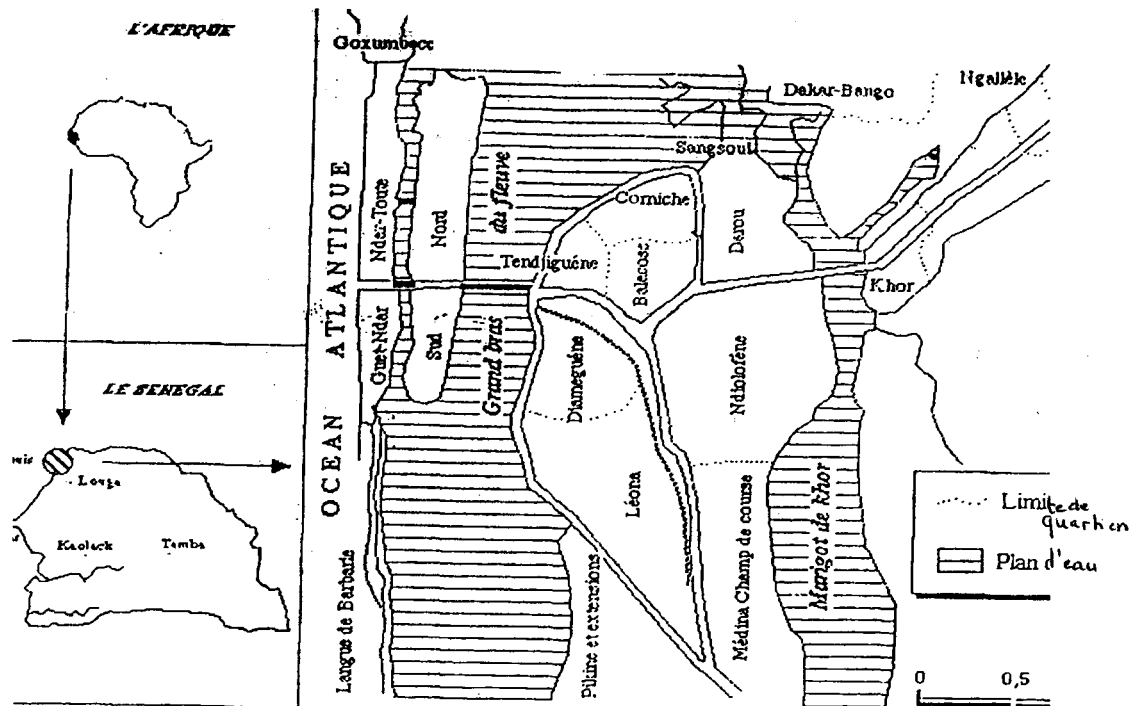
génie des besoins commerciaux de l'Europe, Saint Louis présente des caractères originaux de vieille agglomération coloniale dont les raisons profondes nous sont révélées par l'histoire."

Dans sa configuration actuelle, la ville offre l'exemple d'une ville confrontée à des difficultés d'extension qui font suite aux caractères du site. En effet, situé au bord de l'eau, sur un espace éclaté, le site offre le visage d'une ville constituée par trois bandes de terres aux aspects différents.

1 - LE SITE

L'omniprésence de l'eau est la caractéristique particulière du site de Saint Louis. La ville est coincée entre l'océan et les bras du fleuve (grand bras et petit bras) et leurs affluents qui forment de nombreuses lanières d'eau ceinturant l'agglomération saint louisienne. La ville est constituée dans sa globalité d'une grande île ou plus exactement de trois îles bien distinctes (carte 1).

Carte 1 : Situation de la ville de Saint Louis



Source : WADE, C.S. (1995)

La Langue de Barbarie : cordon littoral situé à l'ouest de l'île, sépare le petit bras du fleuve de l'océan. Elle abrite les quartiers de Guet-Ndar, Ndar-Toute et Goxumbaac menacés par l'avancée de la mer qui grignote de plus en plus la plage avec des risques réels de submersion des habitations. Des murs de protection fort délabrés constituent les limites occidentales (côté mer) et orientales (côté fleuve) de ces quartiers. Au sud des cimetières musulmans qui limitaient autrefois les habitations, de nombreux campements touristiques sont aménagés tout le long du cordon littoral. Cet espace amphibie est relié à l'île par les ponts de Lodo et de Sindoné.

L'île : s'étend du nord au sud sur une longueur de 2,5 km et d'ouest en est sur une largeur de 350 m. Elle a été la ville coloniale et le siège de tous les services administratifs. L'île est essentiellement occupée par deux grands quartiers que sont le Nord ou Lodo et le Sud ou Sindoné qui sont des anciens quartiers résidentiels. Cette belle cité coloniale est reliée au faubourg de Sor par le fameux pont Faidherbe.

Le faubourg de Sor : il constitue la partie continentale de la ville insulaire et représente plus de 60% de la population totale, donc la zone la plus peuplée de la commune. Il est divisé en deux noyaux : le premier noyau ou Sor ancien est occupé par les quartiers traditionnels (Tendjiguène, Balacoss, Corniche, Ndioloféne, Léona-Diamaguène, etc.) et le deuxième noyau est constitué par la périphérie urbaine d'occupation plus récente entre 1960 et 1970. Ses principaux quartiers sont Pikine, Darou, Médine, Champs de course, etc. Il est édifié sur des vasières et est la partie la plus sensible aux crues exceptionnelles du fleuve.

2 – LA GEOMORPHOLOGIE DE LA VILLE

La ville de Saint Louis est située dans la zone deltaïque du fleuve Sénégal qui appartient à un milieu géomorphologiquement varié et complexe avec en général des sables moyens fins à granulométrie diversifiée parfois argileuse ou limoneuse. La géomorphologie de la ville est façonnée par la dynamique fluviale et celle marine dont la principale conséquence est l'édification d'un cordon littoral sableux dénommé Langue de Barbarie qui sépare le fleuve de la mer sur une longueur de 30 km environ. Le substrat sur lequel la ville est assise, appartient aux formations du Quaternaire récent qui sont basses et plates et où la nappe phréatique est peu

profonde. Les altitudes y sont basses et partout inférieures à 2,5 m ; ce qui expose la ville à la remontée du niveau du fleuve lors des périodes de fortes crues.

La ville de Saint Louis comme nous l'avons si bien dit, est bâtie sur un delta. Or par définition, le delta d'un fleuve est le point le plus bas du bassin hydrologique et s'il a la particularité d'être très plat comme à Saint Louis, alors la nappe phréatique est très proche voire à fleur de sol. Cette constatation est fondamentale pour comprendre les phénomènes d'inondation qui menacent la ville. Les vasières situées le long du marigot de Khor sur lesquelles les populations se sont installées ont été faiblement remblayées et des quartiers comme Darou, Cité Vauvert localisés dans la périphérie urbaine d'occupation récente sont le réceptacle des eaux de crue et des eaux usées.

C – L'HISTORIQUE DES INONDATIONS A SAINT LOUIS

Les inondations constituent l'une des calamités naturelles ayant marqué l'histoire de la ville de Saint Louis depuis sa création par les colons au milieu du 17^e siècle. En effet, les inondations de la ville et de la basse vallée du fleuve Sénégal ont particulièrement retenu l'attention des auteurs ayant visité la colonie du Sénégal durant l'époque coloniale. De Jannaquin de Rochefort qui vient au Sénégal en 1637 à Gallieni en 1837, les voyageurs ont confirmé l'importance des hautes eaux, des crues et des débordements du fleuve Sénégal.

*et divers auteurs
s'y sont déjà penchés*

J. de Rochefort accompagnant le capitaine au long cours Lambert, qui voyagea pour le compte d'armateur de Dieppe écrit que " les débordements du fleuve étaient si grands que leurs habitations étaient pleines d'eau jusqu'au premier étage."

En 1683, un chirurgien de "l'Hotel Dieu" de Paris, Le Maire homme de culture savante, qui avait fait le voyage de Rufisque à Saint Louis affirmait que "l'inondation du fleuve qui fertilisait toutes les campagnes, s'étendait aux environs du rivage. Alors on ne connaît plus le lit du fleuve parce que son canal n'ayant ni assez de profondeur pour contenir les eaux, ni assez de pente pour les écouler vers la mer, elles remplissent les campagnes et les vallées et égalisent tout".

Deux cents ans après, en 1879, le futur maréchal de France Gallieni, alors commandant d'infanterie de marine notait avec insistance que "le Sénégal s'étend en vastes nappes sur les immenses plaines qui le bordent dans sa partie basse, son lit disparaît et l'on a vu souvent les chalands du commerce et même les avisos trompés par ces grandes surfaces d'eau, s'égarer dans la plaine".

Ce qui se passait sur la rive gauche du Sénégal se reproduisait sur la rive droite. Les débordements étaient parfois tellement importants que les eaux du fleuve se répandent fort loin en Mauritanie. Adanson écrivit en 1789 que "les maures qui ne s'étaient rendus dans cette escale (celle des Maringouins à quelques lieux au nord de Saint Louis sur la rive droite) que pour vendre leurs bestiaux ayant consommé des fourrages des environs, s'étaient disposés à aller camper dans un autre endroit et même à se retirer vers les montagnes fort éloignées dans le nord du fleuve pour éviter les inondations que les premières pluies de juin avaient depuis peu annoncées". Durand (1875) rapporte "qu'entre le cap Mirick et la petite île de Tider, à dix huit lieux environ d'Arguin, on voyait l'embouchure de la rivière Saint Jean grossir par les eaux du Sénégal".

Les témoignages sont concordants : les travaux d'aménagements entrepris en 1859 par Faidherbe sur le Kassack (défluent de la basse vallée) pour constituer une réserve d'eau douce furent emportés par la crue. Vers 1860, le Lieutenant de vaisseau Braouzec navigua au bord d'une canonnière sur les terres inondées du Fouta-Ferlo aujourd'hui désertique, à la suite de ce voyage on conçut même le projet de "gagner la Gambie par le lac de Guiers et la vallée du Ferlo".

La crue de 1890 fut tellement forte que le Sénégal gonflé par des précipitations abondantes déborda dans toutes les directions. Le Colonel Frey signale que cette année là, "la ville de Saint Louis se trouva en partie submergée et que dans cette nouvelle Venise, la circulation n'était possible qu'à l'aide de bacs ou de pirogues". Selon Duchemin "l'eau de cette année (1890) aurait atteint les salines de Nouaremach situées 100 km de Nouakchott". Selon une autre version l'eau du Sénégal serait remontée jusqu'à Tirvourvour et aurait rejoint par la vallée de l'oued Targa les eaux qui descendaient de l'Adrar.

Ainsi la période d'avant 1903 était caractérisée par des précipitations abondantes et des écoulements importants. Les grandes crues répertoriées sont celles de 1827, 1841, 1843 éventuellement 1854 et 1855, 1858, 1866, 1871 (1875 ?) et 1890. Ensuite des bouleversements climatiques et hydrologiques majeurs ont caractérisé la fin du 19^e siècle. Les variations observées dans les écoulements du fleuve Sénégal, mettent en évidence à l'amont comme à l'aval, la succession de périodes humides (avant 1910, 1919-1939, 1950-1967) et de périodes arides (1911-1918, 1940- 1949 et depuis 1968 à nos jours). Les dernières grandes crues du 20^e siècle furent celles de 1906, 1922, 1924, 1935, 1936, 1950 et semblent appartenir à un passé à jamais révolu (KANE, 1997).

La photo suivante montre l'état de certains coins de la ville de Saint Louis (route de Khor) lors de la grande inondation de 1950.



Photo 1: Inondation de la route de Khor en 1950

L'évolution récente depuis 1968 est marquée par un appauvrissement généralisé des ressources en eau. Cette sécheresse qui atteint son comble en 1972 et 1984 est remarquable par sa durée, par l'ampleur des déficits d'écoulement de l'ordre de 40% en moyenne, et surtout concerne 18 des 20 plus faibles modules annuels observés depuis 1903-1904 (KANE 1999). Un tel contexte est à

l'origine de la mise en place des barrages de Diama et de Manantali en vue de régulariser le régime du fleuve. Bien qu'on ait constaté ces dernières années une baisse des écoulements du fleuve, les inondations sont devenues de plus en plus fréquentes à Saint Louis. La fréquence et la gravité de ces sinistres n'empêchent pourtant pas que l'oubli estompe le souvenir. La perte de la mémoire collective résulte de l'exode rural et de l'effet trompeur de longues périodes de sécheresse ou d'absence de grandes inondations. Mais l'inconscience face au risque, le manque d'information et la sensibilité aux pressions immobilières favorisent aussi l'inattention portée aux inondations à Saint Louis.

CHAPITRE 2 : LES CAUSES DES INONDATIONS
A SAINT LOUIS

CHAPITRE 2- LES CAUSES DES INONDATIONS DE LA VILLE DE SAINT LOUIS

Les inondations de la ville de Saint Louis sont la résultante de facteurs qui sont liés aux données internes de la ville et à la dynamique hydrologique et marine de l'estuaire.

A - LES CAUSES LIEES AUX DONNEES INTERNES DE LA VILLE

1 - LES CONTRAINTES PHYSIQUES DU SITE

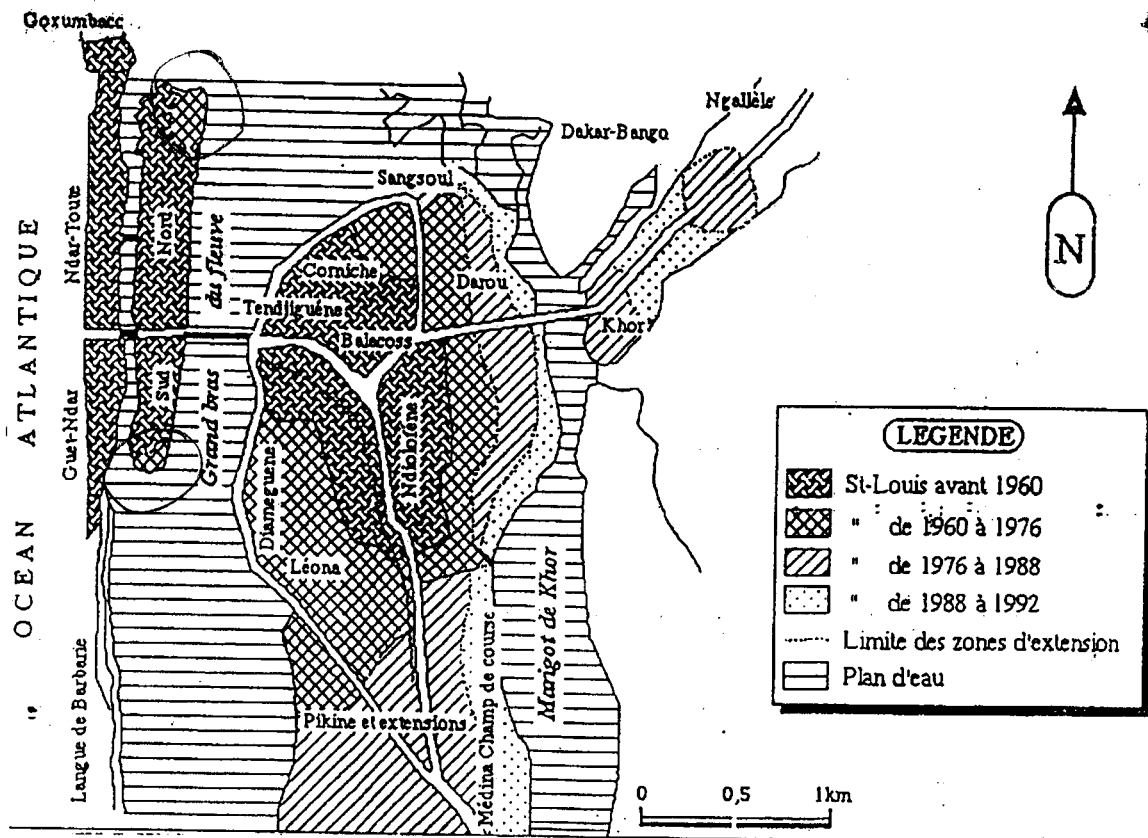
Les données physiques (géomorphologie, hydrologie, hydrodynamique fluviale, etc.) du site de la ville laissent entrevoir un certain nombre de contraintes majeures. Ce qu'il ne faudrait pas occulter et qui est le plus important, c'est que la ville de Saint Louis se trouve dans une cuvette et une cuvette a besoin d'être protégée par une digue mais aussi d'être drainée par un système cohérent d'assainissement aussi bien des eaux pluviales que des eaux usées. Ces deux volets doivent dans ce cas précis demeurer inséparables. Or ils ne sont tous les deux actuellement pas opérationnels à Saint Louis. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la ville constitue une vaste zone de stagnation des eaux pluviales, occasionnant ainsi l'inondation des quartiers situés dans les zones de dépression et qui ne peuvent offrir aux eaux de pluie d'autre exutoire que l'infiltration dans un sous-sol pratiquement saturé (nappe phréatique sub-affleurante) ou l'évaporation. De ce fait, une bonne partie de la ville peut se trouver inondée sans qu'existent de relations avec le fleuve.

Entre autres contraintes physiques il faut mentionner la faiblesse des pentes et des altitudes (< 2,5 m), de ce fait les eaux débordantes du fleuve envahissent rapidement les zones environnantes ; l'étanchéité ou l'imperméabilité du substrat pédologique qui empêchent l'infiltration des eaux dans un sous-sol où la nappe phréatique est pratiquement en affleurement (-20 cm dans certains quartiers de la ville). Les plans d'aménagements devraient être conçus en tenant compte des différentes contraintes inhérentes aux données physiques du milieu. Ceci permettrait dans une moindre mesure d'atténuer le risque d'inondation dans la ville.

*la cote de la ville se situe
à -0,144 m ZGN*

A Saint Louis le risque d'inondation peut être considéré comme élevé dans les zones dépressionnaires et de vasières susceptibles d'être envahies par les eaux de crue. Elles correspondent au lit majeur du fleuve et à ses bordures immédiates. Les nouveaux quartiers périphériques (Darou, Cité Vauvert, Pikine Extension, Medina Champs de course) sont dès lors exposés car situés sur des sites bas qui ne sont autres que les zones de débordement du fleuve (carte 2).

Carte 2 : Evolution spatiale de la ville de Saint Louis de 1960 à 1994



Source : WADE, C.S., (1995)

Lors des périodes de fortes crues (1999), le fleuve peut envahir une bonne partie de l'île par suite de ses débordements au-dessus des quais. Des témoins (M. AÏDARA Directeur du CDRS) nous a même raconté que lors de l'inondation de 1999 les eaux provenant du grand bras ont croisé celles du petit bras en pleine ville.

Le risque peut être faible à nul dans les zones ou espaces situés en retrait des zones de débordement du lit majeur donc situés à des endroits plus ou moins surélevés. Ces zones

échappent ainsi aux divagations du fleuve, à la remontée de la nappe phréatique et à la stagnation des eaux pluviales par absence d'un système de drainage urbain cohérent.

2 - LA PROBLEMATIQUE DU DRAINAGE URBAIN

La particularité de la ville de Saint Louis fait du problème de l'assainissement une priorité dans la recherche de solution aux problèmes d'inondation qui affectent la ville. Les effets de l'urbanisation sur l'écoulement naturel des eaux pluviales se manifestent par la modification de la qualité, du débit de ruissellement et du volume d'eaux pluviales qui entrent dans le réseau naturel de drainage. Ici comme dans toutes les zones urbaines du Sénégal, le ruissellement n'est plus retenu par les petites dépressions mineures, la couverture végétale ou les voies naturelles indirectes suivies auparavant par les eaux de surface.

Le débit de ruissellement des eaux pluviales augmente en raison de toutes les surfaces imperméables construites pour les besoins de l'habitat. L'une des conséquences les plus visibles de l'urbanisation est l'imperméabilisation des sols qui limite très fortement les possibilités d'infiltration de l'eau. Ce phénomène entraîne en premier lieu une augmentation des volumes d'eau ruisselés. Cet élément est souvent mis en avant pour expliquer les inondations urbaines. La deuxième conséquence directe de l'urbanisation ou de l'aménagement des espaces périurbains, bien que moins évidente, est sans doute beaucoup plus déterminante dans l'augmentation des risques d'inondations. Elle consiste en un accroissement très fort des vitesses d'écoulement, entraînant, même une augmentation considérable des débits de pointe. Ces dernières réduisent également la surface disponible par où la pluie peut s'infiltrer. Construit sur des zones non aedificandi, la plupart des quartiers de la ville connaît des problèmes d'évacuation et de drainage des eaux pluviales et usées. Le mélange entre eaux usées et eaux pluviales contribue à accentuer davantage le phénomène. L'évacuation des eaux usées et pluviales connaît des problèmes liés à l'insuffisance des ouvrages d'évacuation, à l'imperméabilisation rapide des sols du fait de la prolifération des constructions et de la nature même du substrat. Le tout-à-l'égout est une pratique méconnue pour la plupart des populations de la ville. Seuls, les habitants de l'île bénéficient d'un réseau d'évacuation des eaux, encore que ce dernier n'est pas tout à fait fonctionnel.

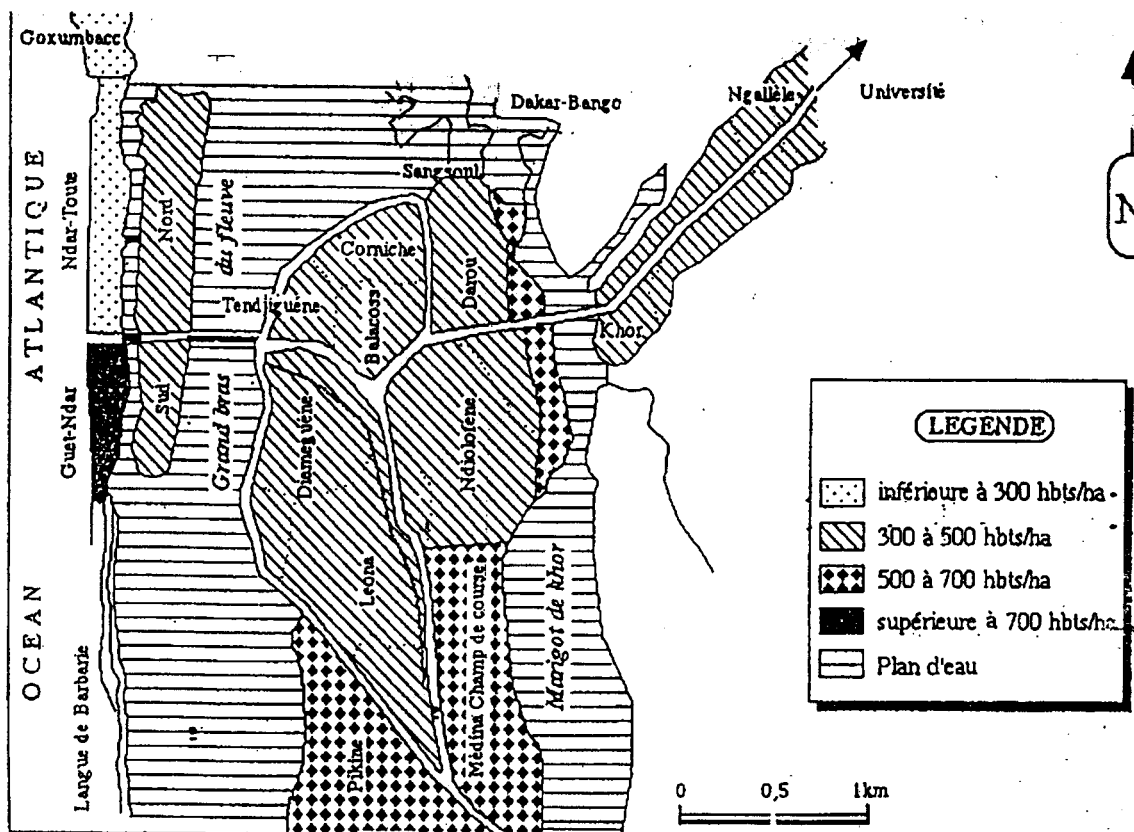
3 – LES CONTRAINTES LIEES A L'OCCUPATION SPATIALE

La ville de Saint Louis n'a pas échappé à la vague d'urbanisation qui caractérise la plupart des villes du monde en développement. Depuis quelques années, elle a reçu des vagues successives de migrants "chassés" par la longue et éprouvante période de sécheresse qui a décimé les zones rurales. Faute d'espace, les populations se sont installées sur les zones périphériques de la vieille ville où elles ont formé ce que nous avons appelé précédemment la périphérie urbaine d'occupation plus récente.

Les conséquences peuvent devenir catastrophiques : la ville, correctement protégée tant que le niveau de l'eau reste inférieur à celui des digues et des quais, se trouve brusquement submergée si la crue augmente. N'étant plus habituée à la présence de l'eau, elle révèle alors sa vulnérabilité accrue et tout se conjugue pour transformer la crise en catastrophe. Sur un plan écologique, l'occupation des abords immédiats du fleuve n'est pas non plus sans conséquences. Le fleuve est en effet un milieu vivant qui doit être considéré dans sa dynamique : la succession de crues et d'étiages, le transport solide, les transformations du lit, la diversité des habitats (nature des berges, largeur du lit vitesse de l'eau, profondeur de la rivière, etc.) sont indispensables à son équilibre. Par ailleurs il ne peut pas être séparé de son environnement : le bassin versant qui l'alimente, les abords de ses berges et en particulier son lit majeur, le sous-sol immédiat avec lequel il est en échange permanent (nappe alluviale), conditionnent totalement son évolution et son fonctionnement. Or la ville ne cesse de couper la rivière de son environnement immédiat, de régulariser son lit et son régime.

Les densités ont beaucoup évolué allant de 241 habitants/ha en 1960 à 305 habitants/ha en 1976 et 370 habitants en 1988. Les foyers de densités exceptionnelles sont notés dans la ville populaire (Guet Ndar, Sor, Pikine, Champs de course, etc.) où se réalisent d'impressionnantes concentrations humaines. En réalité la périphérie urbaine d'occupation récente est bâtie sur des zones dépressionnaires et de vasières qui n'ont pas été bien remblayées avant leur occupation (carte 3) et en dehors du quartier lébou de Guet Ndar, elle concentre d'impressionnantes concentrations humaines.

Carte 3 : Les densités de la ville de Saint Louis



Source : WADE, C.S. (1995)

Suite au retour des fortes crues de ces dernières années, toutes les zones basses ont été envahies soit par les eaux de divagation du fleuve. Ainsi des quartiers comme Darou, Diamaguène, Cité Vauvert, Diaminar, Pikine Extension, Champs de course, Khor, etc. sont exposés à des inondations périodiques car comme le dit si bien l'adage " ce sont les hommes qui n'ont pas de mémoire mais l'eau en a car elle reprend toujours son chemin d'antan".

Les inondations de la ville de Saint Louis sont donc aggravées par une mauvaise occupation de l'espace car les constructions en zones inondables n'ont pas été maîtrisées, et les décisions prises en matière d'urbanisme, faute d'un contrôle satisfaisant et de responsabilités claires, ne tiennent pas assez compte du risque d'inondation.

Il s'agit certes d'une tâche difficile, qui doit composer avec le poids du patrimoine existant dans les zones exposées et qui se heurte à de fortes oppositions locales. L'Etat qui n'a pas su faire respecter l'obligation de prendre en compte ce risque, reste défaillant. En effet il y a une faible utilisation des arrêtés du Code de l'urbanisme pour le refus ou la délivrance des permis de construire, une quasi-inexistence du contrôle de légalité sur les décisions d'octroi des permis et une absence de contrôle de la mise en œuvre des prescriptions constructives exigées par les plans d'exposition aux risques, qui malheureusement n'existent pas. Une politique de planification d'aménagement raisonné de l'espace (déguerpissement et relocalisation de populations menacées, restructuration des quartiers irréguliers) doit être menée pour atténuer le calvaire de populations occupant des zones non aedificandi. Le projet de restructuration de Pikine répond à ce souci et à pour principal objectif la viabilisation du quartier.

B – LES CAUSES LIEES A L'EVOLUTION HYDROLOGIQUE DANS L'ESTUAIRE

Le fleuve Sénégal dispose d'une longue série d'observations limnimétriques. Grâce à l'effort de valorisation des données anciennes entreprises par les hydrologues de l'IRD ex ORSTOM et à une coopération soutenue avec les services hydrologiques nationaux.

1 – PRESENTATION DES DONNEES

Les données que nous avons traité dans ce travail appartiennent aux stations de Saint Louis, Diama Aval et Podor. Les stations de Saint Louis et Diama situées en zone estuarienne, subissent périodiquement les influences marines alors que Podor située dans la basse vallée est largement sous l'influence de la dynamique fluviale.

1 – 1 Station de Saint Louis

La station de Saint Louis qui nous intéresse le plus, se situe à 16°30' de longitude Ouest et 16°02' de latitude Nord. La particularité de cette station est qu'elle subit pendant une bonne partie de

l'année l'influence de la marée océanique, c'est pourquoi les installations limnimétriques anciennes et récentes ont toutes pour but de suivre l'évolution des marées.

D'après ROCHETTE (1974), les marégrammes les plus anciens que l'on connaisse remontent à 1931. Jusqu'en 1961, nombreuses sont les années où les données sont fragmentaires ou manquent totalement. En outre, l'absence d'indications sur beaucoup de marégrammes anciens et récents rend leur exploitation difficile, voire impossible étant donné que l'on dispose rarement de séries continues d'enregistrements. Une liste des valeurs maximales a été établie mais celles de la période 1931-1947 sont données sous toutes réserves compte tenu de la valeur discutable des documents utilisés. De 1949 à 1960, on possède des séries valables d'enregistrements pour 7 ou 8 années. A partir de 1961 le marégraphe n'a pas fonctionné jusqu'en 1975, date à laquelle les observations ont repris avec une qualité variable.

Les données récentes lues à l'échelle ont été complétées par les données anciennes en IGN de la monographie de ROCHETTE reprises et complétées par LAMAGAT (2000). Les données de Saint Louis qui sont lues à l'échelle ont été ramenées en nivellement général pour éviter toute confusion dans l'analyse. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur le calage de l'échelle de Diama aval (-0.455 cm) pour déterminer les données de Saint Louis en IGN. De ce fait 45,5 cm ont été enlevés aux données de la station de Saint Louis

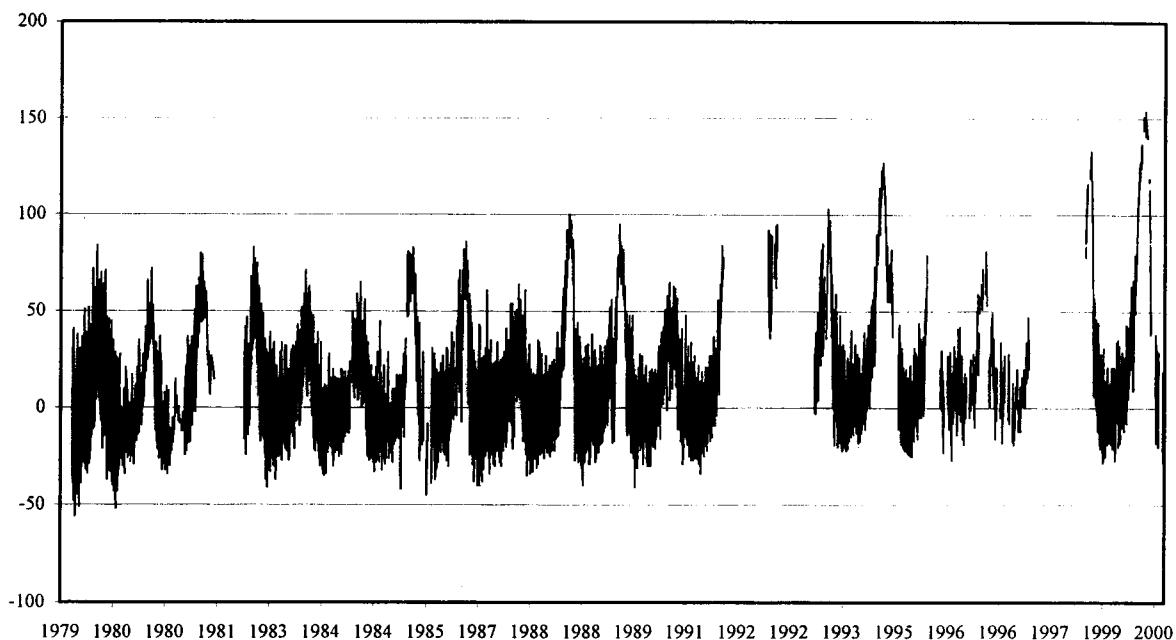
1 - 2 Station de Diama Aval

Le travail que nous avons effectué sur cette station s'est limité à la collecte et au traitement des données de hauteur d'eau en aval. Ce qui a permis de tracer les niveaux limnimétriques atteints en aval du barrage depuis 1986. Comme la lecture des données à Diama ne coïncide pas nécessairement avec les marées hautes ou basses, la corrélation n'est pas toujours évidente entre Diama aval et Saint Louis.

1 - 3 Station de Podor

La station de Podor se situe à 14°57' W - 16°39' N et le bassin du Sénégal y couvre une superficie de 266.000 km². Elle a la particularité d'être suivie depuis 1903 mais a connu quelques

Figure 2 : Variations des hauteurs d'eau à Saint Louis 1979-2000

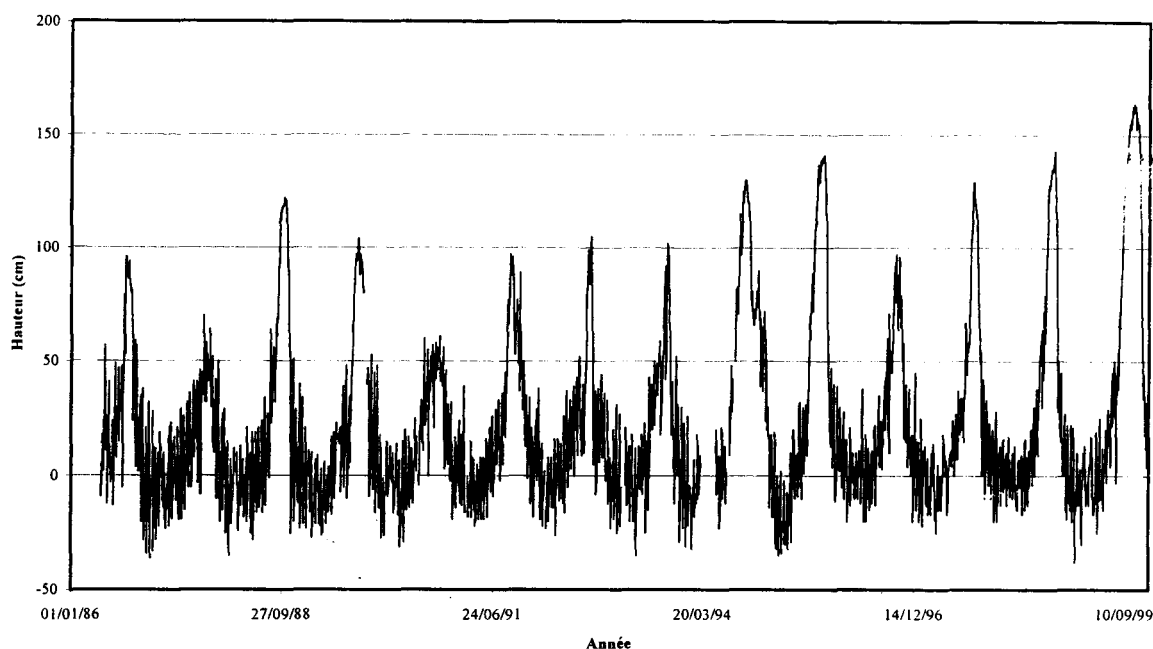


La figure 2 met donc en évidence un fait important qui est celui de la hausse progressive du niveau des hauteurs d'eau enregistrées à Saint Louis depuis les années 1990. Comprendre les véritables raisons de ce changement reviendrait dans une certaine mesure à déterminer plus ou moins les causes des inondations de la ville de Saint Louis.

2 – 2 Station de Diama Aval

Les données disponibles pour la station de Diama aval remontent à 1986, date à laquelle le barrage a été mis en fonction. Construit à 25 km en amont de Saint Louis, le barrage a pour principales fonctions d'arrêter la remontée de la langue salée et de relever la ligne d'eau pour améliorer les conditions d'alimentation de périmètres irrigués et de remplissage des réservoirs tels que le lac de Guiers sur la rive gauche et le lac R'Kiz sur la rive droite. La variation des hauteurs d'eau à Diama aval de 1986 à 2000 est illustrée par la figure 3.

Figure 3 : VARIATION DES HAUTEURS D'EAU A DIAMA - AVAL 1986 - 2000



La variation des hauteurs d'eau à Diama aval est sensiblement identique à celle de la station de Saint Louis. Les niveaux atteints par les maximums de crue ne cessent d'augmenter depuis le début des années 90. Ainsi de 129 cm IGN en 1994, la cote maximale de crue est passée à 140 cm en 1995, 143 cm en 1998 et 164 cm en 1999.

Les données de Diama aval confirment sans aucun doute la tendance à la hausse des niveaux de hauteurs d'eau précédemment identifiés à la station de Saint Louis.

3 – LES CRUES DANS L'ESTUAIRE ET DANS LA BASSE VALLEE

Les écoulements du fleuve Sénégal ont connu des irrégularités énormes dans le passé car étant caractérisés par leur intermittence et leur forte hétérogénéité spatio-temporelle. C'est pourquoi les notions de volumes écoulés, de durée de l'écoulement de crue (maximum, forme et durée) prennent une signification particulière pour ce fleuve. La mise en service en 1985 du barrage de Manantali (dont le rôle principal est d'écrêter la crue et de soutenir le débit d'étiage) a partiellement régularisé l'écoulement (le barrage de Manantali contrôle environ 50% des apports en amont de Bakel).

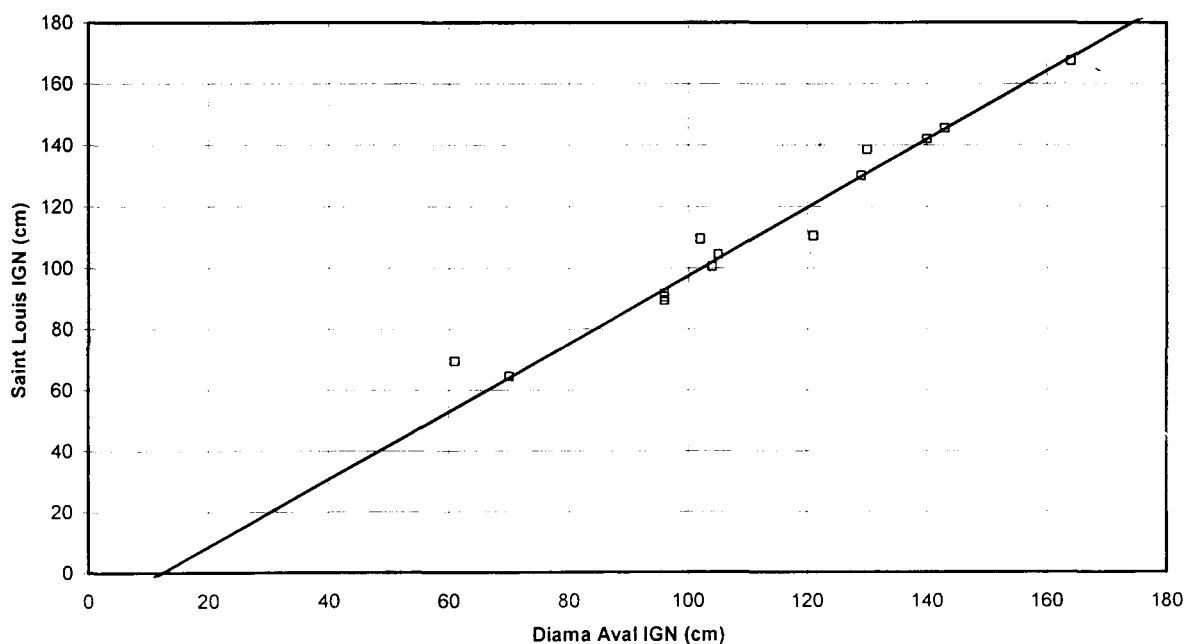
3 – 1 : Les maximums de crue à Saint Louis (1950-2000)

Les maximums de crue des années 95 et 97 n'ont pas été observés à Saint Louis. Comme les cotes de Saint Louis sont assez similaires à celles de Diama Aval, nous avons cherché à compléter les valeurs manquantes à Saint Louis par corrélation avec Diama Aval. On obtient la corrélation suivante :

$$\text{Saint Louis} = 1.112 \text{ Diama Aval} - 13.8 \quad \text{avec } R = 0.98$$

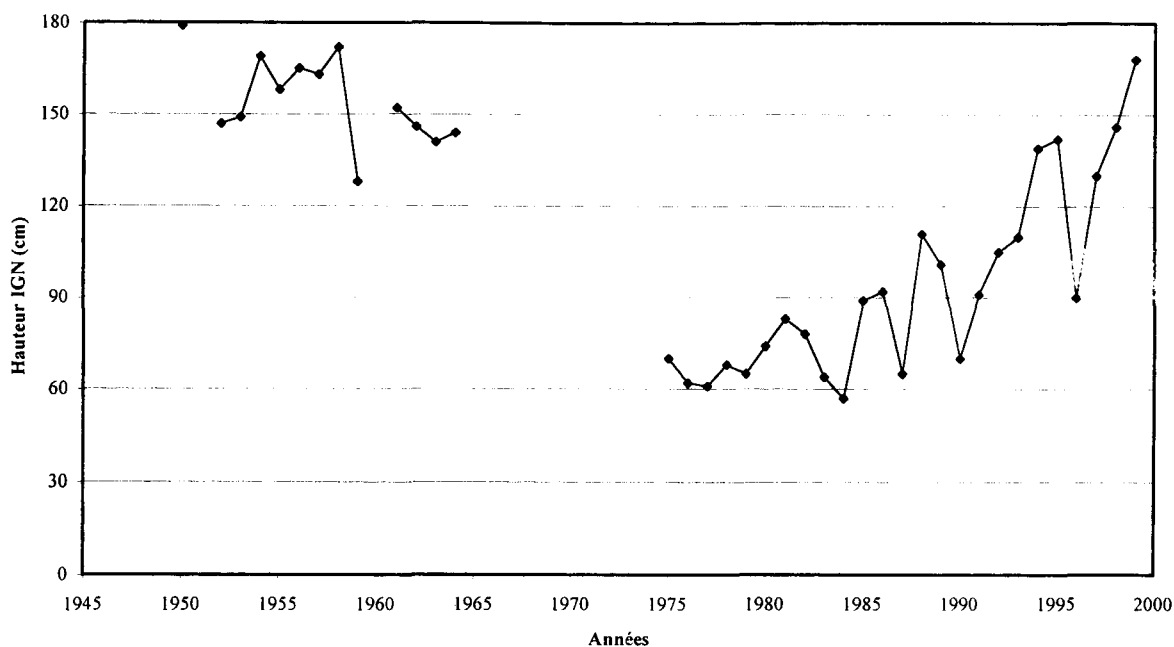
La régression est illustrée à la figure 4. Cette régression a permis de compléter les données de Saint Louis pour les 2 années manquantes.

Figure 4 : Régression entre Saint Louis et Diama Aval



Les cotes maximums de crue enregistrées à la station de Saint Louis de 1950 à 2000 (figure 5) montrent une évolution en dent de scie avec une alternance d'années à forte crue et d'années à faible crue.

Figure 5 : VARIATIONS DES MAXIMUMS DE CRUE A SAINT LOUIS 1950-2000



Il y a une première période de niveau élevé entre 1950 et 1960 avec des cotes maximales de crue très élevées. Le maximum de la période 1950-2000 est enregistré en 1950, année pendant laquelle la crue a atteint 180 cm IGN. Après cette période de niveau de crue très élevé, la tendance est revenue à la baisse entre 1964 et 1984. Cette dernière année a d'ailleurs connu le plus faible niveau de crue (57 cm IGN) enregistré à la station de Saint Louis entre 1950 et 2000. Les années plus récentes ont connu des cotes maximales de crues assez élevées par rapport aux années précédentes (1964-1984). Le niveau du fleuve en période de crue a sensiblement augmenté et a atteint des niveaux quelquefois supérieurs à 120 cm IGN. Ce fut le cas en 1994 (139 cm IGN), en 1998 (146 cm IGN) et en 1999 (168 cm IGN). Comparativement à 1950, la ville a connu des inondations similaires en 1999 avec des dégâts sans doute beaucoup plus importants.

Les photos 2, 3, 4 et 5 prises aux mêmes endroits pendant ces deux années (1950 et 1999) de forte crue, illustrent bien notre propos.

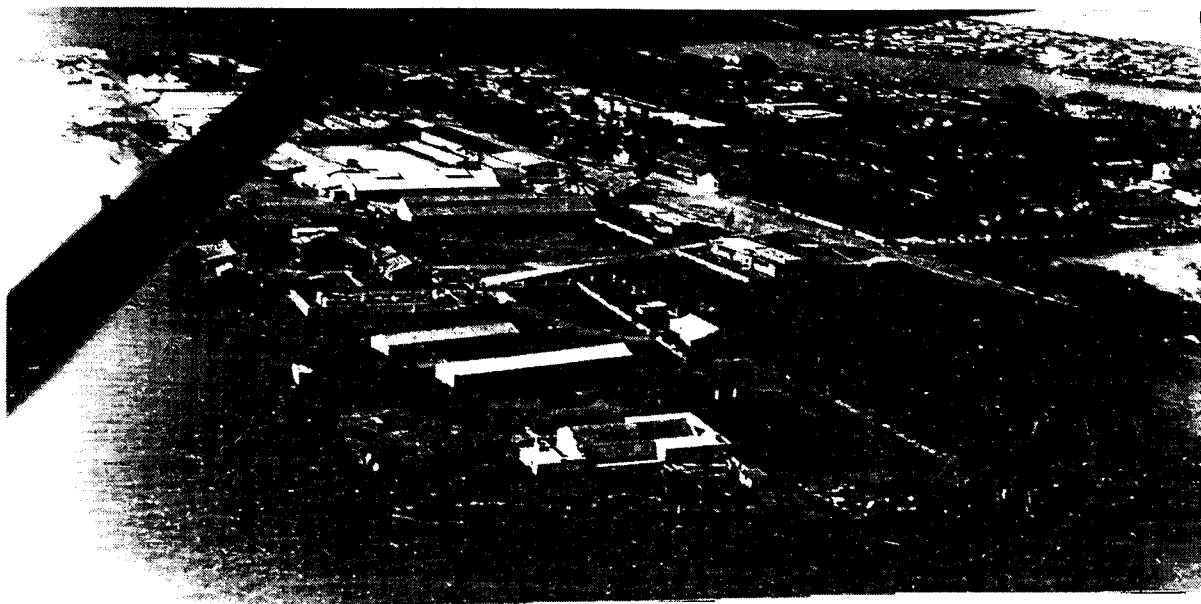


Photo 2 : Vue aérienne de la pointe nord lors de l'inondation de 1950 avec le bâtiment de l'hydraulique au premier plan



Photo 3 : L'enceinte du service de l'hydraulique (pointe nord) lors de l'inondation de 1999



Photo 4 : Inondation de la pointe sud de l'île en 1950

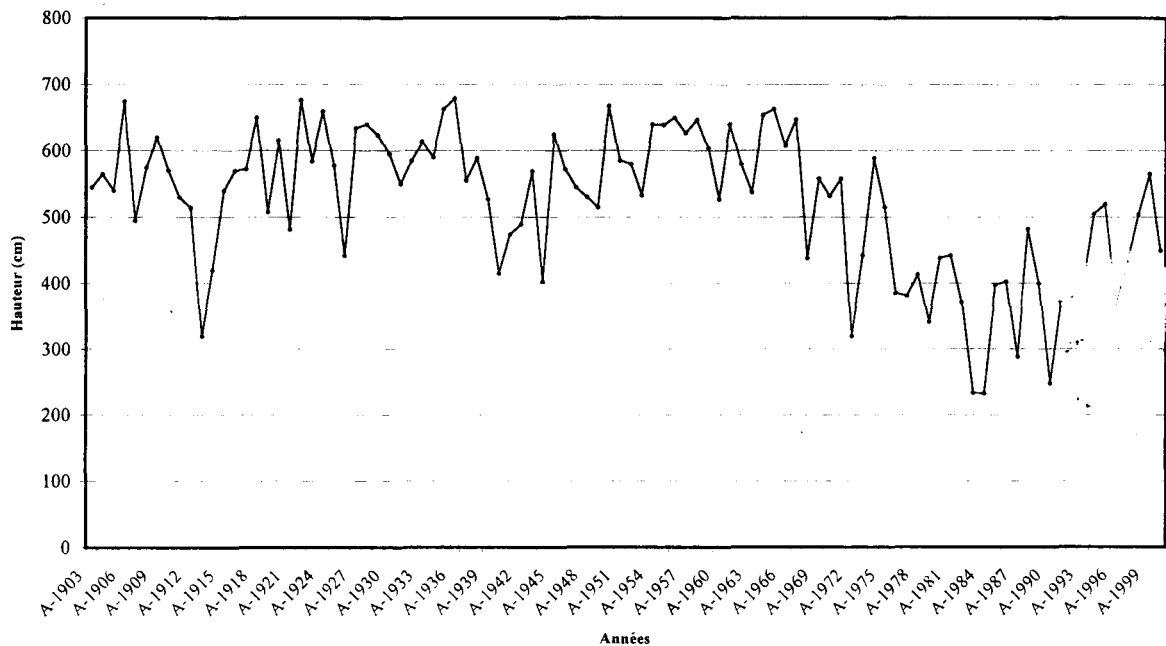


Photo 5 : Inondation de la pointe sud de l'île (devant le bâtiment du CDRS) en 1999

3 – 2 Les maximums de crue à Podor (1903-2000)

La station de Podor comme la plupart des stations de la vallée a la particularité d'être suivie depuis le début du siècle. Elle présente à ce titre une série de données assez complète. Le choix porté à la station de Podor s'explique par le fait qu'elle soit un bon indicateur de crue (aucune influence extérieure sur l'hydrogramme), mais surtout elle permet de confronter les maximums de crue d'une station de la basse vallée d'avec ceux de l'estuaire où la tendance générale est à la hausse. La figure 6 montre l'évolution des cotes maximales de crue enregistrées à Podor de 1903 à 2000.

Figure 6 : VARIATIONS DES HAUTEURS MAXIMUMS DE CRUE A PODOR 1903-2000



Les variations observées sur l'évolution des hauteurs maximales de crue du fleuve Sénégal à la station de Podor mettent en évidence la succession de périodes à niveau élevé (avant 1910, 1919-1939, 1950-1967) et de périodes à niveau faible (1911-1918, 1940-1949, 1980-2000). Les raisons de la baisse des niveaux de crue sont essentiellement liées à des facteurs relatifs à la diminution des précipitations dans le haut bassin et depuis 1985 à la régularisation du régime du fleuve par Manantali qui régule près de 50% des écoulements du bassin.

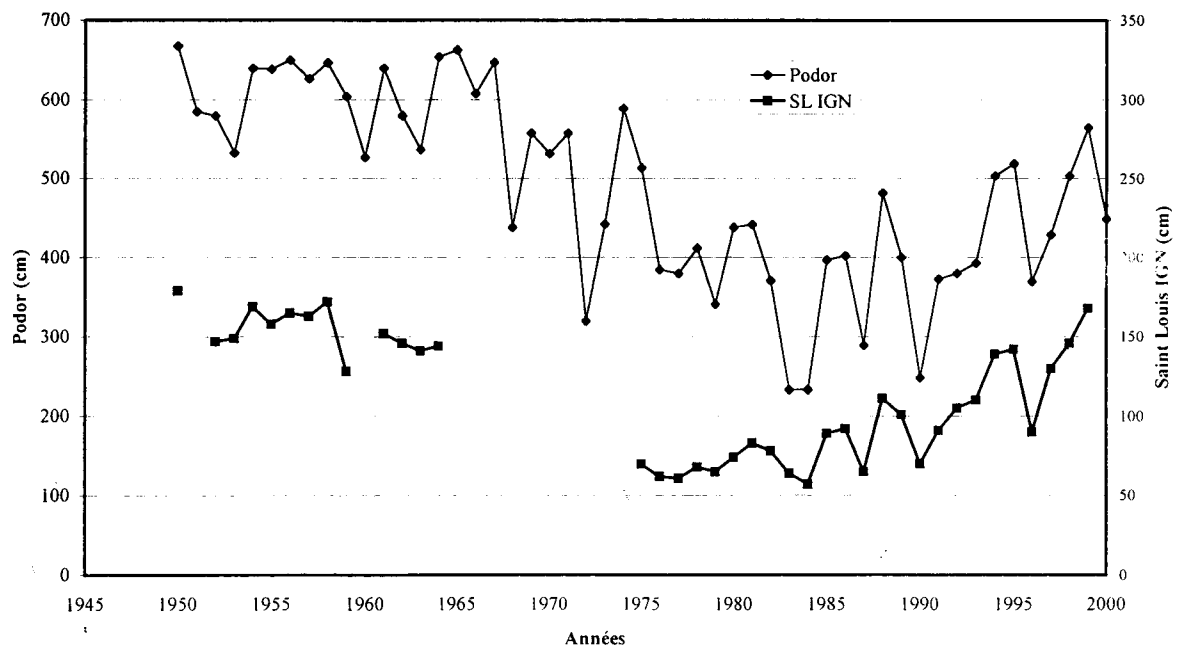
Le fait important souligné par la figure 6 reste la baisse des cotes maximales de crue durant ces vingt dernières années (1980-2000), période pendant laquelle quatre années seulement ont pu

dépasser la cote de 500 cm alors que la moyenne de la série 1903-2000 tourne autour de 550 cm. Ce fait est important à souligner car il est en parfaite contradiction avec la tendance à la hausse en cours dans l'estuaire et qui a été précédemment analysée à Saint Louis et Diama aval.

4 – COMPARAISON DES COTES MAXIMALES DE CRUE A PODOR ET A SAINT LOUIS 1950-2000

La comparaison des cotes maximales de crue entre les stations de Saint Louis et Podor montrée à la figure 7 permet de mieux mettre en valeur les évolutions contradictoires identifiées dans les analyses antérieures. Depuis 1994, on observe à Saint Louis des crues sensiblement comparables à celles des années 50 alors qu'à Podor les crues depuis 1994 sont nettement inférieures à celles des années 50.

Figure 7 : COMPARAISON DES MAXIMUMS DE CRUE ENTRE SAINT LOUIS ET PODOR 1950-2000



L'analyse de l'évolution des hauteurs d'eau dans la zone estuarienne et dans la basse vallée du fleuve Sénégal a permis de dégager deux situations générales. La première a trait au relèvement progressif des hauteurs d'eau et des cotes maximums de crue enregistrées aux stations de Saint

Louis et de Diama Aval. La seconde au contraire montre une baisse de plus en plus importante des niveaux d'eau à la station de Podor dans la basse vallée.

La hausse des niveaux d'eau dans la zone estuarienne n'est pas le fait du hasard. Elle est sans nul doute la résultante d'une évolution de la dynamique de l'estuaire ou plus précisément de l'embouchure du fleuve qui ne cesse de s'étendre vers le sud. Les données bathymétriques constituent de ce fait, un élément de taille pour comprendre les causes d'une telle hausse.

C – LES CAUSES LIEES A L'EVOLUTION DE L'EMBOUCHURE

Le fleuve Sénégal est l'un des rares fleuves qui se jette à la mer par une seule et unique embouchure. Cette dernière, située à environ 30 km en aval de la ville de Saint Louis est caractérisée par sa mobilité. Le cordon littoral ou Langue de Barbarie qui le sépare de l'océan ne fait que s'allonger, repoussant de plus en plus l'embouchure vers le sud.

1 – EVOLUTION DES POSITIONS DE L'EMBOUCHURE

En aval de la ville de Saint Louis, le fleuve Sénégal côtoie l'océan atlantique en longeant la Langue de Barbarie sur plusieurs kilomètres avant d'atteindre son embouchure essentiellement caractérisée par sa mobilité. Tout en conservant une largeur d'ordre kilométrique, la passe subit une translation vers le sud. Ce déplacement implique une mobilisation et un dépôt sur le bord nord et une érosion sur le bord sud. On évalue à environ 600 000 m³ le volume de sable apporté annuellement à l'extrémité sud de la Langue de Barbarie (KANE, 1997).

La position de l'embouchure a connu des évolutions spectaculaires car d'anciennes embouchures ont été repérées au nord de la ville de Saint Louis. L'ouverture à proximité de Saint Louis date du milieu du 17^e siècle et depuis 1850 il n'y aurait jamais eu de nouvelles communications fleuve-océan au nord de la ville. L'embouchure du fleuve s'est alors acheminée très régulièrement vers le sud, avec par intermittence des replis de 4 à 5 km vers le nord. Le cordon littoral extrêmement mobile ne s'est ni élargi, ni surélevé, mais n'a pas cessé de se développer, de s'étendre et de reprendre inlassablement après chaque rupture sa progression vers le sud.

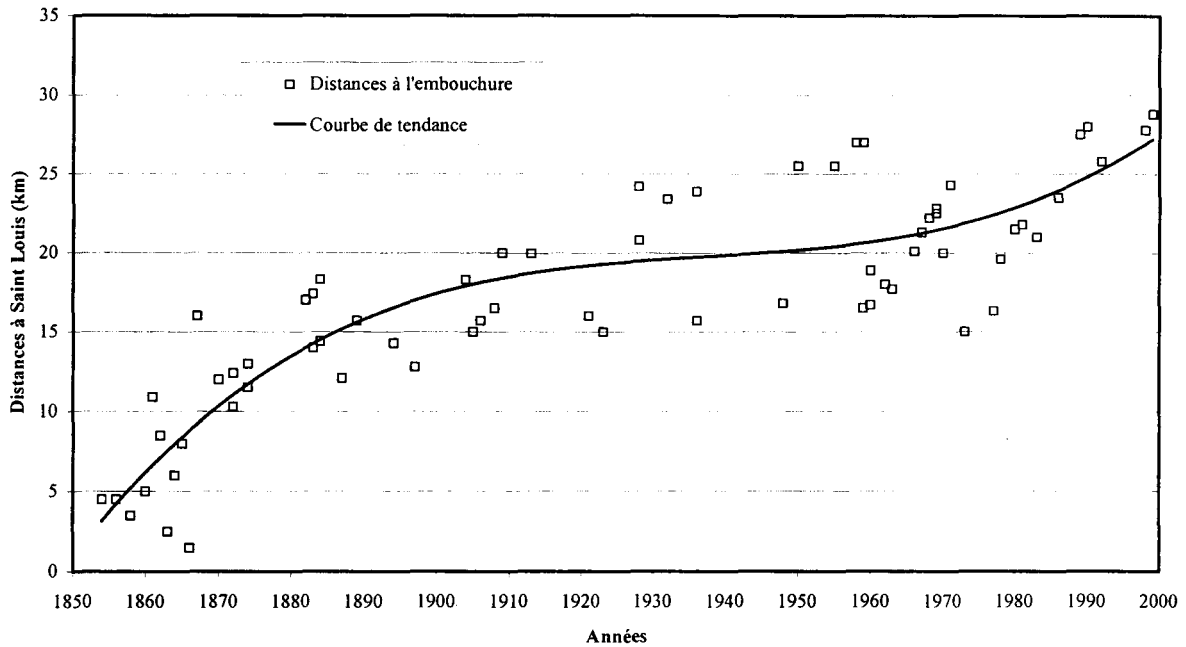
Tableau 1 : Extension de la Langue de Barbarie et position de l'embouchure du fleuve depuis 1658 (en km par rapport à l'île de Saint Louis)

	Année	km	Année	km	Année	km	Année	km	Année	km	
	1658	2,5	1840	20.0	1870	12.0	1913	20.0	1966	20.1	+
+	1692	20,0	1843	17.0	1872	12.4	1921	16.0	1967	21.3	+
	1707	4,5	1846	9.0	1872	10.3	1923	15.0	1968	22.2	+
+	1717	25,0	1849	16.5	1874	11.5	1928	24.2	1969	22.5	+
	1720	21,0	1849	3.4	1874	13.0	1928	20.8	1969	22.8	+
	1726	10,0	1851	27.5	1882	17.0	1932	23.4	1970	20.0	+
-	1727	3,5	1854	4.5	1883	17.4	1936	15.7	1971	24.3	+
+	1738	12,0	1855	20.0	1883	14.0	1936	23.9	1973	15.0	+
+	1750	22,0	1856	4.5	1884	18.3	1948	16.8	1977	16.3	+
-	1780	9,0	1858	3.5	1884	14.4	1950	25.5	1978	19.6	+
-	1790	4,5	1859	-0.5	1887	12.1	1955	25.5	1980	21.5	+
+	1801	27,5	1860	5.0	1889	15.7	1958	27.0	1981	21.8	+
-	1802	18,0	1861	10.9	1894	14.3	1958	27.0	1983	21.0	+
+	1802	19,0	1862	8.5	1897	12.8	1959	27.0	1986	23.5	+
-	1810	6,0	1863	2.5	1904	18.3	1959	16.5	1989	27.5	+
-	1820	7,0	1864	6.0	1905	15.0	1960	16.7 +	1990	28.0	+
+	1824	15,0	1865	8.0	1906	15.7	1960	18.9 +	1992	25.8	+
-	1825	14,4	1866	1.5	1908	16.5	1962	18.0	1998	27.8	+
+	1827	30,0	1867	16	1909	20.0	1963	17.7 v	1999	28.8	+

Source : KANE A. 1997 (complété par DIA 2000)

Il faut signaler que le tableau a été complété grâce aux données issues des travaux de LAMAGAT (2000) sur l'embouchure du fleuve Sénégal. L'allongement de la langue de Barbarie est aussi illustré par la figure 8.

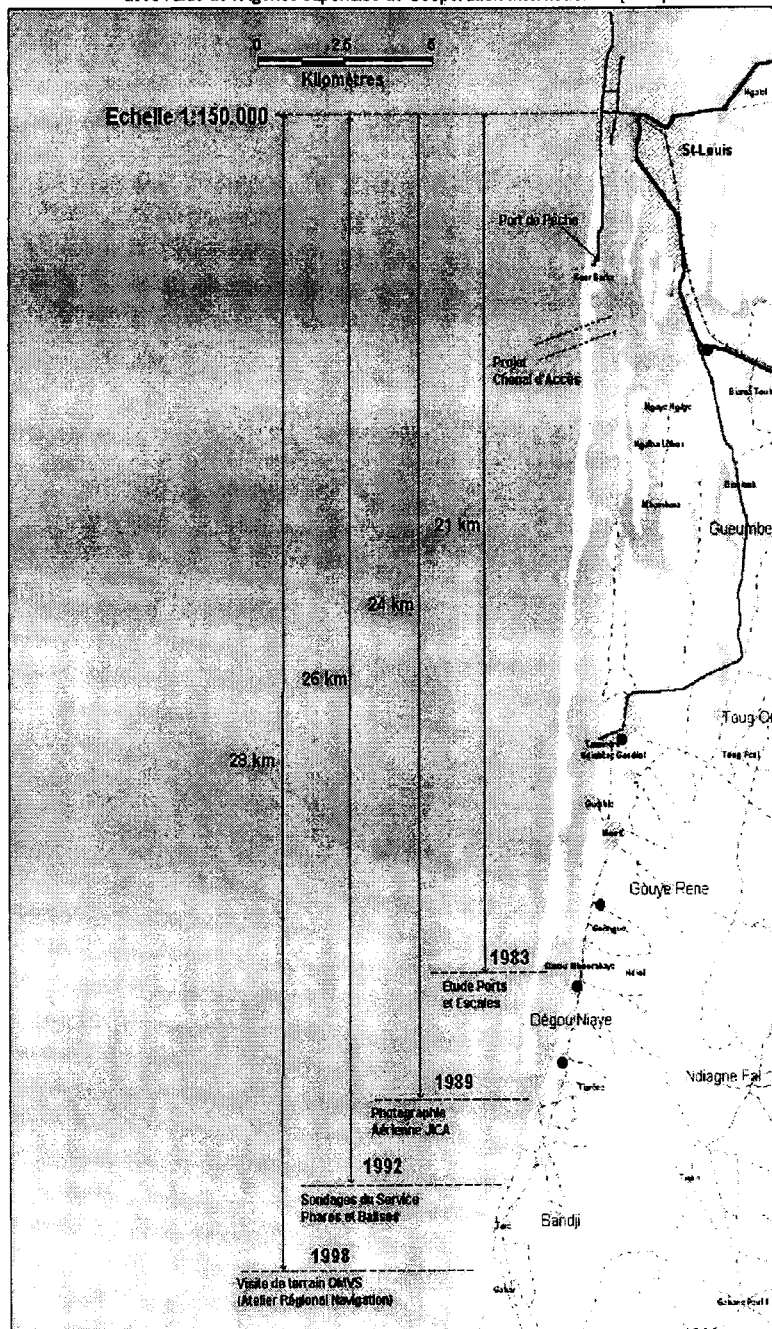
Figure 8 : ELOIGNEMENT DE L'EMBOUCHURE PAR RAPPORT A LA VILLE DE SAINT LOUIS 1950-2000



Suite au recul vers le sud de l'embouchure (carte 4), KANE (1997) a remarqué un élargissement et un épaississement du segment distal du cordon littoral, l'apparition de nombreuses zones de flexions qui sont notées sur le rivage interne du cordon, un raccourcissement de la flèche sableuse de la lagune de Mboumbaye, etc. Il est incontestablement admis que le cordon littoral de la Langue de Barbarie a atteint son maximum d'extension. L'embouchure que nous avons visitée lors de notre mission sur l'estuaire en juin 2000, se situe actuellement au sud du village de Taré soit plus de 30 km en aval de Saint Louis.

Carte de l'estuaire et de l'embouchure du fleuve Sénégal

Réalisée à partir de la carte au 1:50.000 produite en 1992 par le Gouvernement du Sénégal avec l'aide de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA)



Haut Commissariat de l'OMVS
Département Technique - 1996

Cartographie informatique réalisée dans le cadre du projet SISEP/EM
financé par la Région Wallonne de Belgique via l'IEPE/FACT

Depuis 1959, aucune rupture du cordon littoral par la dynamique fluviale ou marine n'a été enregistrée, même si l'extension méridienne et l'érosion sur les rivages internes et externes sont encore réelles. La plantation de filaos sur le cordon littoral afin de le préserver de l'érosion est aussi un élément ayant contribué à sa consolidation. Ainsi, en voulant la stabiliser contre les agressions du fleuve et de la mer, l'homme a créé un autre déséquilibre qui veut que la Langue de Barbarie ne soit plus soumise à ses ruptures périodiques et cycliques d'antan.

Le recul incessant de l'embouchure peut être considéré comme l'une des causes de la hausse du plan d'eau dans l'estuaire en ce sens que le temps de propagation de la crue entre Saint Louis et l'exutoire est devenu relativement plus long. Les eaux de crue gonflées par celles de la marée "stagnent" dans l'estuaire qui a du mal à se vidanger correctement.

2- LA BATHYMETRIE DANS L'ESTUAIRE

Les résultats de la bathymétrie réalisée en juin 2000 par les chercheurs de l'IRD viennent confirmer ces mesures antérieures. Ils ont pu mettre en évidence et confirmer une diminution des largeurs du fleuve qui s'accompagnent d'une réduction des profondeurs au fur et à mesure qu'on s'approche de l'embouchure. Les mesures effectuées ont pour origine le Pont Faidherbe que l'on a nommé PK 0. L'essentiel des résultats de la bathymétrie sont répertoriés dans le tableau suivant :

**Tableau 2 : Bathymétrie de l'estuaire du Sénégal le 27 juin 2000
de 8h 30 à 14 h 00 en marée descendante**

N°profil	H début	H fin	Rive dep.	dist.m	ive arr.	dist.m	RG Est GPS	RG Nord GPS	RD Est GPS	RD Nord GPS	dist GPS pont m	larg ADCP	largeur	Section m2
P9	13 h 28	13 h 36	G	30	D	15	338849	1762404	338268	1762413	10000	572	617	3047
P8	12 h 57	13 h 07	G	12	D	10	338661	1759894	337661	1759953	12485	967	989	3400
Gand/phare	08 h 22	08 h 30	G	30	D	25	338470	1757936	337623	1757981	14450	832	887	3551
P7	12 h 03	12 h 14	G	20	D	15	338295	1756234	337501	1756296	16144	774	809	3070
P6	11 h 38	11 h 44	D	20	G	8	337820	1753340	337405	1753379	19049	401	409	1933
P5	11 h 17	11 h 24	D	5	G	60	337504	1751544	336835	1751604	20835	649	714	2012
P4	10 h 49	10 h 56	G	8	D	4	336645	1748257	336273	1748410	24075	394	406	1833
P3	10 h 22	10 h 27	D	8	G	12	335506	1745640	335142	1745905	26636	438	458	1752
P1	09 h 47	09 h 50	D	25	G	10	334647	1743480	334475	1743646	28846	254	289	936
P2	09 h 50	09 h 53	G	10	D	25	334647	1743480	334475	1743646	28846	251	286	911

Source :LAMAGAT 2000

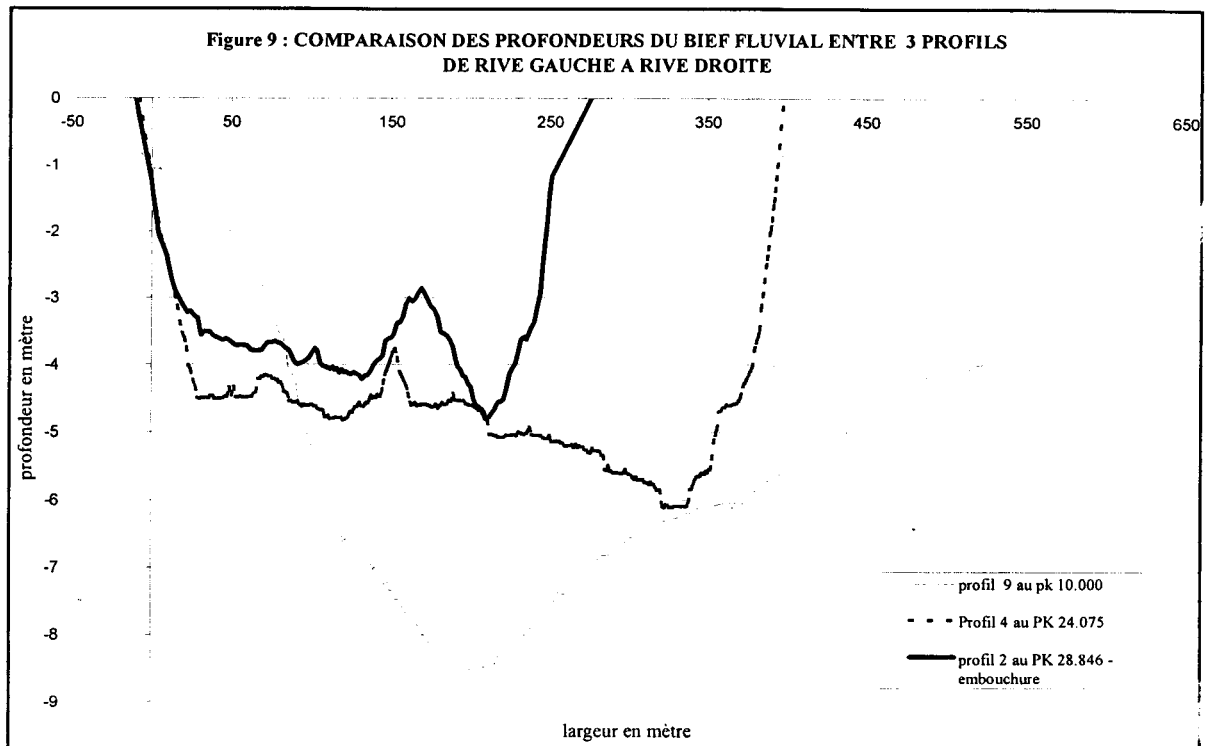
Le tableau 2 répertorie les résultats de la bathymétrie avec les principaux profils de mesures effectués aux différentes heures et les variations de la profondeur et de la largeur entre Saint Louis et L'embouchure.

2-1 Les profondeurs du bief fluvial entre Saint Louis et l'embouchure

Les profondeurs du fleuve Sénégal dans la zone estuarienne ont connu des modifications suite aux nouvelles évolutions morphodynamiques en cours dans le milieu.

Dans son article intitulé "Les inondations au Sénégal. In les problèmes de l'eau au Sénégal", BANCAL P. (1923) affirmait que l'estuaire du Sénégal s'élargit et s'approfondit (10 à 20 mètres). En 1685, LACOURBE donnait au fleuve 12 à 15 pieds de profondeur alors que Le Père LABAT en donnait 18 à 25 en 1728 et ADANSON 20 à 30 pieds en 1750.

D'après ces informations, l'estuaire du fleuve Sénégal connaît un processus de comblement qui semble évoluer avec le temps. Les profondeurs mesurées par ces auteurs que nous venons de citer, ne se retrouvent plus de nos jours dans le bief fluvial car d'après les travaux de DIAKHATE (1986), la profondeur maximale entre Saint Louis et l'embouchure ne dépasse pas 10 m. La profondeur maximale de 11,1 m a été mesurée par KANE (1997) au Pont Faidherbe. A l'hydrobase les profondeurs varient entre 7 m pour la rive droite et 5 m pour la rive gauche. Dans le petit bras entre Saint Louis et la Langue de Barbarie les profondeurs sont d'environ 3 m.



Le profil 9 (PK 10.000) représente un point du fleuve situé à 10 km en aval du pont. Les profondeurs y varient autour de 9 m, tandis que sur profil 4 situé à 24 km (PK 24.075) celles-ci ne sont que de 6 m et à l'embouchure représentée par le profil 2 (PK 28.846) les profondeurs ne sont que de 5 m.

La figure 9 montre clairement que les profondeurs du bief fluvial en aval de Saint Louis sont marquées par une diminution progressive vers l'embouchure où les plus faibles profondeurs sont enregistrées. Elles varient en fonction des saisons, les plus élevées étant enregistrées en saison sèche et les plus faibles en hivernage. Le colmatage de l'embouchure n'est pas sans causer des conséquences sur l'hydrologie estuarienne. En effet, une telle situation est un obstacle à l'écoulement naturel des eaux fluviales vers la mer. On pourrait tenter de croire que les mètres perdus en profondeur par le fleuve sont récupérés en hauteur; il s'en suit nécessairement une hausse notable du plan d'eau sur toute la zone estuarienne. En période de crue le fleuve a tendance à se déverser dans les zones riveraines à cause de ce phénomène, ce qui entraîne l'inondation des localités situées le long de son cours. Les résultats de la bathymétrie ont également montré que la diminution des profondeurs s'accompagne d'une diminution de la largeur du bief et du même coup de la section mouillée.

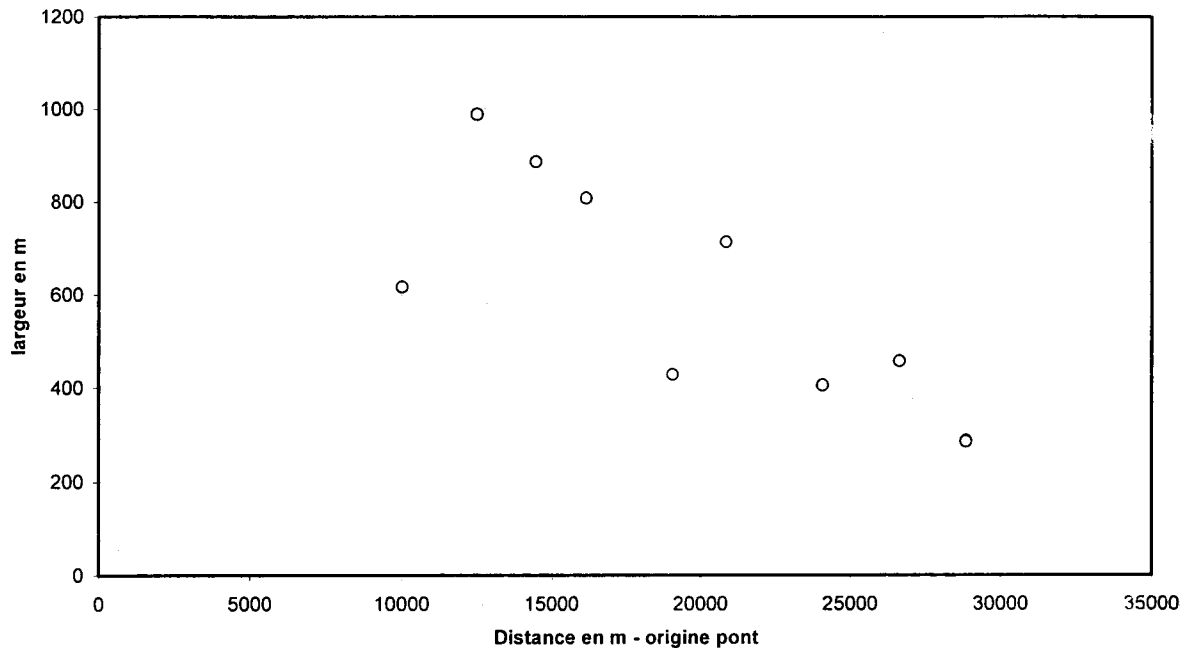
2 – 2 La largeur du bief fluvial entre Saint Louis et l'embouchure

Le bief fluvial du Sénégal présente une des largeurs de plus en plus étroites entre Saint Louis et l'embouchure. Les données du tableau et des figures recueillies au GPS lors de la campagne de bathymétrie réalisée en juin 2000 le montrent parfaitement.

Tableau 3 : Variation de la section mouillée entre le pont Faidherbe et l'embouchure

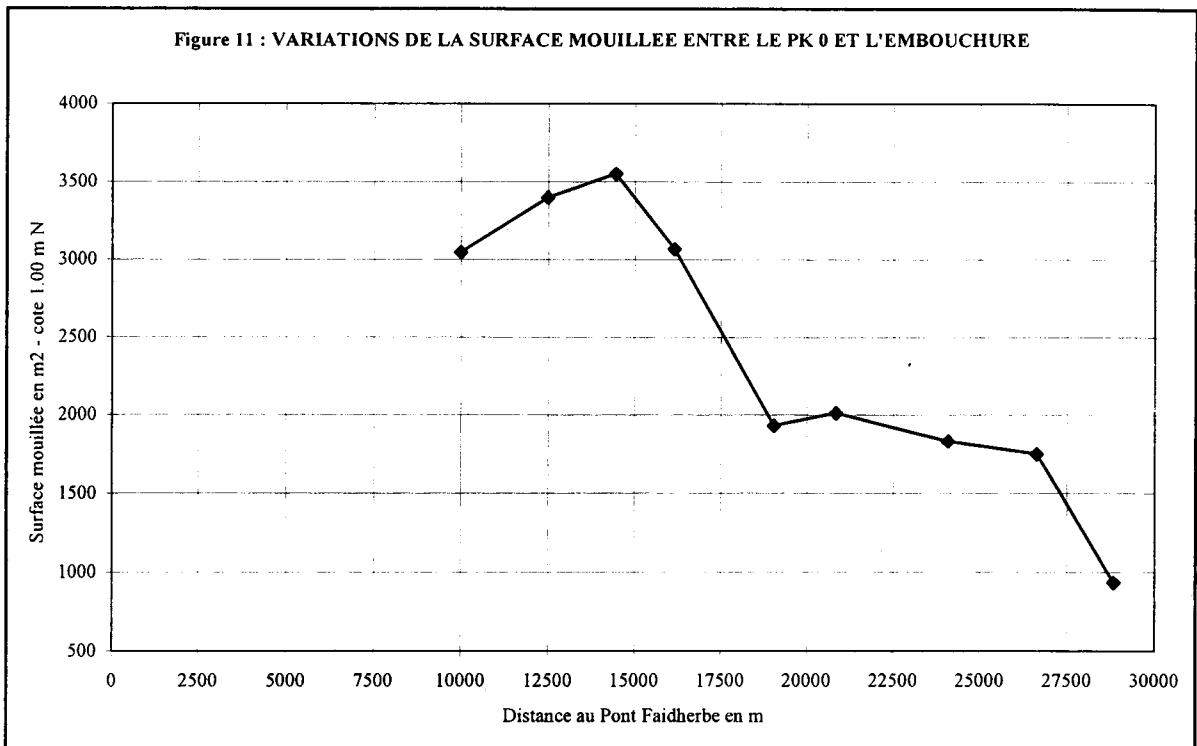
distance GPS au pont	Section m2	largeur total
10000	3047	617
12485	3400	989
14450	3551	887
16144	3070	809
19049	1933	429
20835	2012	714
24075	1833	406
26636	1752	458
28846	936	289
28846	911	286

Figure 10 : VARIATIONS DE LA LARGEUR DU BIEF FLUVIAL ENTRE LE PONT FAIDHERBE ET L'EMBOUCHURE



La figure 10 illustre clairement la diminution des largeurs entre Saint Louis et l'embouchure. Elle varie entre 617 m au PK 10.000 et 286 m au PK 28.846 (embouchure). La largeur maximale mesurée sur cette section se situe au PK 12.485 localisé en amont du phare de Gandiole. Toutefois, il faut préciser que la diminution de la largeur dans le bief fluvial n'est pas tout à fait linéaire. Elle peut soit augmenter soit diminuer d'une section de mesure à une autre. Ainsi, de 617 m à 10 km du pont Faidherbe, la largeur atteint 989 m au large de Gandiole, c'est à dire à 12.485 km du même pont. La largeur du bief est déterminée par la dynamique hydrosédimentaire et les processus d'érosion qui affectent le rivage interne de la Langue de Barbarie (rive droite) et la rive continentale (rive gauche). Cette dernière présente une plus ou moins grande résistance à l'érosion fluviale et marine, les principaux seuils de faiblesse étant localisés sur le cordon littoral.

La diminution des largeurs du bief fluvial dans l'estuaire s'accompagne aussi d'une réduction de la section mouillée (figure 11) entre Saint Louis et l'embouchure. De 3047 m² au PK 10.000, elle passe à 911 m² à l'embouchure. Comme pour la largeur, son évolution n'est pas linéaire car variant aussi d'une section de mesure à une autre. Le maximum mesuré est de 3551 m² au PK 14.450 c'est au droit du phare de Gandiole.



Source : LAMAGAT, 2000

Cette mesure de la section mouillée effectuée en juin donc avant l'arrivée de la crue, n'est pas tout à fait exhaustive. Elle devrait être complétée par d'autres mesures qui seraient réalisées en périodes de crue car c'est pendant cette période que le fleuve atteint son maximum d'extension. Toutefois, elle a le mérite d'avoir donné des indications assez précises sur les caractéristiques de la section mouillée qui en tout état de cause se réduit au fur et à mesure qu'on s'approche de l'embouchure.

En dehors des contraintes internes à la ville, les inondations de la ville de Saint Louis ont pour principale cause l'alluvionnement de la zone de l'embouchure. Cette dernière constitue un obstacle majeur au vidange de l'estuaire, ce qui contribue à maintenir un niveau élevé dans toute la zone située en aval du barrage de Diama. Les résultats auxquels la bathymétrie a abouti devraient être complétés par une analyse granulométrique des sédiments rencontrés à l'embouchure afin de déterminer leur origine et de confirmer ou d'infirmer l'alluvionnement de celle-ci. Une étude sur la vitesse de l'écoulement entre Saint Louis *et l'embouchure* est également nécessaire pour confirmer l'apparente stagnation du plan d'eau dans l'estuaire.

CHAPITRE 3 : LES MESURES DE PROTECTION
ET LES PROPOSITIONS

CHAPITRE 3 : LES MESURES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS A SAINT LOUIS ET LES RECOMANDATIONS

L'aménagement des zones inondables autour de la ville de Saint Louis s'est accompagné d'une réduction progressive de leur surface. Au fur et à mesure que les populations ont aménagé les zones dépressionnaires, les dommages causés par les crues ont augmenté. Il a donc fallu recourir à des mesures de protection comme les digues, les barrages et les ouvrages de dérivation et de pompage pour lutter contre les inondations. En matière de protection contre les inondations, il n'est pas possible de se protéger contre tous les risques. Quelle que soit la technique utilisée et quelles que soient les dimensions des ouvrages, il y aura forcément un jour où ces ouvrages seront insuffisants. La prise en compte de ces événements exceptionnels (où dont la période de retour est supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des ouvrages) constitue donc une nécessité pour l'aménageur.

Même si ces ouvrages protègent assez bien les populations, ils peuvent également créer une fausse impression de sécurité car ces structures de protection (digues) ne sont pas sans faille. Elles sont soumises à des ruptures périodiques par suite d'érosion hydrique, donc demandent des travaux d'entretien et de réparation réguliers. Peu importe l'ampleur des crues pour lesquelles des ouvrages de protection sont construits, il peut toujours se produire des crues supérieures aux crues nominales. Et peu importe la raison lorsqu'un ouvrage de protection cède (photo 6 digue de Darou en 1999), les inondations qui s'ensuivent causent davantage de dégâts que si la structure n'avait pas été en place.



Photo 6 : Rupture de la digue de Darou lors de l'inondation de 1999

Afin de venir à bout de ce fléau, différentes mesures ont été envisagées. Il s'agit d'une double démarche qui repose essentiellement sur deux types de mesures : les mesures structurales et les mesures non structurales.

A – LES MESURES STRUCTURALES

Les mesures structurales de lutte contre les inondations à Saint Louis visent à maîtriser les dommages causés par les eaux de crue et par les eaux de pluie.

1 – LES DIGUES DE PROTECTION

Les digues sont des talus construits afin de protéger les basses terres contre la crue du fleuve. Elles empêchent seulement les eaux de crue de pénétrer dans les régions basses, mais constituent des véritables barrages à l'écoulement naturel et au ruissellement des eaux pluviales. Les zones protégées par les digues se singularisent par le fait qu'au risque " naturel " de débordement du cours d'eau au-delà de son lit mineur endigué par endroits se superpose un risque, en quelque sorte " technologique", de rupture des ouvrages qui sont censés contenir la crue. Le degré de

protection offert par les digues dépend de sa hauteur et de son type de construction. Les ouvrages de défense contre les inondations réalisés à Saint Louis ont été conçus et réalisés sans nul doute en considération d'une crue de référence déterminée. Faute d'information, les riverains en retirent pourtant la conviction, illusoire, d'une protection absolue. Ce sentiment est fortement développé le long des quartiers protégés par une digue. La population de ces quartiers méconnaît au demeurant les risques indirects que génèrent de tels ouvrages : phénomène d'accélération des flux aggravant les dangers en aval, croyance fautive en l'insubmersibilité des digues, ruptures fréquentes et multiples de ces ouvrages en cas de forte crue.

Les eaux exercent une forte pression contre les digues en accélérant leur érosion et leur saturation. Il existe souvent des infiltrations qui peuvent déborder la digue lors de crues extrêmes comme se fut le cas sur la photo 7 prise lors de l'inondation de 1999.

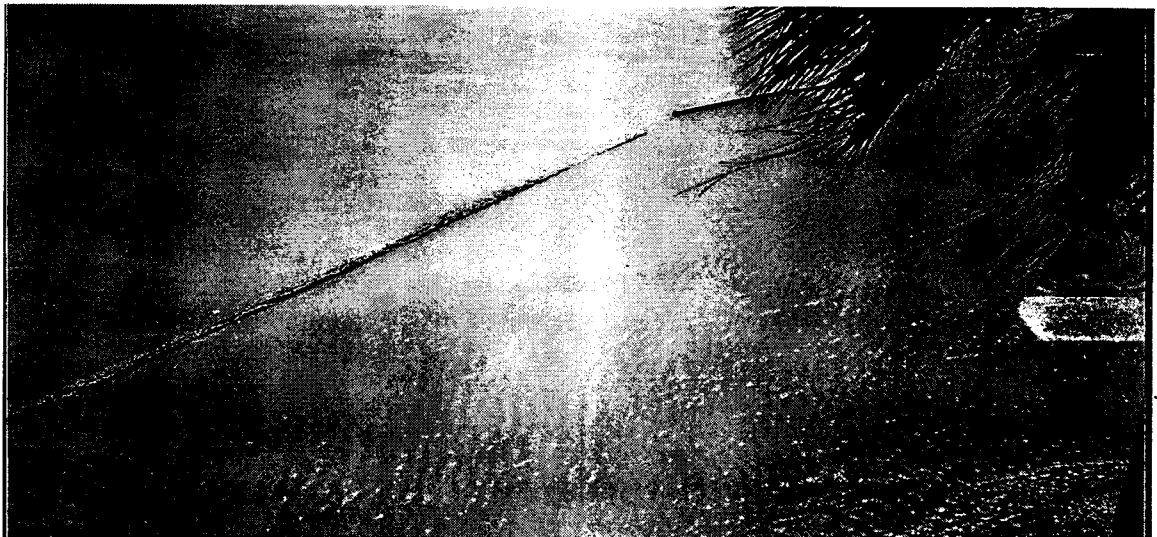


Photo 7 : Débordements d'une digue à Saint Louis(Pointe Sud) lors de l'inondation 1999

Entre 1995 et 1996 deux digues de protection d'une longueur de 6600 mètres (digue définitive de Darou, digue route) ont été réalisées par le Ministère de l'Hydraulique pour protéger les quartiers limitrophes du défluent de Khor. Ces deux ouvrages n'ont pas pleinement joué leur rôle de protection. La digue définitive de Darou construite en 1995 a subi de fortes pressions des eaux et d'incessants batillages sous l'effet des vents. Les actions de colmatage et de renforcement de la partie supérieure de la digue, n'ont pas pu sauver l'ouvrage des eaux.

Sous la pression des eaux du marigot de Khor, les parois latérales du vieil aqueduc de Bango ont cédé sur une longueur de 15 m environ entraînant des inondations dans le quartier de Khor cabane. En aval de Saint-Louis, le village de Doun Baba Dièye a été inondé suite aux coupures de la route de Gandiole.

Des opérations de protection par endiguement provisoire sont aussi entreprises pour compléter ce dispositif de mesures structurales défaillant. Il s'agit entre autres de la mise en place de bouchons de sacs de sable au niveau des quartiers exposés aux débordements du fleuve et de ses défluent tels que : Pikine Tableau Walo, Bas Sénégal, Sor Diagne, Khor Eglise, Khor Village, Cité Vauvert, Goxumbathie. Le rehaussement des points bas des quais est aussi réalisé avec la construction de quais en béton armé dosé à 350 kg/m³ (les quais de Corniche et de Giraud qui ont une épaisseur 20 cm à la cote 2.25 m IGN. Il y a également le renforcement et la protection de la digue définitive de Darou qui est en état de délabrement très avancé et la fermeture de la brèche du vieil aqueduc de Bango par la mise en place d'un rideau de tôles et un batardeau avec des sacs de sable. Il est prévu la construction d'une digue-barrage à écluse pour protéger le quartier de Pikine. Ceci permettra de renforcer l'efficacité de la digue-route qui nécessite des travaux de rehaussement et d'élargissement.

2 – LES STATIONS DE POMPAGE ET LES BASSINS DE RETENTION

Les stations de pompage et les bassins de rétention aménagés à Saint Louis visent à assurer la collecte des eaux de pluies. Les opérations de pompage contribuent à l'évacuation des eaux pluviales stagnantes des quartiers situés dans des zones dépressionnaires (Balacoss- Léona-Diamaguène- Diaminar, Eaux claires, Pikine). Plusieurs stations ont été aménagées à cet effet. Les plus importantes étant celles de Diaminar et de Léona-Diamaguène, cette dernière est doublée d'un bassin de rétention. La station de Diaminar est équipée de deux (02) électro – pompes de débit 150 l/s. La conduite de refoulement longue de 1057 m est en PEHD PN 10 de diamètre 400. Un groupe électrogène de secours de 171 KVA est installé.

La station de Léona-Diamaguène est équipée de trois (03) électro – pompes immergées de débit 315 l/s. La conduite de refoulement longue de 45 m est en acier DN 800. Un groupe électrogène

de puissance théorique 583 KVA est également installé. Un bassin de rétention d'une grande importance était en cours de construction lors de notre mission de terrain à Saint Louis. Ce bassin dénommé Diawling 2 est conçu pour le stockage et l'évacuation des eaux de pluies qui inondent tous les quartiers environnants.

B – LES MESURES NON STRUCTURALES

Les solutions structurales même si elles présentent l'avantage de réduire les dommages causés par les inondations, doivent être complétées par des mesures non structurales. La seule solution valable à long terme consiste à soustraire les zones inondables à l'aménagement et aux utilisations vulnérables aux inondations. Cette démarche non structurale devrait être privilégiée pour ce qui du cas de Saint Louis, car elle réduit d'une part la construction des coûteux ouvrages de régularisation, et d'autre part les dédommagements réclamés pour les dégâts causés par les inondations. Cette mesure peut comporter plusieurs volets, mais le plus important est la réglementation de l'occupation des sols dans les plaines inondables.

L'Etat doit définir des règles à observer dans les zones présentant des risques d'inondation et délimiter ces zones. La prévention du risque d'inondation passe avant tout par le contrôle de l'utilisation des sols, c'est à dire par l'interdiction de construire dans les zones les plus exposées aux risques et dans les champs d'expansion de crues.

En matière d'aménagement et d'occupation des terres à Saint Louis, la municipalité et les services techniques d'urbanisme ont la responsabilité de la prévention en terme d'utilisation de l'espace car ils ont pleine compétence en matière de délivrance des permis de construire et de plan d'urbanisme. Ceux-ci en application du code de l'urbanisme, prévoient notamment les conditions permettant de prévenir les risques naturels prévisibles. Malheureusement, on semble assister à un désordre total en ce qui concerne l'occupation des terres car la majorité des populations est établie sur des zones non aedificandi.

Certes la ville est confrontée à des problèmes d'extension, mais cela ne devrait pas pousser les populations à s'installer dans des zones inondables en procédant à des remblaiements qui sont très

inefficaces face à la force des eaux. Pour éviter une telle situation, la municipalité a décidé d'aménager les terres situées aux environs du village de Ngallèle vers l'université Gaston Berger. Cet espace se trouve en dehors des zones inondables et échappe donc aux risques d'inondation.

C – LES RECOMMANDATIONS

Les inondations de la ville de Saint Louis appellent des solutions rapides qui doivent porter à la fois sur l'ensemble de la zone estuarienne (embouchure) et sur l'aménagement de la ville.

1 – RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'ESTUAIRE

Les recommandations sur la zone estuarienne s'articulent essentiellement autour des points développés ci-après.

1 – 1 Le réaménagement du lit fluvial

Il doit comporter plusieurs mesures telles que le dragage et l'enlèvement des débris, et la protection des berges du fleuve. Il a été constaté que le petit bras du fleuve situé entre l'île de Saint Louis et la Langue de Barbarie est de plus en plus comblé par les ordures de toute nature qui y sont déversées par les populations des quartiers de Goxumbaac et de Guet Ndar. Le dragage du petit bras fut d'ailleurs retenu comme solution dans les conclusions du CRD spécial sur les inondations du 10 juin 2000 car il devrait permettre à terme de stabiliser le débit du cours d'eau, d'accroître le gradient et la vitesse de l'écoulement.

1 – 2 La régularisation du débit

Les dégâts d'une inondation sont essentiellement fonction des niveaux atteints qui commandent directement les débordements, infiltrations, remontées par les réseaux d'assainissement, etc. L'une des méthodes les plus efficaces pour diminuer l'importance des inondations consiste donc à lamener la crue, c'est à dire à aplatir la pointe de l'onde (donc à diminuer la hauteur atteinte) en

ralentissant les écoulements dans le bassin et en stockant des volumes qui ne rejoindront progressivement le lit qu'après le passage du maximum.

La première voie d'intervention pour rendre les crues moins dangereuses et diminuer l'importance des inondations à Saint Louis, consiste à maintenir et à restaurer des conditions de fonctionnement hydraulique satisfaisantes du fleuve dans tout le bassin en respectant, bien entendu, les équilibres naturels en jeu. Ce point n'est pas toujours bien compris et donne lieu fréquemment à de mauvaises interprétations ou à des présentations ambiguës. Les riverains des zones inondées de la vallée se plaignent en effet, systématiquement, que les capacités d'écoulement de la rivière sont insuffisantes et ils réclament, à leur niveau, une évacuation rapide des excédents d'eau vers l'aval (embouchure). Les riverains situés plus en aval (Saint Louis) préféreraient plutôt que l'eau s'accumule en amont ce qui diminue d'autant la pointe de l'onde de crue au passage dans la ville.

Pour réduire ou éliminer les risques d'inondation à Saint Louis, on doit recourir à la régularisation du débit du cours d'eau, en emmagasinant l'eau dans un réservoir ou la détournant en amont de la ville. En d'autres termes, on doit faire de sorte que le volume d'eau qui passe par Saint Louis en période de crue ($2000 \text{ m}^3/\text{s}$) soit détourné ou stocké en amont de la ville ou en amont du barrage de Diama. À défaut de cela, il est possible d'évacuer les excédents d'eau dans les zones dépressionnaires et vallées mortes situées sur les deux rives du fleuve. Un programme comme celui de la revitalisation des vallées fossiles à partir des excédents d'eau du fleuve pourrait permettre de régler ne serait-ce que partiellement le problème des inondations dans le delta.

La retenue du barrage de Diama devrait, à chaque fois, être vidée à l'approche de la crue pour qu'elle puisse accueillir les eaux de crue. Des lâchers périodiques sont donc nécessaires pour réaliser cela. Désormais, la gestion du barrage de Diama doit intégrer les problèmes d'inondation qui affectent la ville de Saint Louis même si cela n'est pas compris dans ses objectifs principaux..

D'une façon générale, un bon entretien du lit mineur dans la zone estuarienne est indispensable pour que les champs d'expansion du fleuve ne soient pas déjà encombrés avant l'arrivée d'une grande crue. C'est là une "gestion équilibrée" destinée à satisfaire ou à concilier "les exigences de

la conservation et du libre écoulement des eaux et de la protection contre les inondations;...". Les bénéfices résultant de la conjonction de ces améliorations peuvent être évalués de façon fine en utilisant une modélisation des écoulements du fleuve dans l'estuaire et à partir du barrage de Diama. Mais sur un bassin complexe comme celui du Sénégal, l'influence globale des différents aménagements devra toujours être appréciée sur le modèle d'ensemble.

1 – 3 Le dragage de l'embouchure du fleuve

c'est une recommandation à laquelle nous accordons beaucoup d'importance. Dans ce travail nous avons pu démontrer que l'embouchure du fleuve Sénégal s'éloigne de plus en plus de la ville de Saint Louis et qu'elle est soumise à un alluvionnement qui fait que la profondeur et la largeur du bief diminuent considérablement. Les eaux ont alors du mal à se déverser correctement en mer. De ce fait, pour sauver Saint Louis des eaux, il faut impérativement procéder à un dragage systématique de l'embouchure afin de l'élargir et de l'approfondir. Ainsi l'influence de la courbe de remous engendrée par le seuil de l'embouchure sera complètement effacée et les niveaux d'eau vont du même coup baisser dans toute la zone estuarienne. Il serait également intéressant de voir s'il n'y a pas possibilité de créer une nouvelle embouchure artificielle du moment que la Langue de Barbarie n'est plus soumise à ses ruptures périodiques. L'image LANDSAT d'octobre 1999 (carte 5) permet de situer des zones de faiblesse au niveau du cordon littoral, donc facile à reprofiler pour créer un nouveau déversoir.

Carte 5 : Zones de faiblesse du cordon littoral



Toutefois, le percement d'une nouvelle embouchure sur une quelconque section de la Langue de Barbarie, nécessite des études préalables afin de connaître les impacts environnementaux qui peuvent en découler.

2 – LES RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA VILLE DE SAINT LOUIS

Bien que les causes réelles des inondations qui frappent la ville de Saint Louis soient liées à la dynamique de l'embouchure, il est aussi important de formuler des recommandations portant sur des actions qui, une fois mises en œuvre contribueraient à amoindrir les dommages.

2 –1 La réhabilitation des digues-routes et le rehaussement des quais

Les digues réalisées pour protéger la ville sont pour la plus part dans un état de délabrement très avancé. Il est donc important de les réfectionner et de protéger leur partie supérieure pour lutter contre l'action des eaux qui causent des ravinements. Il faut aussi concevoir des digues routes butimées dont la largeur permettra de mieux lutter contre l'action du batillage et de la poussée des eaux. La digue de Darou doit être réhabilitée et transformée en digue route. Les anciens quais de la ville doivent être reconstruits en intégralité et calés à des cotes largement au-dessus des niveaux de crue extrêmes.

2 – 2 La construction sur remblai

Cette méthode est souvent utilisée à Saint Louis lorsqu'on veut établir de nouveaux lotissements ou construire en zones dépressionnaires. Elle présente l'avantage de ne nécessiter aucune modification spéciale lors de la conception mais doit veiller à ce que les zones remblayées aient un niveau supérieur à celui des crues extrêmes car si jamais la crue des eaux dépassait le niveau théorique, elle serait sans importance et de courte durée.

2 – 3 La construction sur piliers, pieux, colonnes ou murs porteur

étant donné que la ville de Saint Louis se situe dans une zone deltaïque, il est recommandé de procéder à cette technique de construction. Cette méthode de construire des habitations sur des fondations permettant de les placer au-dessus du niveau théorique de crue assure une bonne protection et améliore l'utilisation du sol. Elle ne contribue pas à élever le niveau des crues et elle n'a que peu d'effets sur la force du courant.

2 – 4 Repérage et description des zones critiques autour de la ville

ils nécessitent au préalable l'établissement de cartes topographiques pour déterminer les différentes unités. Certaines parties de la ville sont particulièrement sensibles soit par leur situation par rapport aux champs d'expansion des crues, soit parce qu'elles ne sont pas bien protégées par les ouvrages prévus à cet effet. Il convient d'opérer un repérage exhaustif de toutes ces zones critiques et d'y faire un état complet de l'occupation des sols (non pas statistique mais en plan) accompagné d'un zonage des pentes

Les champs d'expansion du fleuve autour de la ville de Saint Louis constituent des régulateurs naturels qu'il faut impérativement conserver et protéger. Ils font partie intégrante des périmètres inondés dont ils ne représentent évidemment qu'une fraction. Ces zones fonctionnent comme des réservoirs latéraux recevant l'eau progressivement à partir d'un certain niveau de débordement et la relâchant peu à peu à la décrue. L'eau s'y accumule sur des épaisseurs variant de quelques cm à plus de 1 m (et parfois beaucoup plus).

2 – 5 Mise en place des plans de prévention des risques (PPR)

Les PPR doivent répondre du principe de précaution et celui de la correction des aléas à la source. Les PPR viseront à réduire la vulnérabilité dans l'avenir, à diminuer le coût global des catastrophes naturelles et à limiter tout ce qui peut aggraver les risques (comme par exemple l'urbanisation des champs d'expansion). Rappelons qu'ils doivent être complétés par des plans d'exposition aux risques (PER) et des plans de surfaces submersibles (PSS) qui puissent suivre les évolutions urbaines et hydrologiques. Ces différents plans auront pour objectif de délimiter les

zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou de prescriptions. La gestion du bassin fluvial dans la zone estuarienne et l'optimisation de l'occupation des sols autour de la ville sont des outils importants de prévention. La préservation des champs de divagation du fleuve et des milieux naturels annexes contribuera ainsi à la prévention des risques.

2 – 6 Mise en place d'un réseau d'assainissement viable

La ville de Saint Louis devrait être dotée d'un réseau d'assainissement de bonne qualité afin que toutes les eaux pluviales stagnantes puissent circuler de manière satisfaisante. Tous les nouveaux quartiers doivent être branchés sur le réseau d'égout. Il faut surtout procéder à une collecte régulière des ordures pour éviter que des déversements anarchiques s'opèrent sur les berges du petit bras.

Les moyens de protection contre les inondations doivent être renforcés et complétés par d'autres mesures beaucoup plus efficaces. Les mesures à prendre doivent non seulement être axées sur la ville elle-même mais aussi à l'ensemble de la zone estuarienne car les inondations de Saint Louis sont la résultante d'une évolution générale qui caractérise toute la zone située en aval du barrage de Diama.

CONCLUSION

La réflexion menée dans le cadre de cette étude a permis de mettre en évidence deux données essentielles pour la compréhension des inondations de la ville de Saint Louis :

- le relèvement des niveaux d'eau dans l'estuaire du fleuve Sénégal
- le comblement de l'embouchure.

Le traitement des données hydrologiques a parfaitement démontré qu'il y avait une hausse des niveaux d'eau (maximums de crue) aux stations de Saint Louis et de Diama aval contrairement à une diminution de ceux-ci dans la basse vallée (Station de Podor). Cette évolution en cours dans l'estuaire semble être liée aux éventuelles modifications morfo-sédimentaires au niveau de l'embouchure où les travaux de bathymétrie ont révélé une diminution des profondeurs et une réduction des largeurs de la section mouillée du bief fluvial. Un tel étranglement constitue un frein majeur à l'écoulement naturel des eaux fluviales vers la mer, ce qui contribue à piéger l'eau dans l'estuaire. Cependant, le probable ralentissement de l'écoulement des eaux dans l'embouchure devrait être confirmé par des études ultérieures sur les vitesses d'écoulement entre le barrage de Diama et l'embouchure. De telles études devront aussi intégrer l'influence de la marée sur les niveaux d'eaux de l'estuaire.

D'autres phénomènes tels que l'influence de la marée océanique et l'expansion spatiale de la ville qui a tendance à occuper les champs d'expansion du fleuve, viennent renforcer ceux que nous venons de citer, accentuant de ce fait les inondations de la ville. En effet, la marée océanique joue un rôle important dans l'évolution et dans la variation des niveaux d'eau entre l'embouchure et le barrage de Diama. Les différentes mesures de protection adoptées jusqu'à ce jour, ne se sont pas révélées efficaces, causes pour laquelle la ville est à chaque période de crue sous la menace d'une éventuelle inondation. Il est donc opportun de renforcer les structures de protection contre les inondations, mais surtout de mettre en œuvre des approches nouvelles en matière de protection et de prévention contre ce fléau. La recherche de solutions doit impérativement passer par une prise en charge globale de l'ensemble des paramètres hydrologiques, hydrodynamiques et même humains (aménagement et mode d'occupation spatiale) qui caractérisent l'évolution de l'estuaire. La nouvelle dynamique de celui-ci mérite sans nul doute une approche plus approfondie et basée sur une étude de modélisation des paramètres hydrodynamiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BA-DIARRA M.** (1988) - Hydrologie de l'estuaire du Sénégal : impact du barrage de Diama. In Rapport UESCO, Division des sciences de la mer; "Études et estuaires"
- BANCAL P.** (1923) - Les inondations au Sénégal. In Problèmes de l'eau au Sénégal, Bordeaux.
- BONNARDEL R.** (1992) - Saint Louis du Sénégal. Mort ou naissance. Ed; Harmattan, 1992
- CAMARA C.** (1965) - Saint Louis du Sénégal. Thèse de doctorat. IFAN.
- CECCHI P.** (1993) - Phytoplancton et conditions de milieu dans l'estuaire du fleuve Sénégal : effets du barrage de Diama. Travaux et documents microfichés, n°94, ORSTOM, Paris, 437 p.
- DIA F. et COURREGES G.** (1982) - Saint Louis du Sénégal. Clermond Ferrant, Ed. SOPREP
- DIACK A.** (2000) - Comment sauver Saint Louis du péril hydraulique. In Walfadjri du mardi 16 mai 2000
- DIAKHATE M.** (1988) - Ecodynamiques des milieux et effets d'impact potentiels du barrage de Diama dans le delta du fleuve Sénégal. Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université De Lyon II, 450 p.
- DIAGNE A. P.** (1998) - Cartographie et évolution de la mangrove de Saint Louis. Mémoire maîtrise, Section géographie, Université Gaston Berger, 127 p
- DIALLO A.** (en cours) - Ecosystèmes urbains : occupation des vasières périurbaines dans la commune de Saint Louis et ses conséquences. Mémoire de maîtrise, section géographie, Université Gaston Berger.
- Division régionale de L'hydraulique de Saint Louis** (2000) - Note sur les effets de la crue de 1999 sur la ville de Saint Louis. 3 p.
- Division régionale de l'urbanisme de Saint Louis** (1985) - Plan directeur pour la sauvegarde de l'île de Saint Louis, 25 p.
- Division régionale des travaux Publics de Saint Louis** (2000) - Note sur l'inondation du quartier de Khor Cabane à Saint Louis. 4 p.
- DUBOIS J.** (1955) : Les sols du delta du Sénégal. Bull. de la MAS, 77p.
- FALL D.** (1999) - Etude monographique d'un quartier périphérique de la ville de saint Louis : le cas de Médina Darou. Mémoire de Maîtrise section géographie, Université Gaston Berger, 79 p.
- FAYE A.** (1991) - Les écoulements du fleuve Sénégal à la station de Diama au cours de l'année hydrologique 1990. Mémoire de DEA géographie, UCAD, 61 p.

GAC J.Y.; KANE A. ; MONTEILLET J. (1982) - Migrations de l'embouchure du fleuve Sénégal depuis 1850. In Cahier ORSTOM, Série Géol., vol. XII, n°1, pp. 73-75

GARRY G. (1994) - Evolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France. Mappemonde, vol. 4, p.1016

Gouvernance de Saint Louis (2000) - Rapport sur les problèmes liés aux inondations dans la région de Saint Louis. 10 p.

GUILCHER A. (1954) - Morphologie littorale et sous marine. ORBIS, PUF 216 p

JOUANNEAU J.M. (1981) - The girond estuary. Contributions to sedimentology, n° 10, 118.p.

KANE A. (1993) - Evolution morphodynamique et suivi par télédétection de l'embouchure du fleuve Sénégal. Actes du colloque de Tunis sur le télédétection des ressources en eau. Tunis 21-24 septembre 1993.

KANE A.(1997) - L'après-barrages dans la vallée du fleuve Sénégal : Modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles. Thèse de doctorat d'Etat, Univ. Dakar, 551p.

KANE A. (1999) - Des inondations de plus en plus fréquentes malgré la baisse des maximums de crue. In Sud week-end du Samedi

KANE A. (1999) - Les crues à Saint Louis d'hier à d'aujourd'hui. Malgré deux siècles d'endiguement, tout est à refaire. In Sud week-end du Samedi 27 novembre 1999.

LAMAGAT J.P. (1989) - Modèles de propagation des crues du fleuve Sénégal. Prévision des débits de gestion des ouvrages communs de l'OMVS. 40p.

LAMAGAT J.P. (2000) - Inondation de la ville de saint Louis. Diagnostic. 12 p

NDIAYE MB. (1998) - Saint Louis : des dispositions face à la crue du fleuve. In le Soleil du mardi 15 septembre 1998

PRITCHARD D.W. (1955) - Estuarine circulation patterns. Proc. Am. Soc. Engin., New York, vol. 81, pp.1-11.

ROCHETTE C. (1974) - Monographie hydrologique du fleuve Sénégal

SALL M. (1982) - Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal occidental. Thèse de doctorat d'Etat, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 604 p.

SARR C. (2000) - Déséquilibres spatiaux et dysfonctionnements des aménagements dans l'urbanisation de la ville de Saint Louis. In Revue AFRISOR p. 59

SINOU A. (1993) - Comptoirs et villes coloniales du Sénégal : Gorée, Rufisque et Saint Louis.
Ed. Karthala - ORSTOM

THIEBAUX J.P. et al. (1992) - Variations des hauteurs d'eau du fleuve Sénégal de 1986 à 1992.
Projet CEE (EQUESEN), 84 p.

TRICART J. (1961) – Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal.
Mémoires du BRGM., n° 8, 139 p.

WADE C.S. et DIOP O. (2000) - La croissance urbaine et ses incidences géographiques sur
l'espace rural : le cas de la commune de Saint Louis et de la CR de Gandon. IN Revue AFRISOR,
p. 13

LISTE DES FIGURES ET DES CARTES

Figures

Figure 1 : Estuaire du fleuve Sénégal.....	11
Figure 2 : Variations des hauteurs d'eau à Saint Louis 1979-2000.....	28
Figure 3 : Variations des hauteurs d'eau à Diama Aval 1986-2000.....	29
Figure 4 : Régression entre Saint Louis et Diama Aval.....	30
Figure 5 : Variations des maximums de crue à Saint Louis 1950-2000.....	31
Figure 6 : Variations des hauteurs maximums de crue à Podor 1903-2000.....	34
Figure 7 : Comparaison des maximums de crue entre Saint Louis et Podor 1950-2000.....	35
Figure 8 : Eloignement de l'embouchure par rapport à la ville de Saint Louis 1858-2000.....	38
Figure 9 : Comparaison des profondeurs du bief fluvial entre 3 profils	42
Figure 10 : Variations de la largeur du bief fluvial entre le pont Faidherbe et l'embouchure.....	44
Figure 11 : Variations de la surface mouillée entre le PK 0 et L'embouchure.....	45

Cartes

Carte 1 : Situation de la ville de Saint Louis.....	14
Carte 2 : Evolution spatiale de la ville de Saint Louis de 1960 à 1994.....	21
Carte 3 : Les densités de la ville de Saint Louis.....	24
Carte 4 : Carte de l'estuaire et de l'embouchure du fleuve Sénégal.....	39
Carte 5 : Zones de faiblesse de la Langue de Barbarie.....	54

LISTE DES TABLEAUX ET DES PHOTOS

Tableaux

Tableau 1 : Extension de la Langue de Barbarie et positions de l'embouchure depuis 1658.....	37
Tableau 2 : Bathymétrie de l'estuaire du fleuve Sénégal le 27 juin 2000 de 8 h 30 à 14 h en marée descendante.....	40
Tableau 3 : Variations de la section mouillée entre le pont Faidherbe et l'embouchure.....	43

PHOTOS

Photo 1 : Inondation de la route de Khor en 1950.....	18
Photo 2 : Vue aérienne de la pointe nord de l'île lors de l'inondation de 1950 avec le bâtiment de l'hydraulique au premier plan.....	32
Photo 3 : L'enceinte du service de l'hydraulique (pointe nord) lors de l'inondation 1999.....	32
Photo 4 : Inondation de la pointe sud de l'île en 1950.....	33
Photo 5 : Inondation de la pointe sud de l'île (devant bâtiment CDRS) en 1999.....	33
Photo 6 : Rupture de la digue de Darou lors de l'inondation de 1999.....	47
Photo 7 : Une digue débordée par les eaux lors de l'inondation 1999.....	48

TABLE DES MATIERES

RESUME	1
MOTS CLES	1
AVANT- PROPOS	3
SOMMAIRE	4
INTRODUCTION	5
PROBLEMATIQUE	5
METHODOLOGIE	7
CHAPITRE 1 : APERCU SUR LE DOMAINE ESTUARIEEN DU FLEUVE SENEGAL ET PRESENTATION DE LA VILLE COTIERE DE SAINT LOUIS.....	9
A – APERCU SUR LE DOMAINE ESTUARIEEN.....	9
1 – LA DYNAMIQUE MARINE AU LARGE DE L'ESTUAIRE	12
2 – LA DYNAMIQUE FLUVIALE INERNE	12
B – PRESENTATION DE LA VILLE DE SAINT LOUIS.....	13
1 – LE SITE	14
2 – LA GEOMORPHOLOGIE DE LA VILLE	15
C – L'HISTORIQUE DES INONDATIONS A SAINT LOUIS	16
CHAPITRE 2– LES CAUSES DES INONDATIONS DE LA VILLE DE SAINT LOUIS..	20
A – LES CAUSES LIEES AUX DONNEES INTERNES DE LA VILLE.....	20
1 - LES CONTRAINTES PHYSIQUES DU SITE	20
2 - LA PROBLÉMATIQUE DU DRAINAGE URBAIN	22
3 – LES CONTRAINTES LIÉES À L'OCCUPATION SPATIALE	23
B – LES CAUSES LIEES A L'EVOLUTION HYDROLOGIQUE DE L'ESTUAIRE.....	25
1 – PRESENTATION DES DONNEES	25
1-1 Station de Saint Louis.....	25
1-2 Station de Diama Aval.....	26
1-3 Station de Podor.....	27
2 -LES HAUTEURS D'EAU DANS L'ESTUAIRE DU FLEUVE SENEGAL	27
2-1 Station de Saint Louis.....	27
2-2 Station de Diama Aval.....	28
3 – LES CRUES DANS L'ESTUAIRE ET DANS LA BASSE VALLEE.....	29
3-1 Les maximums de crue à Saint Louis (1950-2000).....	30
3-1 Les maximums de crue à Podor (1903-2000).....	34
4 - COMPARAISON DES COTES MAXIMALES DE CRUE A PODOR ET A SAINT LOUIS 1950-1999.....	35
C – LES CAUSES LIEES A L'EVOLUTION DE L'EMBOUCHURE.....	36
1 – EVOLUTION DES POSITIONS DE L'EMBOUCHURE	36
2– LA BATHYMETRIE DANS L'ESTUAIRE	40
2-1 Les profondeurs du bief fluvial entre Saint louis et l'embouchure.....	41
2 – 2 : La largeur du bief fluvial entre Saint Louis et l'embouchure	43

CHAPITRE 3 : LES MESURES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS A SAINT LOUIS ET LES RECOMANDATIONS.....	46
A – LES MESURES STURCTURALES	47
1 – LES DIGUES DE PROTECTION	47
2 – LES STATIONS DE POMPAGE ET LES BASSINS DE RETENTION	49
B – LES MESURES NON STRUCTURALES.....	50
C – LES RECOMMANDATIONS	51
1 – RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'ESTUAIRE	51
1-1 Le réaménagement du lit fluvial.....	51
1-2 La régularisation du débit.....	51
1-3 Le dragage de l'embouchure.....	53
2 – LES RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA VILLE DE SAINT LOUIS	55
2-1 La réhabilitation des digues-routes et le rehaussement des quais.....	55
2-2 La construction sur remblai.....	55
2-3 La construction sur piliers, pieux, colonnes et murs porteurs.....	56
2-4 Repérage et description des zones critiques autour de la ville.....	56
2-5 Mise en place de plans de prévention des risques d'inondation (PPR).....	56
2-6 Mise en place d'un réseau d'assainissement viable.....	57
CONCUSION	58
Bibliographie.....	59
LISTE DES FIGURES ET DES CARTES.....	62
LISTE DES TABLEAUX ET DES PHOTOS.....	63
TABLE DES MATIERES.....	64