

THESE

Présentée

A L'UNIVERSITE DU MAINE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR de l'UNIVERSITE DU MAINE

Discipline : Géographie

Par

Moussa SALL

**Crue et élévation du niveau marin à Saint-Louis du Sénégal :
impacts potentiels et mesures d'adaptation**

Soutenue publiquement le 08 juillet 2006



MEMBRES DU JURY

M. Bigot Sylvain
Mme Corbonnois Jeannine
Mme Djellouli Yamina
M. Moguedet Gérard

Professeur, Université de Grenoble
Professeur, Université du Maine, Le Mans
Professeur, Université du Maine, Le Mans
Professeur, Université d'Angers

Rapporteur
Présidente
Directrice
Rapporteur

SOMMAIRE

Résumé	4
Summary	4
Dédicace	5
Remerciements	6
Introduction générale	8
<i>Le climat change à l'échelle mondiale</i>	8
<i>La situation en Afrique</i>	9
<i>Le delta du fleuve Sénégal : un site vulnérable</i>	11
<i>Méthodes et Outils d'analyse</i>	13
Première partie	16
Le delta du fleuve Sénégal : le contexte biophysique et socio-économique	16
les variations des conditions climatiques à l'échelle du bassin	16
I. Caractéristiques de la zone d'étude	18
<i>Le delta, partie intégrante d'un bassin versant hétérogène</i>	18
<i>L'hydrographie du bassin supérieur joue un rôle majeur dans les flux à l'aval</i>	22
<i>Un réseau hydrographique dense dans le delta, essentiel dans le contrôle des flux</i>	24
1. Les conditions du milieu naturel	28
1.1. Le cadre géologique et géomorphologique	29
1.2. Les eaux souterraines	37
1.3. La nature des sols	40
1.4. La végétation et la faune	43
2. Le contexte socio-économique	53
2.1. Les aspects démographiques	53
2.2. Les activités économiques	59
II. La présentation des données	62
III. Les conditions climatiques à l'échelle du bassin du fleuve Sénégal	65
<i>Un système de collecte de données climatiques de plus en plus efficace</i>	66
<i>Trois grands domaines climatiques dans le bassin du fleuve Sénégal</i>	67
1. La pluviométrie	68
2. Les températures	77
3. La durée d'insolation	80
4. Les vents	82
5. L'évaporation	84
Conclusion de la première partie	85
Deuxième partie	87
Le système hydrologique du delta – les variations saisonnières du niveau des eaux marines et fluviales – localisation des zones d'inondation	87
I. Le système hydrologique naturel	88
1. La dynamique marine	88
1.1. Les courants marins	89
1.2. La marée océanique	91
1.3. Les courants de flot et de jusant	92
1.4. Les upwellings	92
1.5. La dérive littorale	93
1.6. Les houles	94
1.6.1. Les houles de direction Nord-Ouest	94
1.6.2. Les houles de direction Sud-Ouest	94
1.6.3. Les vagues d'origine locale ou « mers du vent »	95
2. Les variations du niveau marin sur le littoral ouest africain et à l'échelle du delta	96
2.1. Les variations saisonnières	97
2.2. Les variations interannuelles	100
3. La dynamique fluviale	102
3.1. La marée fluviale	103
3.2. Les apports de sédiments continentaux	103
3.3. Le système fleuve-lac de Guiers	106
3.4. Le système d'alimentation en eau des cuvettes	109
3.4.1. Le Djoudj	109
3.4.2. Le Ndial	112
3.5. Les échanges fleuve-nappe	114
II. L'artificialisation du système	118
1. L'évolution du processus	119
1.1. Les premières tentatives	119
1.2. Les réalisations plus récentes	120
2. Les impacts du système hydrologique artificialisé	130
2.1. Les impacts sur les cuvettes	130

2.2. Les autres impacts	135
III. Les apports en eau du haut bassin	137
1. Les flux à Bakel	139
2. Les flux à Dagana, l'entrée du delta	143
IV. Les variations saisonnières des niveaux d'eau dans le delta	146
1. La période des hautes eaux	147
2. La période des basses eaux	161
V. La localisation des zones d'inondation dans le delta	165
1. Le traitement des images satellites	166
2. Les résultats	167
Troisième partie.....	176
Scénarios d'élévation du niveau des eaux : impacts potentiels sur la ville de Saint-Louis - mesures d'adaptation	176
I. Les scénarios d'élévation du niveau des eaux	177
1. L'élévation du niveau de la mer : les prévisions des modèles	177
2. Analyse fréquentielle des hauteurs d'eau du fleuve à Saint-Louis	181
2.1. Hypothèse	181
2.2. La fréquence de dépassement de la cote d'alerte à Saint-Louis	185
2.3. Les crues décennale et centennale à Saint-Louis	189
II. Les impacts potentiels de l'élévation du niveau des eaux à Saint-Louis.....	191
1. La commune de Saint-Louis, un site à risque	191
2. Les mesures d'adaptation en cours	197
2.1. Les mesures d'urgence	199
2.2. Le plan directeur d'assainissement des eaux pluviales	200
2.2.1. Horizon 2000	200
2.2.2. Horizon 2010	201
2.2.3. Horizon 2020	202
2.3. Le plan directeur d'assainissement des eaux usées (horizon 2020)	202
2.4. Le canal de délestage	207
3. Les impacts de différents scénarios d'élévation du niveau des eaux	209
3.1. Démarche	209
3.2. Les impacts dans le scénario actuel	211
3.2.1. Sans les ouvrages de protection	211
3.2.2. Avec les ouvrages de protection	220
3.3. Les impacts dans le pronostic bas	228
3.3.1. Sans les ouvrages de protection	228
3.3.2. Avec les ouvrages de protection	235
3.4. Les impacts dans le pronostic moyen	242
3.4.1. Sans les ouvrages de protection	242
3.4.2. Avec les ouvrages de protection	249
3.5. Les impacts dans le pronostic élevé	255
3.5.1. Sans les ouvrages de protection	255
3.5.2. Avec les ouvrages de protection	262
3.6. La sensibilité des différents quartiers à la montée des eaux	268
3.7. Les impacts des inondations sur les équipements de la commune	274
3.8. Le risque d'inondation des différents quartiers	281
4. Mesures d'atténuation des impacts liés aux inondations	284
III. Les mesures additionnelles proposées.....	287
1. Le renforcement des mesures d'urgence et des plans directeurs d'assainissement (court terme)	287
2. Le développement des études et de la recherche (moyen terme)	288
3. L'intégration de la stratégie du recul (long terme)	289
Conclusion de la troisième partie	291
Conclusion générale	294
Références bibliographiques	301
ANNEXES	312
Liste des figures	328
Liste des tableaux	330
Liste des photos	331
Sigles	332

Résumé

Le delta du fleuve Sénégal est une zone basse sous l'influence des flux marins de l'Océan Atlantique et continentaux du fleuve. Pendant la saison des pluies, les crues annuelles du fleuve, d'ampleur variable selon la pluviométrie enregistrée dans le haut bassin, se conjuguent à l'élévation saisonnière du niveau marin provoquée par l'arrivée des eaux tropicales chaudes et par la mousson qui a tendance à accumuler les eaux sur la côte. D'ici à 2100, le niveau marin devrait s'élever suite au réchauffement global de la planète lié aux changements climatiques. L'artificialisation des flux, en particulier la construction des digues, préserve assez bien les zones basses du delta de la montée des eaux. Par contre, l'édification du barrage de Diama, n'a aucun effet de protection de la ville de Saint-Louis contre les inondations. Ainsi, la cote d'alerte à Saint-Louis a 34% de chance d'être dépassée chaque année et est périodiquement atteinte tous les trois ans. Mais les niveaux d'eau n'expliquent pas, seuls, les inondations de la ville; ces dernières sont associées à une stagnation prolongée des eaux dans l'estuaire, autrement dit à une faible vitesse d'évacuation de la crue. Or, l'absence de dragage du fleuve, l'allongement progressif de la Langue de Barbarie (provocant une augmentation du temps de transit des eaux vers l'embouchure), l'élévation du niveau marin, ont concouru à renforcer ce phénomène. Divers pronostics des niveaux de montée des eaux, basés sur la cote d'alerte, les crues décennale et centennale à Saint-Louis, ainsi que sur les prévisions d'élévation du niveau de la mer d'ici à 2100, entraînent des impacts d'intensités variables sur la commune de Saint-Louis.

Mots clés : delta, fleuve Sénégal, Océan Atlantique, crue, niveau marin, altitude, impacts, climat, modèles, inondations.

Summary

Senegal river delta is a low area under Atlantic Ocean and Senegal river influences. During the rainy season, the annual river flow, depending to the rainfall in the upper watershed, is combined to the seasonal sea level rise due to the tropical water flow and the monsoon which accumulate water on the coast. From now to 2 100, sea level will increase because of global temperature rise linked to climate change. Human interventions, like dikes, protect the delta's low areas from flood. Nevertheless, the Diama's dam can't protect Saint-Louis town against flood. Then emergency level has a probability of 34% to occur by year in Saint-Louis and will happen every three years. But water level does not explain all. The duration of water stagnation or the slow evacuation of flow is important too. Then, no dredges, lengthening of "Langue de Barbarie" and sea level rise have increased this phenomenon.

Different scenarios of water level based on Senegal river flows at Saint-Louis and sea level rise forecast, carry away impacts with various intensities in Saint-Louis town.

Keywords: delta, Senegal river, Atlantic Ocean, flow, sea level, altitude, impacts, climate, models, flood

Dédicace

A toi, Papa

Tes enfants et petits enfants garderont toujours en mémoire les vertus que tu as véhiculées durant toute ton existence : Générosité, Simplicité, Courage.

Puisse Dieu, le Tout Puissant, t'accueillir pour l'éternité dans Son Paradis.

Repose en paix.

Remerciements

Je dirai tout simplement merci à vous tous qui avez contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail, en espérant que ce mot puisse traduire toute la gratitude que je ressens à votre endroit.

Sincèrement merci :

- au Professeur Yamina Djellouli d'avoir accepté de nous accueillir quatre mois par an pendant trois ans dans le laboratoire GREGUM ESO-UMR 6590 de l'Université du Maine ; votre disponibilité et votre sens des relations nous ont été très utiles ; vous avez dirigé ce travail avec rigueur et efficacité;
- au Dr. Isabelle Niang Diop de nous avoir aidé à vaincre nos hésitations à entamer cette thèse ; vos conseils et votre disponibilité, nous ont été très précieux ; vous avez été à la base de ce sujet ;
- au Professeur Jeannine Corbonnois pour votre apport considérable sur les aspects liés à l'hydrologie et à l'organisation du rapport ;
- aux Professeurs Gérard Moguedet et Sylvain Bigot d'avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse ;
- à Start Padcom Fellowship program d'avoir accepté de financer les activités liées à cette thèse, au Sénégal ; à cet effet, je voudrais remercier Mme Amy Freise et Mme Patricia Sipher qui ont efficacement aidé à la mise en place de ce budget ;
- à la Coopération française d'avoir financé (sur proposition du Ministère de l'Environnement du Sénégal) trois séjours de quatre mois par an à l'Université du Maine, en France, qui ont été très utiles à ce travail ; j'en profite pour remercier Mme Catherine Legros de l'Egide à Nantes qui a géré mes différents séjours au Mans avec dévouement, patience et efficacité ;
- au Directeur Général du Centre de Suivi Ecologique (CSE), M. Amadou Moctar Niang, de nous avoir accordé votre confiance et d'avoir surtout développé une stratégie d'accompagnement des initiatives du personnel ;
- au Dr. Assize Touré, directeur technique du CSE ; vous nous avez tout simplement poussé à faire cette thèse ; vos conseils d'aîné, votre soutien constant nous ont permis de garder le moral et d'aller au bout de ce travail ;
- au Directeur administratif et financier du CSE, M. Ndiapaly Ndiaye pour votre appui dans la gestion du budget ;
- à vous, mes collègues du CSE ; vous m'avez aidé, soutenu et encouragé à faire ce travail ; je suis conscient et reconnaissant de l'effort supplémentaire que vous avez tous fait pour combler mes absences ;
- au Dr. François Laurent pour m'avoir permis de me familiariser au langage et à la technique de la statistique appliquée à l'hydrologie ; merci également pour ta disponibilité et ton amitié ;
- au Dr. Moïse Mtsayem, pour l'amitié et la fraternité que tu m'as toujours témoignées ;
- au Dr. Vincent Andreu-Boussut, pour avoir accepté de lire et de critiquer cette thèse ;
- à Alain Trébouet, responsable SIG au GREGUM pour ton appui de taille dans la réalisation du Modèle Numérique de Terrain ;

- à Sébastien Angonnet, cartographe au laboratoire GREGUM pour ton apport considérable à l'amélioration des cartes et figures de cette thèse ;
- à Ibrahima Diop, chef du Service Régional de l'Hydraulique à Saint-Louis ; vous avez mis à notre disposition les données hydrologiques nécessaires à ce travail ; votre grande expérience sur la problématique nous a été d'un grand apport ; j'associe à ces remerciements votre collaborateur, M. Diagne ;
- à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Sénégal qui a mis à notre disposition les données climatiques nécessaires ; nous pensons particulièrement à nos collègues Mamadou Ndiaye, Bamar Diagne, Ibrahima Ndiaye et Massaly qui ont montré une grande disponibilité ;
- à Souleymane Diop, chef du service régional de l'ONAS à Saint-Louis ainsi que toute votre équipe pour votre grande disponibilité ; vous nous avez fait bénéficier de votre grande connaissance des problèmes d'assainissement de la ville de Saint-Louis ;
- à Cheikh Mbacké Guèye, directeur du centre régional de documentation de l'OMVS à Saint-Louis ainsi que votre équipe ; votre disponibilité a été constante et vous nous avez mis à l'aise à chacune des nombreuses visites que nous avons effectuées au sein de votre structure ;
- aux professeurs Mary Teuw Niane et Abdou Sène du département de Mathématiques de l'Université Gaston Berger de Saint-Louis ; vous avez accepté d'échanger avec nous sur vos activités de recherche dans l'estuaire du Sénégal ;
- à M. Bâ et M. Dione du Service Régional de l'urbanisme à Saint-Louis ;
- à Ali Sall de l'Agence de Développement Communal (ADC) de Saint-Louis et ses collègues ; pour votre chaleureux accueil et votre grande disponibilité ;
- aux agents de la SAED, Bousso, Abdou Mbodj, Landing Mané ; c'était utile de vous rencontrer à chacun de mes déplacements à Saint-Louis ;
- à vous les doctorants du département de géologie de l'UCAD : Fall, Bathy Dabo, Coumba Sy, Kader ; je vous ai côtoyé pendant ces dernières années et partagé avec vous des moments exaltants au département ou sur le terrain ;
- à vous les doctorants du GREGUM : Stéphanie, Marie-Bénédicte, Isabelle, Nafissa, Christian, Thiero Diallo ; vous m'avez tous témoigné votre affection et vos encouragements m'ont permis de surmonter les moments de doute ;
- aux ex doctorants du GREGUM : El Hadj Bâ et Mounir pour votre amitié ;
- à Brigitte et Béatrice du secrétariat du GREGUM pour votre constante disponibilité ;
- à toi, Djiby pour m'avoir soutenu pendant mes séjours au Mans ;
- à toi, Jean Charles Plessis, pour ton amitié ;
- à toi, Bithy, mon épouse ; tu as compris et accompagné cette initiative et tu t'es parfaitement occupée de tout, plus que d'habitude ;
- à ma famille, mes frères et sœurs ; vous m'avez moins senti près de vous que d'ordinaire mais vous avez efficacement comblé cette lacune ;
- à vous, mes enfants ; vous avez patienté le temps qu'il fallait en supportant courageusement mes absences.

J'ai certainement omis inconsciemment certains d'entre vous ; veuillez bien m'en excuser.

Introduction générale

L’élévation du niveau des mers est l’une des principales conséquences du réchauffement global de la planète qui s’accentue de plus en plus depuis le siècle dernier. Les zones côtières, qui sont les plus peuplées du monde et qui polarisent souvent des activités économiques importantes, sont ainsi très menacées. Les pays les plus avancés sur le plan économique et technologique, ont déjà développé un minimum de systèmes d’alerte, de suivi et de protection de leurs zones côtières.

En France, la loi du 02 février 1995 relative au renforcement de la protection de l’environnement, a institué l’élaboration de Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR) au niveau communal (Miossec, 2000). Ainsi, en ce qui concerne le littoral, des cartes de risques sont élaborées en fonction des conditions extrêmes des aléas et de leur probabilité d’occurrence. Au Royaume Uni, dans les années 1990, une stratégie de planification et de gestion des rivages est mise en place (De La Vega-Leinert et al., 2000). Elle comprend des documents stratégiques d’usage du trait de côte (Shoreline Management Plans). D’autres documents stratégiques prennent en charge l’élaboration de plans de gestion de la zone côtière et des estuaires ; ces plans incluent l’établissement de systèmes d’alerte ainsi que des dispositifs de défense et des mesures de restriction des aménagements dans les zones inondables ou sensibles à l’érosion.

Le climat change à l'échelle mondiale

Les travaux du Groupe Intergouvernemental d’Experts sur les Changements Climatiques (GIEC), entre autres, entamés depuis le début des années 1990 ont prouvé les changements intervenus et à venir du climat de notre planète. Il ressort qu’à côté des modifications naturelles qui se déroulent généralement à un rythme lent, les variations induites par les activités de l’homme se font à une vitesse beaucoup plus rapide. Ainsi, au cours de ces dernières décennies, la teneur de l’atmosphère en CO₂ est passée de 270 ppm à près de 370 ppm tandis que celle du méthane a plus que doublé (Le Treut, 2000).

A la fin du 19^{ème} siècle, les rejets de CO₂ issus de la combustion de l’énergie fossile étaient insignifiants ; en 1920, ils atteignent 3,6 Gt de CO₂/an, puis 18 GT de CO₂/an en 1970 soit 13 kg de CO₂/habitant/jour (Berger, 1992). Les modèles prévoient une concentration de CO₂ qui va atteindre 400 à 800 ppm d’ici à la fin du 21^{ème} siècle.

La rapidité de l'augmentation des concentrations de CO₂ et des autres gaz à effet de serre dépasse largement la capacité d'adaptation ou de réajustement de la nature.

La température moyenne à la surface du globe a augmenté de 0,6° C (+/- 0,2° C) depuis la fin du 19^{ème} siècle (GIEC, 2001). Selon les travaux de ces auteurs, la décennie 1990-2000 est la plus chaude depuis 1861, avec un pic de chaleur atteint en 1998. Depuis la fin du 19^{ème} siècle, des hausses de température d'environ 0,15° C par décennie ont été observées, en particulier entre 1910 et 1945 et à partir de 1976. Les gaz à effet de serre provoqueraient à eux seuls un réchauffement de 1 à 1,5° C d'ici à 2 035 et de 1,6 à 3° C d'ici à 2 050 (Berger, 1992). Le réchauffement intense noté dans les hautes latitudes, entraîne la fonte des glaciers continentaux : Groenland et Antarctique. Ceci, associé à l'expansion des eaux océaniques, a entraîné, en tenant compte des phénomènes tectoniques locaux, une élévation de 10 à 20 cm du niveau des mers, au cours des 100 dernières années (Berger, 1992).

Les données fournies par les marégraphes les plus anciens (2 ou 3 siècles) montrent que le niveau moyen des mers s'est élevé de 1 à 2 mm/an. Le taux moyen d'élévation du niveau des eaux marines a été plus fort pendant le 20^{ème} siècle qu'au courant du 19^{ème} siècle. Les résultats des modèles qui prennent simultanément en compte l'ensemble des 35 scénarios développés dans le rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émissions (SRES), prévoient une élévation moyenne du niveau de la mer de 0,09 à 0,88 m entre 1990 et 2 100. Mais ces mêmes modèles, en considérant séparément ces scénarios, donnent une fourchette allant de 0,11 à 0,77 m, qui reflète ainsi l'incertitude liée à la modélisation (GIEC, 2001). C'est d'ailleurs cette dernière fourchette que nous utiliserons dans ce travail afin de mieux tenir compte de ce facteur. Un niveau intermédiaire de 0,5 m est également considéré.

La situation en Afrique

Dans les pays en développement, en Afrique et au Sénégal en particulier, malgré l'existence de textes réglementaires sur le domaine public maritime (code de l'environnement élaboré en 2001), les plans d'urbanisation (plans directeurs d'urbanisation), d'occupation/utilisation de l'espace urbain et rural (plans locaux de développement), d'aménagement du territoire, la situation reste difficile, principalement par défaut d'application stricte de ces mesures préventives.

Le littoral du continent africain comprend une étroite zone basse composée de divers écosystèmes (cordons, lagunes, deltas, mangroves...) qui peuvent s'étendre de quelques centaines de mètres (région de la mer rouge) à plus de 100 km comme les deltas du Niger (fleuve le plus important d'Afrique de l'ouest) et du Nil (le plus long fleuve du monde). C'est

sur la côte que la population est également concentrée : au Nigéria par exemple, environ 20 millions d'habitants (soit 22,6% de la population nationale) vivent sur la côte ; selon GIEC (2001), la situation est préoccupante dans ce pays où plus de 70% du littoral serait affecté par les inondations du fait de l'élévation du niveau de la mer. En même temps, à la vitesse d'érosion actuelle, 250 km² de terre seraient perdus d'ici à l'an 2 100. Une élévation d'un mètre du niveau de la mer sur la côte médiolittorale qui compte beaucoup de champs de pétrole, provoquerait une perte de plus de \$US 18 milliards.

En Egypte, plusieurs études montrent qu'une bonne partie de la frange nord du delta du Nil va disparaître sous l'effet combiné des inondations et de l'érosion, engendrant, entre autres, une perte de terres agricoles ; les plages de Gleam et de Chatby devront disparaître même avec une élévation de 0,5 m du niveau de la mer, occasionnant ainsi une perte d'installations et de recettes touristiques, évaluées à plus de \$US 32,5 milliards. En Gambie, avec une élévation d'un mètre du niveau de la mer, Banjul la capitale devrait disparaître au cours des 50 à 60 prochaines années si aucune mesure n'est prise. L'évaluation partielle des pertes encourues s'élève environ à \$US 217 millions. En Tanzanie, l'élévation du niveau de la mer de 0,5 à 1 m par siècle provoquerait l'inondation respectivement de 2 090 et 2 117 km² de terres. Les pertes qui y sont afférentes s'élèveraient de 50 à 86 milliards de shillings tanzaniens (GIEC, 2001).

Au Sénégal, près de 4,5 millions d'habitants (soit 66,6% de la population nationale) sont localisés dans la région côtière de Dakar qui capitalise presque 90% des industries. Dans ce pays, une élévation d'un mètre du niveau de la mer, entraînerait l'inondation et l'érosion de plus de 6 000 km² de terres concernant essentiellement des milieux humides (Dennis *et al.*, 1995). En même temps, cela provoquerait la destruction de bâtiments dont la valeur se chiffre au moins entre \$US 499 et 707 millions, dont 20 à 30% correspondrait à des installations touristiques. Au niveau du delta du fleuve Sénégal, l'histoire de la ville côtière de Saint-Louis est marquée par des inondations récurrentes, notamment pendant la période d'abondance hydrologique d'avant 1970; mais ce phénomène a connu une recrudescence au cours de ces dernières années notamment en 1994, 1998 et 1999. Ces événements ont d'ailleurs montré la faiblesse des moyens d'actions publiques : les réponses proposées aux populations affectées ne sont pas à la hauteur de leur désarroi, d'autant plus qu'une fois la catastrophe déclenchée, l'intervention devient délicate et couteuse.

De ce fait, le meilleur moyen de protection réside certainement dans la prévision, à partir d'une analyse poussée des différentes données historiques liées à l'hydrodynamisme et au climat. La recherche, entre autres, peut constituer dans ce domaine un atout considérable ;

cependant, elle devrait pouvoir s'appuyer sur une bonne base de collaboration étroite entre les différents acteurs et les décideurs. Mais dans tous les cas, l'application rigoureuse des textes réglementaires en la matière, reste une condition incontournable pour la préservation du littoral.

C'est dans ce contexte que ce travail tente de contribuer à la recherche de solutions, entamée depuis plusieurs années déjà par les différents pouvoirs publics, pour la préservation du littoral sénégalais en général et du delta du fleuve Sénegal en particulier.

Le delta du fleuve Sénegal : un site vulnérable

Le delta est une zone basse en contact avec l'Océan Atlantique, le fleuve Sénegal et de nombreux marigots défluents du fleuve Sénegal. Il est essentiellement constitué d'une plaine alluviale basse dont l'altitude est voisine du niveau zéro de la mer. En moyenne, l'altitude dans la zone ne dépasse pas 1 ou 2 m. A l'intérieur même de la ville côtière de Saint-Louis, certains points sont en dessous du niveau marin. Seules quelques levées alluviales post nouakchottiniennes, localisées le long du fleuve et de ses défluents, atteignent en moyenne une altitude de 10 m ; il en est de même, des ensembles dunaires situés à l'ouest et au sud-ouest, qui peuvent atteindre 8 à 10 m de haut.

Le delta recèle d'une forte biodiversité, avec entre autres, le parc national du Djoudj, les réserves de faune du Ndial et de Gueumbeul ainsi que les écosystèmes humides des trois marigots. En outre, d'importants efforts économiques et technologiques ont été déployés pour développer la culture irriguée du riz avec la Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta (SAED) et l'agro-industrie avec la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) et la Société des Conserves Alimentaires du Sénégal (SOCAS). Il compte également des agglomérations importantes comme Saint-Louis, Ross-Béthio, Rosso, Richard-Toll et Dagana. Le maraîchage y est aussi une activité économique essentielle, en particulier dans sa partie sud-ouest, le Gadiolais. De ce fait, le delta polarise des enjeux environnementaux, économiques et sociaux majeurs et mérite d'être protégé par rapport à l'élévation du niveau des eaux. Or, la zone est sous l'influence constante des variations du niveau des eaux du fleuve Sénegal, des marigots défluents et de l'Océan Atlantique. Cette situation fait que les débordements des eaux du fleuve ont engendré, de tout temps, l'inondation des localités côtières et l'érosion de la côte comme en témoignent les nombreuses ruptures du cordon littoral de la Langue de Barbarie (Dia, 2000 ; Ba, 2004).

A cela s'ajoutent la nature plus ou moins argileuse des terrains et la proximité de la nappe phréatique (1 à 3 m) qui favorisent la stagnation prolongée des eaux de pluies dans les parties

les plus basses de la zone d'étude notamment dans la ville de Saint-Louis. Ces zones sont néanmoins urbanisées pour satisfaire la demande croissante de terre, surtout avec l'arrivée massive des populations rurales au cours des années de sécheresse qui ont sévit dans le Sahel (Direction de l'Urbanisme et de l'Architecture, 2003). En vue de sécuriser ces zones, différents travaux de canalisation des eaux pluviales, de mise en place de stations de pompage, de rehaussement des quais, de constructions de digues protectrices, ont été entrepris depuis les inondations intervenues en 1994 dans la commune de Saint-Louis.

Mais le risque existe encore. Il peut même être accru par l'élévation prévue du niveau de la mer liée aux changements climatiques. C'est pourquoi nous envisageons de déterminer, à partir de différents scénarios de montée combinée des eaux du fleuve Sénégal et de l'Océan Atlantique, les superficies qui risquent d'être inondées dans chaque quartier, le nombre de concessions affectées, le nombre de personnes sinistrées ainsi que les impacts liés à l'inondation des infrastructures et équipements dans la commune. Pour ce faire, nous comptons baser nos analyses sur la cote d'alerte (140 cm IGN) et sur les hauteurs de crue décennale et centennale à Saint-Louis. Ces hauteurs d'eau seront combinées aux scénarios d'élévation du niveau de la mer d'ici à 2100, pour déterminer les valeurs critiques à appliquer au Modèle Numérique de Terrain sur Saint-Louis.

Il convient néanmoins de distinguer deux périodes :

- la période d'avant les aménagements hydrauliques et hydro-agricoles (essentiellement avant 1960) qui correspond au fonctionnement naturel du système hydrologique ; à cette époque, les eaux de crue inondaient toute la plaine alluviale en hivernage et se retirait progressivement en saison sèche, abandonnant des terres propices à la culture de décrue ou constituant d'excellents parcours pour le bétail ; cette période correspond également à des conditions pluviométriques plus favorables et un écoulement plus important ;
- la période d'artificialisation du régime (après 1960 et surtout au début des années 1980) avec la mise en place des différents ouvrages hydrauliques (digues, vannes, stations de pompage, barrages) en vue de maîtriser les variations du niveau des eaux ; les digues de rive gauche et droite limitent la propagation des eaux de crue de part et d'autre du fleuve tandis que les barrages de Diamal et de Manantali régulent les débits et la cote du fleuve ; cette phase est superposée à un déficit pluviométrique persistant et un écoulement plus faible.

Il s'en est suivi une restriction du lit majeur du fleuve ainsi qu'un déficit de submersion des cuvettes qui menace fortement la diversité biologique du site. Dans ce contexte, quelles sont

les zones du delta les plus exposées à la montée des eaux ? Quel est le niveau du risque en fonction de la topographie et de la densité de population ? A cet effet, il existe un réel besoin de cartographie des zones à risque par rapport aux inondations. Mais à ce niveau, la recherche est confrontée à un réel problème de données d'altitude fiables pour créer un Modèle Numérique de Terrain à l'échelle du delta. Les courbes de niveau disponibles sur les cartes topographiques au 1/50 000 ne fournissent pas une précision suffisante pour la zone tandis que les ortho photos au 1/10 000 réalisées par l'OMVS et dont nous avons pu disposer, ne couvrent qu'une partie de la commune de Saint-Louis. L'utilisation d'un GPS différentiel s'avère également nécessaire pour la réalisation de levées topographiques précises et relativement rapides.

Mais, en définitive, l'élaboration et la mise en œuvre d'un ensemble de mesures de corrections et/ou de prévisions des impacts induits par les inondations, reste, à long terme, un outil indispensable à l'atténuation ou à la résolution du problème.

Méthodes et Outils d'analyse

Ce travail a exploité la documentation de base sur les conditions physiques du bassin du fleuve Sénégal en général, très bien décrites par plusieurs auteurs comme Monod (1945), Blanchot (1956), Tricart (1961), Audibert (1970), Michel (1973), Rochette (1974) etc. Des travaux de recherches universitaires y ont été également menés avec Sow (1984), Kane (1985, 1997), Soumaré (1992), Diop (1992), Diagana (1994), Coly (1996), Dia (2000), Lappiere et al. (2003), Ba (2004), etc. De nombreuses données ont été également produites dans le cadre des activités de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS), de la SAED ou de l'Institut pour la Recherche et le Développement (IRD). Dennis et al. (1995) et Niang-Diop (1995) ont abordé la problématique de la vulnérabilité des côtes sénégalaises aux changements climatiques avec des éléments d'informations importants.

Des données historiques, de hauteurs d'eau et de débits, permettant une bonne compréhension des régimes hydrologiques naturels et artificiels du fleuve, ont été collectées par les autorités coloniales et les structures nationales responsables du secteur de l'hydraulique de 1960 à nos jours. De longues séries de données climatiques sont également disponibles sur la zone d'étude au niveau de la météorologie nationale. Nous tenterons de mettre en évidence la variation des conditions climatiques et hydrologiques dans le bassin du fleuve Sénégal, à travers l'exploitation de ces données.

Le traitement de deux images satellites Landsat ETM+ prises en des périodes hydrologiques différentes (hautes eaux 1999 et basses eaux 2002) nous permet d'identifier les principales

zones inondables, localisées essentiellement aux alentours de la commune de Saint-Louis. Cette restriction des zones d'inondation, relève de l'artificialisation du système hydrologique (digues, barrages) qui limite considérablement la submersion de la plaine alluviale pour les besoins de la culture irriguée. De ce fait, les localités côtières constituent les zones les plus vulnérables par rapport aux inondations ; en particulier la commune de Saint-Louis, la plus peuplée avec 174 017 habitants qui représentent 38% de la population de la zone d'étude. C'est pourquoi, finalement, nous concentrons les analyses des conséquences de la montée des eaux sur Saint-Louis. Ainsi, nous avons créé un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sur la commune, essentiel dans l'analyse des conséquences de la montée des eaux dans le secteur. Il est généré à partir des données d'altitude fournies par les ortho photos réalisées par l'OMVS en 1980. La cote d'alerte qui correspond au niveau du fleuve à partir duquel l'eau commence à déborder est connue : 1,40 m IGN. Les niveaux d'eau susceptibles de provoquer le débordement du fleuve dans la commune (crues décennales et centennales) sont déterminés par des méthodes statistiques à partir des données hydrologiques de base. Ces valeurs sont utilisées en l'état pour représenter la situation à l'état actuel. Ils sont ensuite associés à l'augmentation du niveau de la mer, déterminés par les Modèles de Circulation Générale Atmosphère Océan (MCGAO), pour créer un pronostic bas, moyen et élevé de montée des eaux dans le delta.

Enfin, les techniques d'analyses spatiales proposées par les différents logiciels du Système d'Information Géographique (SIG), permettent d'identifier les superficies inondées par quartier dans les différents scénarios de montée combinée des eaux du fleuve et de l'Océan ; sur cette base, le nombre de personnes affectées est évalué pour chaque cas de figure.

La première partie de ce travail présente les caractéristiques principales de la zone d'étude. Elle se focalise davantage sur le delta en abordant les conditions biophysiques et le contexte socio-économique ; mais l'hydrographie est traitée à l'échelle du bassin du fleuve Sénégal. Les données climatiques utilisées sont ensuite présentées et analysées à l'échelle du bassin, afin de cerner les fluctuations spatio-temporelles des facteurs qui régissent les flux d'eau.

La deuxième partie aborde le fonctionnement hydrologique du delta. Elle présente le système naturel à travers les facteurs qui déterminent la dynamique marine et fluviale, en opposition à l'artificialisation progressive du système contrôlé par l'homme et ses conséquences. Les variations saisonnières des niveaux d'eau dans la zone d'étude sont également abordées ainsi que les flux mesurés à Bakel dans le haut bassin et à Dagana à l'entrée du delta. La

cartographie diachronique de l'occupation/utilisation du sol, en période de hautes et de basses eaux, permet d'identifier les zones d'inondation dans le delta.

Enfin, la troisième partie aborde l'élévation du niveau marin à travers les prévisions des Modèles de Circulation Générale Atmosphère Océan (MCGAO) et présente les scénarios d'élévation du niveau des eaux dans le delta ainsi que leurs impacts sur la population de la commune de Saint-Louis. Pour ce faire, elle détermine d'abord les crues décennale et centennale du fleuve Sénégal à Saint-Louis, met en évidence la vulnérabilité de la ville par rapport à la montée des eaux et décrit les mesures d'adaptation en cours ; ensuite, elle détermine les superficies inondables dans les différents scénarios de montée des eaux ainsi que le nombre de personnes sinistrées par quartier. Enfin, cette troisième partie propose des mesures additionnelles de lutte contre les inondations de la ville de Saint-Louis à court, moyen et long terme.

Première partie

**Le delta du fleuve Sénégal : le contexte biophysique et socio-économique
les variations des conditions climatiques à l'échelle du bassin**

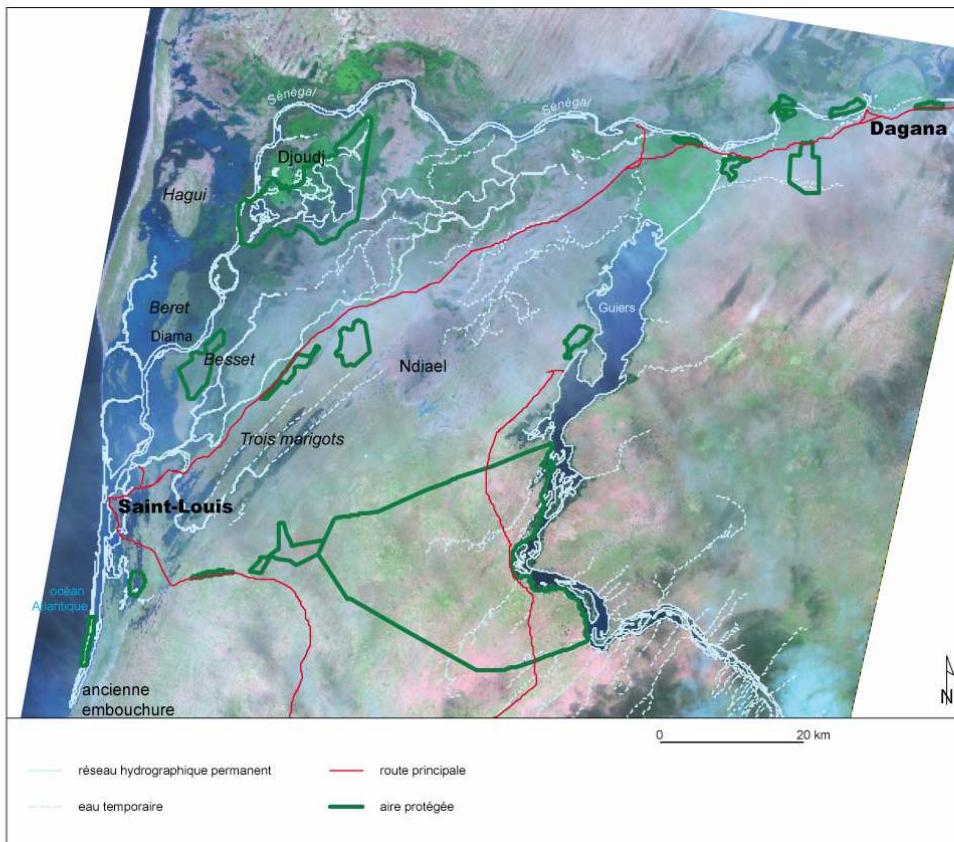
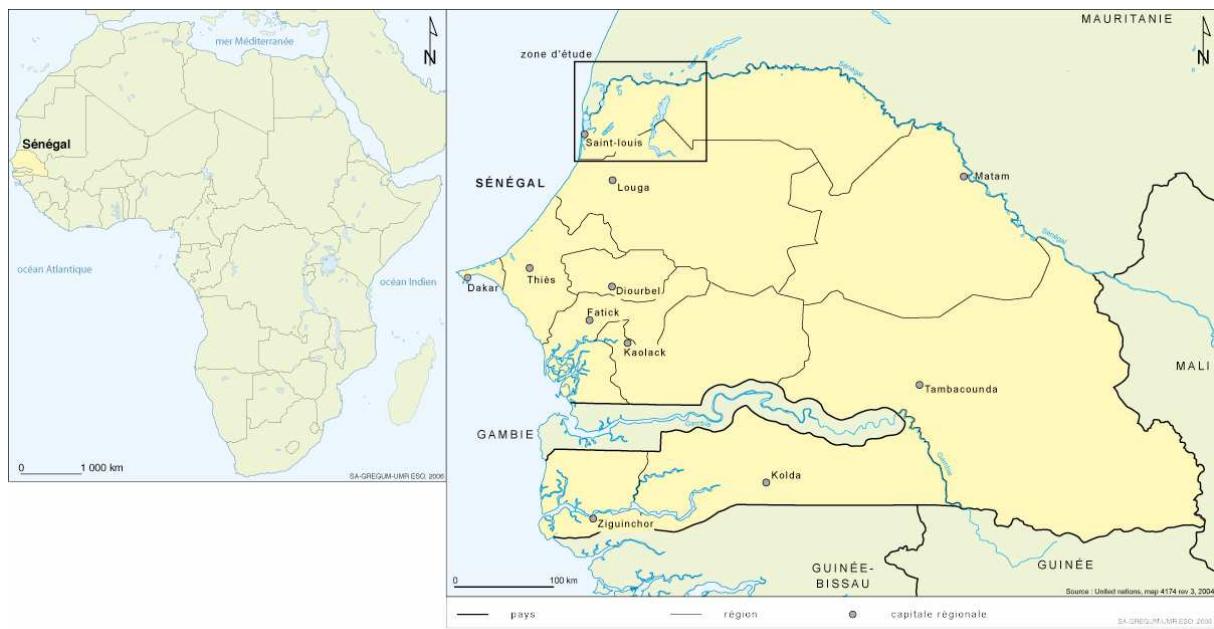


Figure 1 : Localisation et présentation de la zone d'étude

Source image Landsat ETM+ (Octobre, 1999) : Base de données du CSE

Le delta présente des caractéristiques biophysiques spécifiques par rapport aux autres parties du bassin du fleuve Sénégal. Nous insisterons sur les conditions du milieu naturel et sur le contexte socio-économique de la zone d'étude. Néanmoins, les flux d'eau qui y transitent proviennent de l'amont et sont tributaires des conditions climatiques qui règnent dans

l'ensemble du bassin. Il nous paraît donc important de bien cerner les relations entre le haut bassin et le delta. C'est pourquoi, dans cette première partie, nous aborderons l'hydrographie et les facteurs climatiques qui régissent les écoulements, à l'échelle du bassin du fleuve Sénégal.

I. Caractéristiques de la zone d'étude

La zone d'étude s'étend de Dagana située à environ 130 km au nord-est de la ville de Saint-Louis, jusqu'à l'embouchure naturelle (ancienne embouchure), localisée à une trentaine de km au sud-ouest de Saint-Louis ; elle concerne essentiellement la rive gauche du delta du fleuve Sénégal. La zone ainsi définie, correspond globalement à l'ancien département de Dagana et inclut, actuellement, le département de Saint-Louis, dans le nouveau découpage administratif en vigueur depuis février 2002 (fig. 1).

Le delta du fleuve Sénégal est une vaste plaine alluviale basse, encadrée par deux ensembles de dunes sableuses. A l'ouest, c'est le cordon dunaire d'âge ogolien, formé par les toundous (Basset, Beret, Hagui) : leur altitude ne dépasse pas 8 à 10 m. Au sud-ouest, les dunes sont localisées aux environs de Gandiole, dans la zone de l'ancienne embouchure. Elles se prolongent par les grands ensembles du Trarza au nord (en Mauritanie) et du Cayor au sud (au Sénégal). D'après Michel (1973), elles ont isolé un ensemble de petites cuvettes allongées où s'est développée une faune lagunaire riche en mollusques (*Arca senilis*). A cela s'ajoutent les levées alluviales post nouakchottaines, localisées le long du fleuve et de ses défluents, qui peuvent atteindre une altitude moyenne de 10 m.

Le delta, partie intégrante d'un bassin versant hétérogène

Le bassin versant du fleuve Sénégal (fig. 2) couvre une superficie de 289 000 km² répartis comme suit, entre les différents pays traversés (Sow, 1984) :

- Guinée : 31 000 km² ;
- Mali : 155 000 km² ;
- Mauritanie : 75 500 km² ;
- Sénégal : 27 500 km².

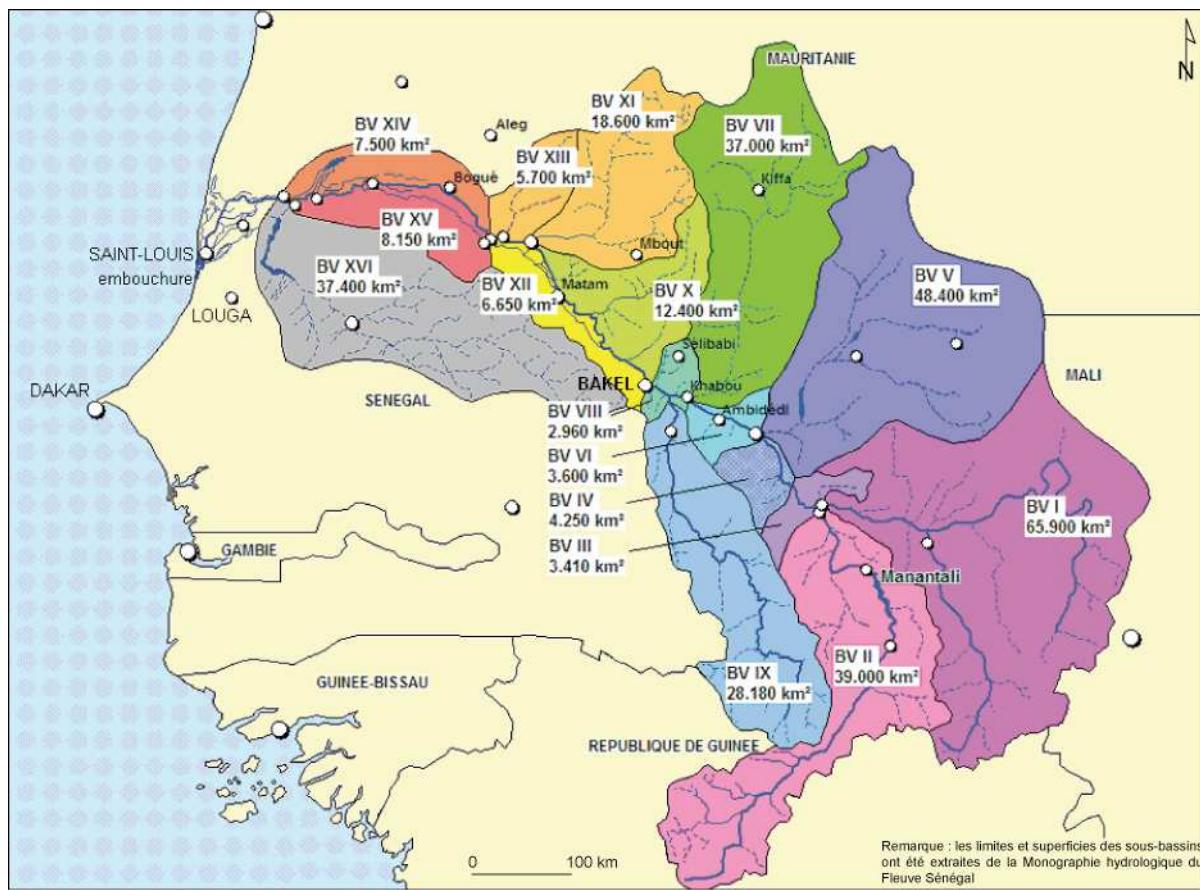


Figure 2 : Les différents sous bassins du fleuve Sénégal, Source : OMVS, 1998

Le lit majeur du fleuve s'étend sur 12 000 km², entre Bakel et l'embouchure, dont 8 000 km² reviennent à la vallée et 4 000 km² au delta (Lavieren et al., 1990). Le fleuve Sénégal traverse des reliefs variés et différents domaines climatiques. Sur cette base, différents auteurs comme Michel (1973), Rochette (1974), Lavieren et al. (1990), adhèrent à la subdivision du bassin du fleuve en deux grands ensembles relativement homogènes, du point de vue du climat, de la topographie, de la nature des terrains et du paysage :

- le bassin supérieur, qui va des massifs du Fouta Djalon jusqu'à Bakel, est caractérisé par un relief marqué, constitué de hauts plateaux qui peuvent atteindre plusieurs centaines à plus de 1000 m d'altitude (fig. 3);

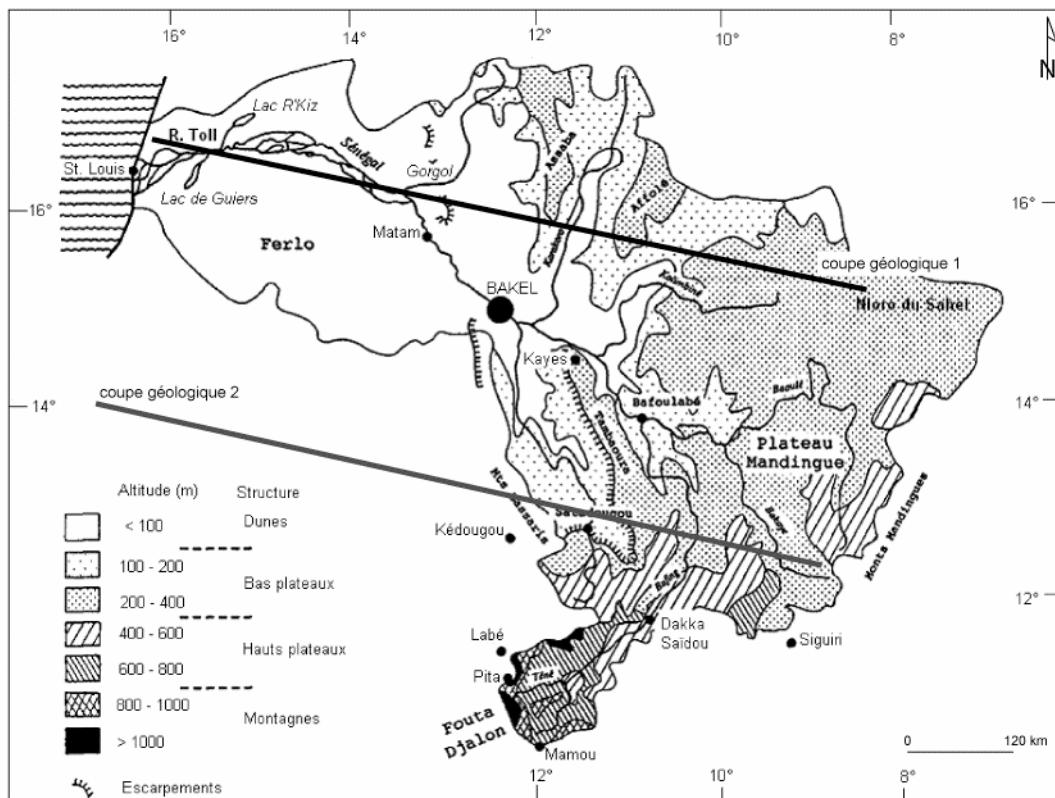


Figure 3 : Hypsométrie et cadre morphologique du bassin versant du fleuve Sénégal (Orange, 1992) in Coly (1996)

cette partie du bassin correspond également au domaine climatique guinéen à soudanien caractérisé par une pluviométrie annuelle relativement forte (800 à plus de 1000 mm) : c'est le réservoir du bassin ; la forêt et la savane boisée sont les formations végétales caractéristiques ; sur le plan géologique, les terrains sont constitués de roches dures et imperméables correspondant souvent à des affleurements du socle Précambrien ; les coupes géologiques orientées WNW-ESE à travers le bassin, montrent bien en surface, les granites birrimiens du plateau mandingue et infracambriens du plateau de l'Affolé (fig. 4) ;

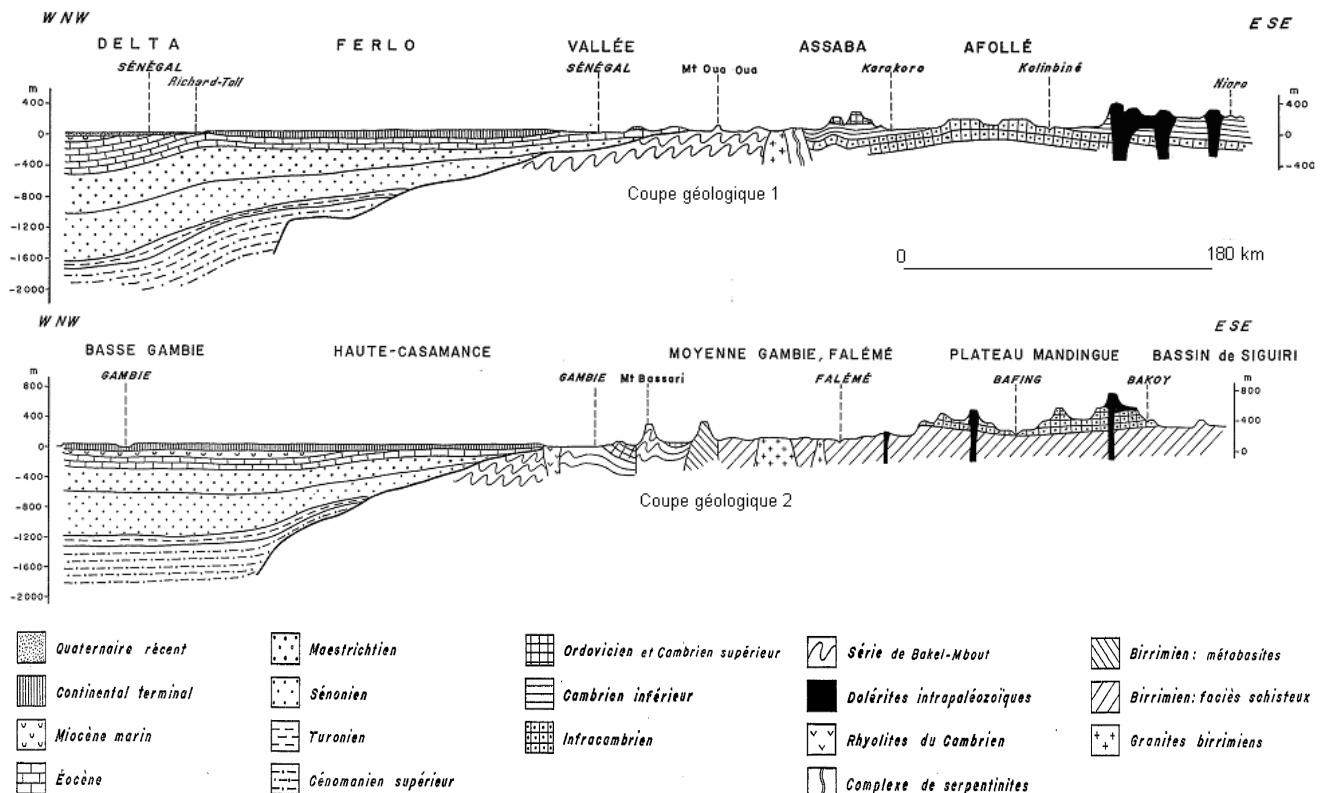


Figure 4 : Coupes géologiques à travers les bassins des fleuves Sénegal et Gambie (d'après Michel, 1973)

- le bassin inférieur, essentiellement composé d'une vaste plaine alluviale qui s'étend de Bakel à l'embouchure, est caractérisé par une pente faible ; l'altitude maximale est voisine de 50 m aux environs de Bakel et la nature des terrains est essentiellement meuble correspondant aux dépôts du Quaternaire ; c'est le domaine soudanien nord et sahélien, où la pluviométrie annuelle varie entre 500 et 200 mm ; savanes arbustives à arborées et steppes sont les principales formations végétales.

Le bassin inférieur (fig. 5) est découpé en quatre parties (Lavieren et al., 1990) :

- la **haute vallée** : de Bakel à Waoundé ;
- la **moyenne vallée** : de Waoundé à la confluence Sénegal-Doué ;
- la **basse vallée** : de la confluence Sénegal-Doué à Rosso ;
- le **delta** : de Rosso à l'embouchure.

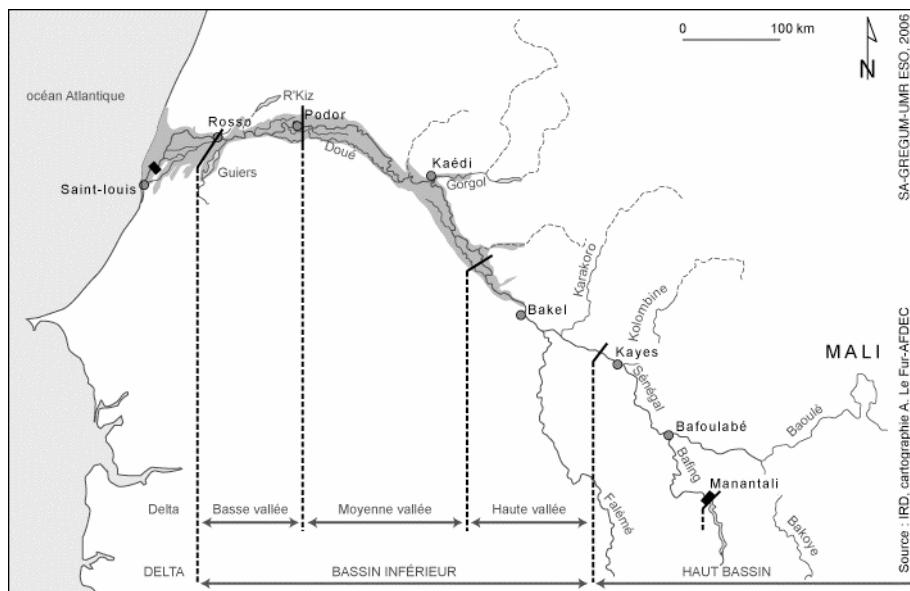


Figure 5 : Découpage du bassin du fleuve Sénégäl (d'après Lavieren et al., 1990)

L'hydrographie du bassin supérieur joue un rôle majeur dans les flux à l'aval

Les crues annuelles qui inondent les cuvettes du delta et les localités côtières, proviennent du cours supérieur du fleuve Sénégäl. Ce dernier, long de 1 790 km, est formé à Bafoulabé (au Mali) par la jonction du Bafing et du Bakoye (fig. 6).

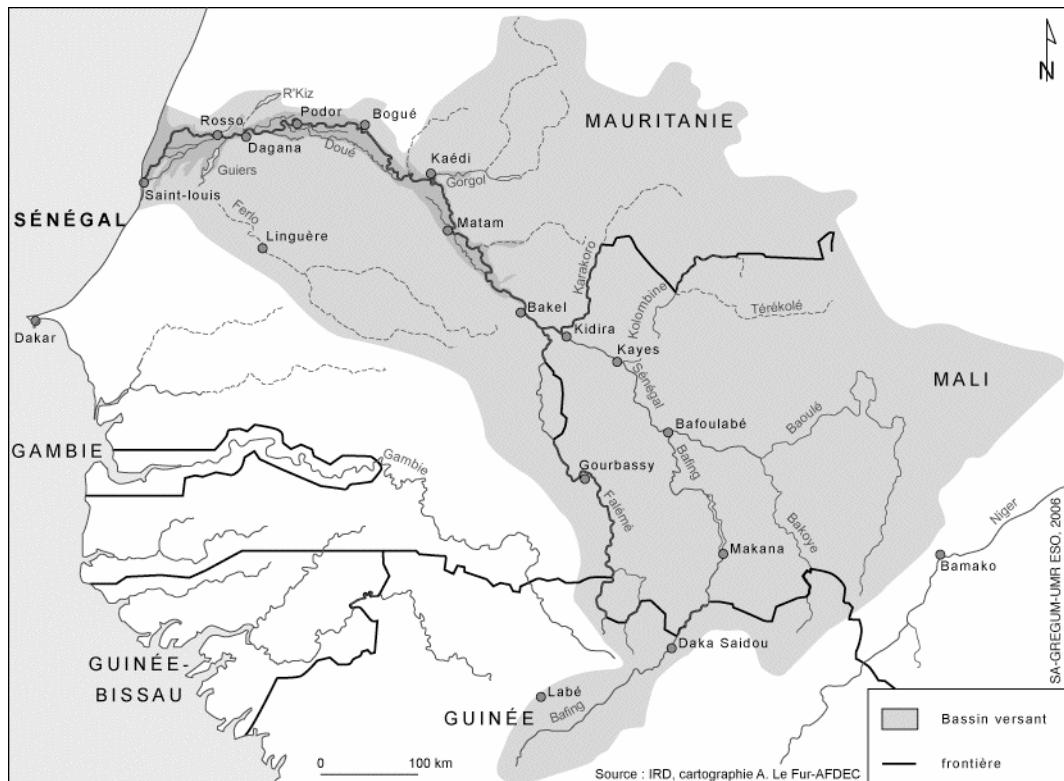


Figure 6 : Hydrographie du bassin du fleuve Sénégäl

Il traverse l'ouest du Mali, sépare le Sénégal et la Mauritanie et se jette dans l'Océan Atlantique au sud-ouest de Saint-Louis ; il créa ainsi un immense delta qui s'est progressivement mis en place au cours de l'histoire géologique de la région, à la suite d'une succession de phases de transgressions et de régressions marines. Le régime du Sénégal est complexe avec des périodes de hautes eaux (août-septembre-octobre-novembre) et des périodes de basses eaux (décembre à juillet).

L'hydrologie et les conditions climatiques de cette partie du bassin versant du Sénégal sont importantes dans la connaissance des flux d'eau qui circulent vers l'aval et qui déterminent le niveau de submersion des zones basses. C'est pourquoi il nous paraît opportun de décrire brièvement le réseau hydrographique et d'aborder les conditions climatiques à l'échelle du bassin versant du fleuve Sénégal. Michel (1973), Rochette (1974), Bader et al. (2003), entre autres, ont largement décrit les principaux cours d'eau du bassin supérieur et de la vallée du fleuve Sénégal (fig. 6).

Le **Bafing** qui contribue, en moyenne, à plus de 50% au débit moyen annuel ($380 \text{ m}^3/\text{s}$) du fleuve à Bakel (Diop, 1992), est considéré comme le principal affluent du Sénégal. Il prend sa source à 800 m d'altitude dans la région montagneuse à fortes précipitations du Fouta Djalon, à une quinzaine de kilomètres de Mamou (République de Guinée).

Le **Bakoye** qui prend sa source dans les monts Ménien au nord-ouest de Siguiri, entre 750 et 760 m d'altitude, contribue pour 23% au débit moyen annuel du fleuve à Bakel (Diop, 1992).

Le **Baoulé** prend naissance à l'extrême sud-ouest du plateau mandingue, à une trentaine de kilomètres de la vallée du Niger. Il se jette dans le Bakoye près de Toukoto.

La **Falémé** prend sa source à 800 m d'altitude et fournit presque 25% du débit moyen annuel du fleuve Sénégal à Bakel (Diop, 1992). Elle rejoint le Sénégal, à 625 km de sa source et à une cinquantaine de kilomètres en amont de Bakel.

La rivière **Ouadou** qui prend sa source à environ 300 m d'altitude dans la région de Nioro, constitue le cours supérieur de la **Kolimbiné**. Dans son cours inférieur, la Kolimbiné traverse plusieurs dépressions marécageuses avant de rejoindre le Sénégal un peu en amont de Kayes.

Le **Karakoro** prend sa source au nord-est de Kiffa et rejoint le Sénégal à Lami-Touka en aval d'Ambidédi, à 70 km en amont de Bakel.

Tous ces cours d'eau ont rejoint le Sénégal avant Bakel, d'où l'importance de cette station qui permet de mesurer les écoulements provenant du haut bassin.

Dans la vallée, entre Bakel et Dagana, le **fleuve Sénégal** s'étend sur environ 600 km. De Bakel à Kaédi, il prend une direction SE-NW, puis E-W jusqu'à la côte, ensuite une

orientation N-S en direction de l'embouchure. De Kaédi, jusqu'environ 50 km de Dagana, le fleuve se dédouble pour donner le *Doué* avant de rejoindre le cours principal.

Quelques affluents prennent naissance dans le massif de l'Assaba, coulent suivant une direction E-W et rejoignent le fleuve Sénégal sur sa rive droite. Il s'agit des oueds **Ghorfa**, **Niorde** et du **Gorgol**. L'Oued Ghorfa prend sa source dans le massif de l'Assaba à 318 m d'altitude, parcourt environ 193 km avant de se jeter dans le Sénégal, à une quarantaine de kilomètres en aval de Ouaoundé. Sa pente moyenne est de 1,6% mais s'avère plus accentuée dans son cours supérieur. Le Gorgol se jette dans le Sénégal au niveau de Kaédi ; il est formé de la jonction du *Gorgol noir* (long de 194 km) et du *Gorgol blanc* (long de 345 km).

Ces cours d'eau, issus du bassin supérieur et de la vallée du fleuve Sénégal, vont contribuer à la constitution des stocks d'eau dans le delta. La connaissance de ces volumes notamment à partir des stations de Bakel et de Dagana, peut permettre de prévoir les surplus d'eau qui risquent de provoquer l'inondation des localités côtières comme Saint-Louis.

Un réseau hydrographique dense dans le delta, essentiel dans le contrôle des flux

Au niveau du delta, le fleuve Sénégal compte de nombreux défluents qui rejoignent le cours principal avant l'embouchure (fig. 7). Tous ces marigots, essentiellement situés sur la rive gauche du fleuve Sénégal, se remplissaient d'eau pendant les hautes eaux et se vidaient en période de basses eaux. Les eaux de crue du fleuve Sénégal étaient ainsi évacuées vers les grandes cuvettes du Djoudj et du Ndial et ainsi que vers le réseau de vallées du Ferlo. Actuellement, avec le barrage de Diama qui maintient le niveau de l'eau à une cote minimale de 1,5 m IGN, ces cours d'eau sont pérennes et servent à l'irrigation et au drainage des périphéries irriguées. Leur rôle reste néanmoins déterminant dans le contrôle des flux d'eau qui transitent dans le delta, raison pour laquelle nous les présentons brièvement à la suite de Diop (1992), Kane (1985, 1997), etc.

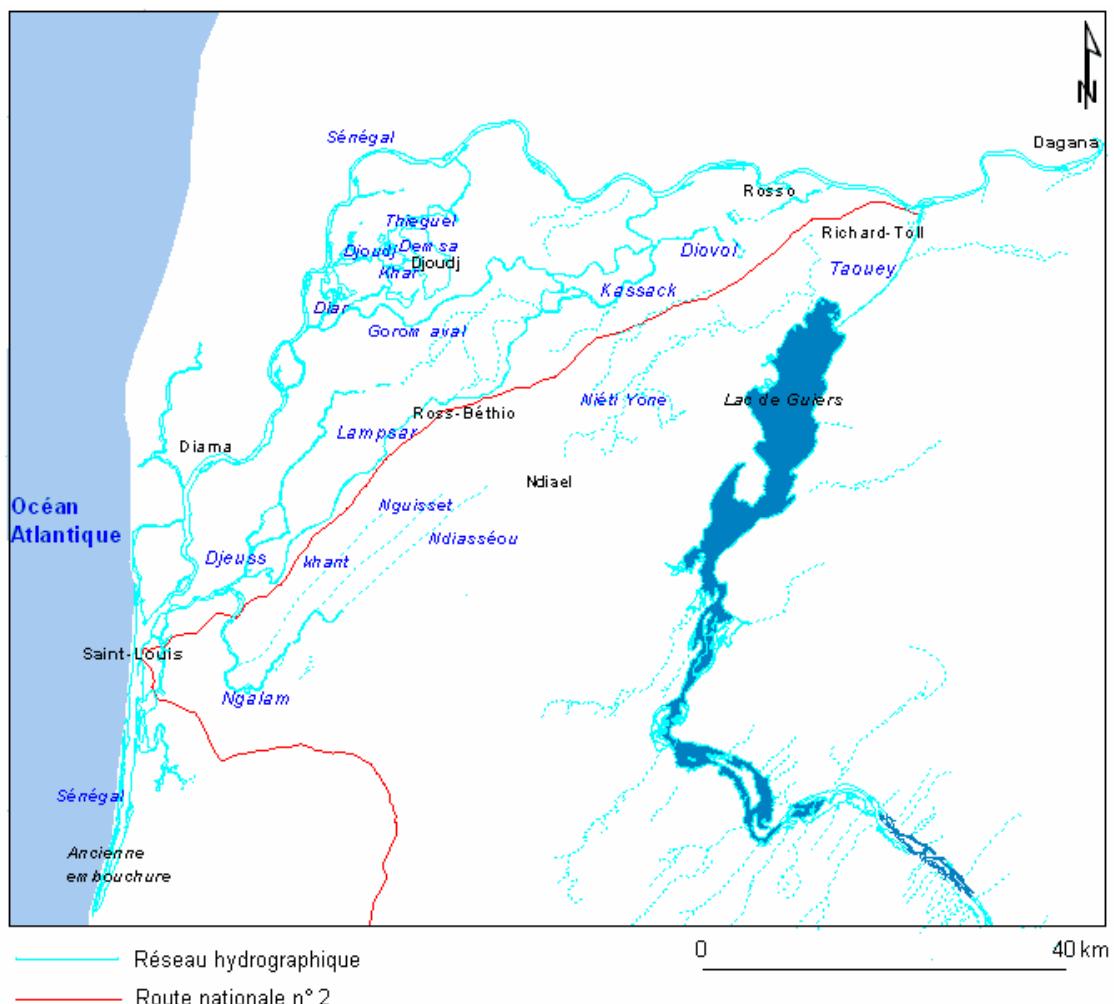


Figure 7 : Réseau hydrographique dans le delta du fleuve Sénégâl, M. Sall (2006)

Le **Gorom** part du fleuve Sénégâl et s'étend sur 60 km ; à hauteur du village de Boundoum, il se divise en deux branches : le Gorom aval qui se dirige vers l'ouest pour rejoindre le Sénégâl au sud du Djoudj et le Lampsar.

Défluent du Gorom, le **Lampsar** part de l'aval de Boundoum pour se jeter dans le Djeuss, à l'aval de l'ouvrage de Makhana parcourant ainsi une distance de 55 km. Très étroit et sinueux dans sa partie amont, sa capacité d'écoulement s'améliore après sa jonction avec le Kassak sur sa rive droite.

Comme le Gorom, le **Djeuss** qui s'étend sur 60 km comprend une partie aval et une partie amont. Le Djeuss amont est issu du Gorom aval et est alimenté en amont par le Gorom aval au moment où il inonde la cuvette de Boundoum ouest. Le Djeuss aval est alimenté par le Lampsar à travers l'ouvrage de Makhana.

Le **Diavol** est un affluent du Gorom amont, parcourt 18 km en provenance de l'Est avant d'être stoppé par la digue ouest du casier rizicole de Richard-Toll. Long de 20 km, le **Kassak**

est également un affluent du Gorom amont à partir du sud-ouest et se jette dans le Lampsar au niveau du périmètre irriguée de « grande digue ».

Le **Rhad** est un marigot fossile qui n'est plus alimenté par le fleuve Sénégal depuis la mise en place de la digue périphérique. Le **Gaila** est alimenté à travers l'ouvrage de Boundoum nord et communique avec le Rhad et le Gorom aval.

Le **Djoudj** part du fleuve Sénégal au nord de Gorom aval, décrit un parcours sinueux puis se divise en trois branches (fig. 8) :

- le *Thieguel*, long de 5 à 6 km, prend une direction nord-est et alimente le lac lamantin qui couvre une superficie de 1 000 ha;
- le *Demsa*, branche sud-est du Djoudj, alimente le grand lac qui couvre une superficie de 5 500 ha;
- le *Khar*, branche sud du Djoudj, alimente le lac khar qui occupe 1 500 ha.

Le canal du crocodile, long de 7 km alimente la partie est du bassin du Djoudj.

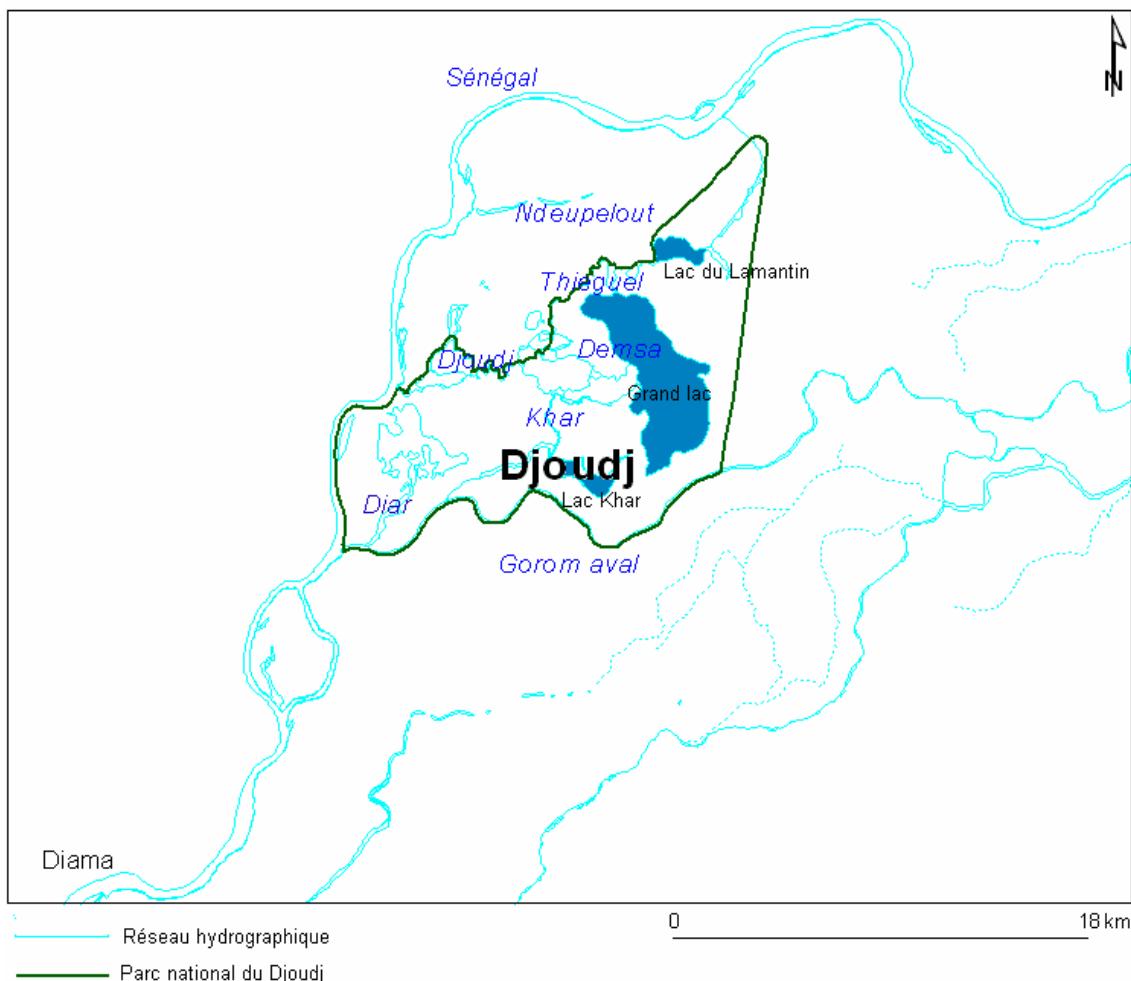


Figure 8 : Les marigots dans le parc national du Djoudj, M. Sall (2006)

Le *Ngalam* qui s'étend sur une dizaine de kilomètres, part du Djeuss en aval de Ndiawdoune ; en période de crue, il permet d'évacuer les eaux vers la dépression des trois marigots à travers le pont barrage de Ndiawdoune.

Par ailleurs, le fleuve alimente de part et d'autre de son cours, des dépressions naturelles comme le lac R'kiz en Mauritanie et le lac de Guiers au Sénégal.

Coly (1996) décompose le complexe hydrologique du Guiers en quatre unités :

- le chenal de la Taouey ;
- le système Ndiaël-Niéti Yone ;
- le réseau « fossile » du Ferlo ;
- et la dépression lacustre proprement dite.

La *Taouey* est à l'origine, un marigot sinueux à faible pente, long de 25 km et qui relie le Sénégal au lac de Guiers. Son tracé hydrographique naturel se compose de chenaux d'écoulement emmêlés et de bassins contigus constituant des cuvettes d'inondation.

Le système *Ndiaël/Niéti Yone* est situé à l'ouest du lac de Guiers. Sa définition spatiale et la configuration de son tracé sont difficiles à reconstituer. Le Niéti Yone est un axe hydraulique long de 28 km. Il se connecte au nord-ouest du lac de Guiers à travers lequel il alimente le Ndiaël. Au sud ouest, le Ndiaël se prolonge par les « trois marigots ».

Le lac de *Guiers* s'étend sur près de 50 km suivant un axe nord-nord-est, sud-sud-ouest et couvre une superficie de 240 km² à la cote moyenne 1 m IGN pour un volume de 390 millions de mètres cubes (Cogels, 1993). A la cote 2 m IGN, il occupe une superficie de 300 km² pour un volume de 600 millions de mètres cubes. Sa largeur est plus importante dans la moitié nord de son parcours. A Keur Momar Sarr, le lac décrit un coude et s'ouvre à la vallée du Bounoum. Cette dernière se rétrécit progressivement jusqu'à Yang-Yang à partir duquel se développe le vaste réseau fossile du Ferlo qui s'étend jusqu'aux environs de Bakel (fig. 9).

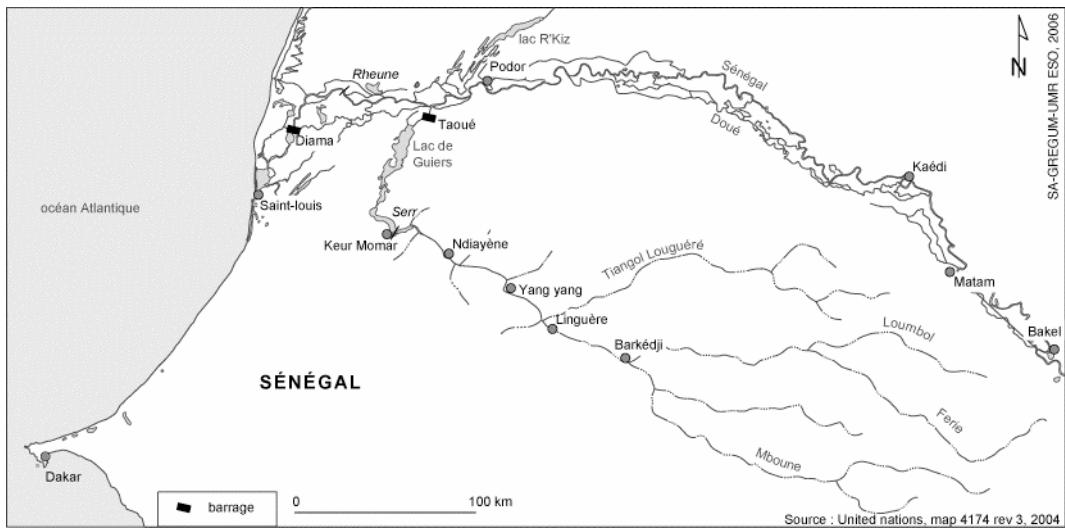


Figure 9 : Le système hydrologique du lac de Guiers

Le réseau hydrographique du delta est dense et très interconnecté. Il peut jouer un rôle important dans le contrôle des flux qui transitent dans la zone. Traditionnellement, les eaux de crue étaient déversées dans les marigots défluents du fleuve Sénegal, qui alimentaient à leur tour les cuvettes, les lacs et le réseau de vallées du Ferlo qui prolonge le lac de Guiers. Actuellement, ce système est exploité principalement dans le but de constituer une réserve d'eau importante pour la culture irriguée. C'est pourquoi, en plus de la digue édifiée le long de la rive gauche du fleuve, ces marigots sont parsemés d'ouvrages vannés qui régulent les quantités d'eau libérées. Cependant, en année de forte crue, le surplus d'eau inonde les localités côtières comme Saint-Louis provocant beaucoup de sinistrés.

1. Les conditions du milieu naturel

Dans ce chapitre, nous aborderons les caractéristiques biophysiques du delta du fleuve Sénegal. Ces paramètres relatifs pour l'essentiel à la géologie, la géomorphologie, les eaux souterraines et la nature des sols sont importants dans la compréhension de la problématique des inondations dans la zone. L'importance de la diversité biologique est analysée à travers la végétation et la faune, qui sont essentiellement liées aux écosystèmes humides de la zone. Enfin, nous analyserons le contexte socio-économique du delta pour préfigurer déjà les conséquences de la montée des eaux sur la population.

1.1. Le cadre géologique et géomorphologique

Le delta du fleuve Sénégal appartient au bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien, daté entre 200 et 140 millions d'années (fin Trias-début Jurassique supérieur), qui est une composante d'un ensemble de bassins côtiers caractéristiques de la géologie de l'Afrique de l'ouest. A cette époque, la mer avait envahi les régions côtières du Sénégal et progressé vers l'intérieur en déposant des sédiments détritiques très épais (Michel, 1973). Ces séries sédimentaires du Secondaire et du Tertiaire sont traversées par divers sondages (Saint-Louis, Toundou Basset, etc.). Le sondage de Saint-Louis a rencontré, à 140 m sous les dépôts du Quaternaire, des marnes et des calcaires, avant d'atteindre les formations de l'Eocène. Le sondage de Toundou Basset a traversé jusqu'à 46 m, des sables fins et des limons. Au-delà, jusqu'à 112 m, se retrouvent des sables grossiers attribués au Miocène (Michel, 1973). Le Continental Terminal est souvent surmonté d'une cuirasse ferrugineuse compacte. Les formations du Secondaire bien représentées dans le delta par les dépôts allant du Cénomanien supérieur au Maastrichtien (cf. fig. 4) sont essentiellement constituées de sables et de grès.

Du point de vue tectonique, les régions de Saint-Louis et de la Casamance se sont affaissées à plusieurs reprises au moment où celles de Louga et de Thiès se soulevaient. Faure et *al.* (1980) et Tricart (1961) cités par Ba (2004), estiment cette subsidence du delta entre 3 et 5 m en 150 000 ans. Mais depuis le Dunkerquien (entre + 4500 et – 1000 ans), ces mouvements se sont considérablement ralentis. Audibert (1967), Trenous et *al.* (1971) cités par Ba (2004) supposent une série de failles orientées SW-NE puis WNW-ESE sur la frange ouest du lac de Guiers. Ces failles séparent la zone argilo-limoneuse qui caractérise l'Ouest du delta de la partie Est, marquée par les dépôts du Continental Terminal et de l'Eocène.

Le delta est pratiquement recouvert par les dépôts du Quaternaire. Le croquis géomorphologique et géologique du delta du Sénégal (Michel, 1973) montre (fig. 10) :

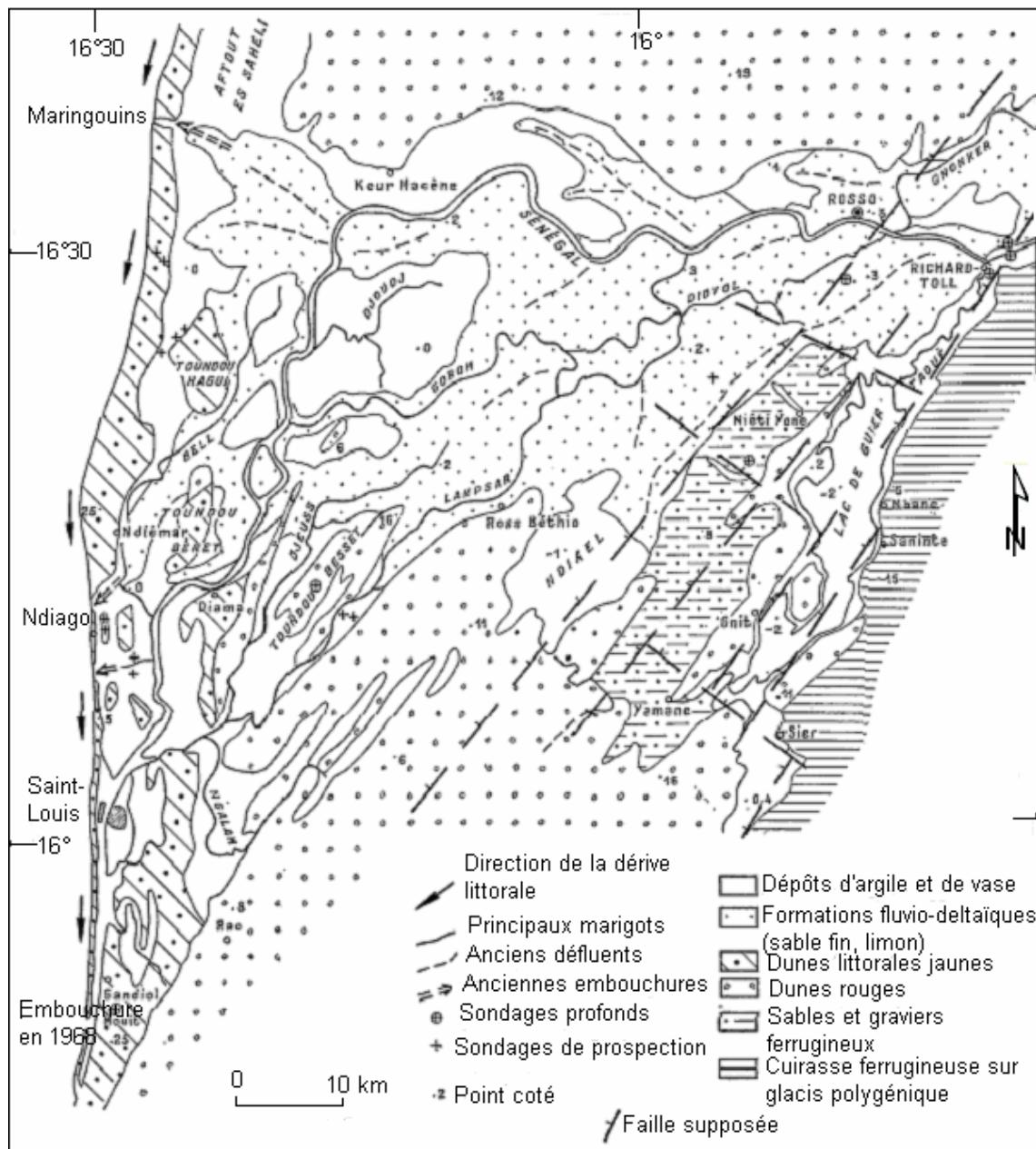


Figure 10 : Croquis géomorphologique et géologique du delta du fleuve Sénégal, (d'après Michel, 1973)

- des dépôts d'argile et de vase du Tchadien (10000-6800 ans BP) essentiellement dans les cuvettes du Djoudj, du Ndial et de l'Aftout es Sahéli ;
- des formations fluvio-deltaïques de sables fins et de limons de l'Holocène, qui constituent la majeure partie du delta, en bordure des cuvettes et sur toute la partie naturellement inondable par les eaux de crues ;
- des dunes littorales jaunes du Tafolien (4 200-2 000 ans BP) sur la façade ouest de l'Océan Atlantique et dans le gandiolais ;

- des dunes rouges de l'Ogolien constituées des toundous (Basset, Beret, Hagui, Zire) ;
- des sables et graviers ferrugineux du Quaternaire ancien sur la bordure Ouest du lac de Guiers ;
- une cuirasse ferrugineuse du Quaternaire ancien sur la façade Est du lac de Guiers.

Les différentes étapes de la morphogenèse au cours des temps géologiques (fig. 11) sont liées à une succession de cycles d'érosion fluviale et de dépôts alluvionnaires, qui a engendré périodiquement de nombreux changements dans le cours du fleuve.

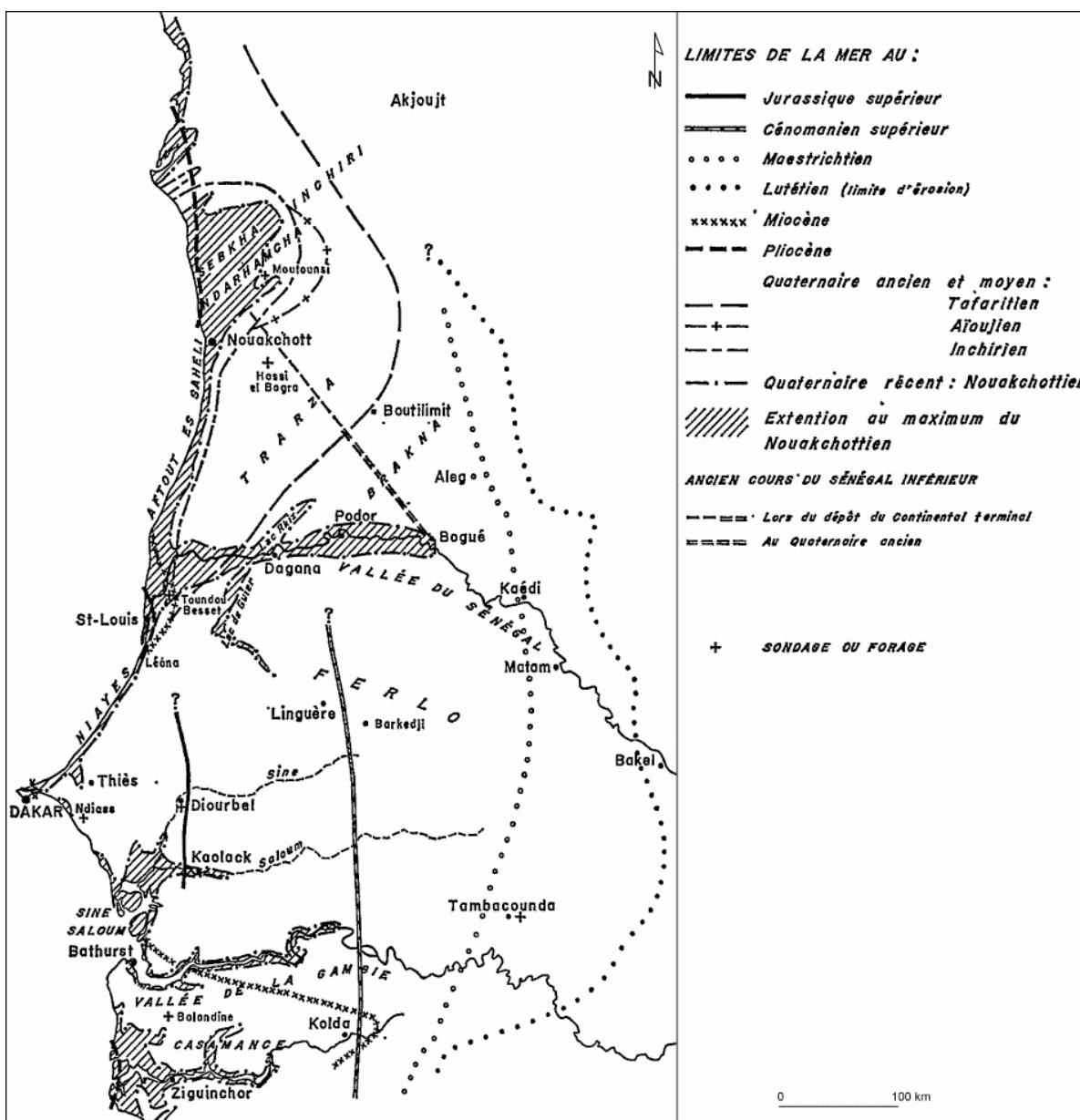


Figure 11 : Les transgressions marines depuis le Secondaire au Sénégal et dans le sud-ouest de la Mauritanie
(d'après Michel, 1973)

Au cours du Quaternaire ancien et moyen :

- la transgression du **Tafaritien** (du nom du Cap Tafarit, entre le Cap Timiris et le Banc d'Arguin), datée de 125 000 ans BP, a engendré un golfe qui couvrait la majeure partie du Trarza (sud-ouest de la Mauritanie) et une partie de la région du delta ; la mer pénétrait jusqu'environ 160 km à l'intérieur du continent ;
- la transgression de l'**Aïoujen** (du nom du puits d'El Aïouj au nord-est de Nouadhibou) couvrait la région de Nouadhibou ;
- la transgression de l'**Inchirien** (entre 31 000 et 35 000 ans BP) créa un petit golfe dans la région de Nouackchott ;

Au cours du Quaternaire récent :

- le climat était très sec pendant l'**Ogolien** (20-22 000 ans BP à 15 000 ans BP) et le niveau de la mer était 100 m plus bas qu'actuellement ; c'est la mise en place des dunes rouges par les alizés continentaux ; ce sont de grandes dunes longues de plusieurs dizaines de km, orientées globalement NNE-SSW et d'altitude variant entre 10 et 30 m ; actuellement, les vestiges de ces dunes (dont l'altitude avoisine 15 m) dans le delta, sont représentés par les toundous Basset et Béret au Sénégal, Hagui et Zire en Mauritanie ; elles sont relativement fixées aujourd'hui ;
- la transgression du **Nouakchottien**, datée d'environ 5 500 ans BP (Holocène moyen) correspond à une période très humide ; selon Michel (1973), au maximum de la transgression, la mer occupait toute la basse vallée du Sénégal jusqu'aux environs de Bogué située à 250 km de la côte (fig. 12), transformant ainsi toute la basse vallée en une énorme ria de 5 à 25 km de large ; des pollens de *Rhizophora* et de *Conocarpus* découverts dans un sondage au niveau de Bogué, témoignent de la présence ancienne de la mangrove ; le niveau moyen de la mer se situait à + 1,5 m dans le delta et sa périphérie ; la mer a pénétré entre les cordons dunaires ogoliens à l'Est de Saint-Louis, créant ainsi les dépressions orientées SW-NE du Khant, de Nguisset et de Ndiasséou (trois marigots) ; Durand (1969, 1970) cité par Michel (1973) signale la présence de tourbes et de pollens de *Rhizophora racemosa* et *Rhizophora harrisonii* au niveau des trois marigots vers 7 050 ans BP ; la mer a arasé et remanié le matériel sableux des dunes rouges, formant la terrasse nouakchottienne qui renferme également des niveaux d'*Arca senilis* ; plusieurs auteurs dont Tricart

(1961), Hébrard (1968) cités par Michel (1973) et plus récemment Mietton et Humbert (1994) cités par Kane (1997), ont signalé la présence de cette terrasse à différents endroits du delta, notamment sur les rebords des trois marigots, entre les marigots du Djeuss et du Lampsar, le long de la dépression de l'Aftout es Sahéli, aux environs de Rao et des interdunes près de Keur Macène, etc.

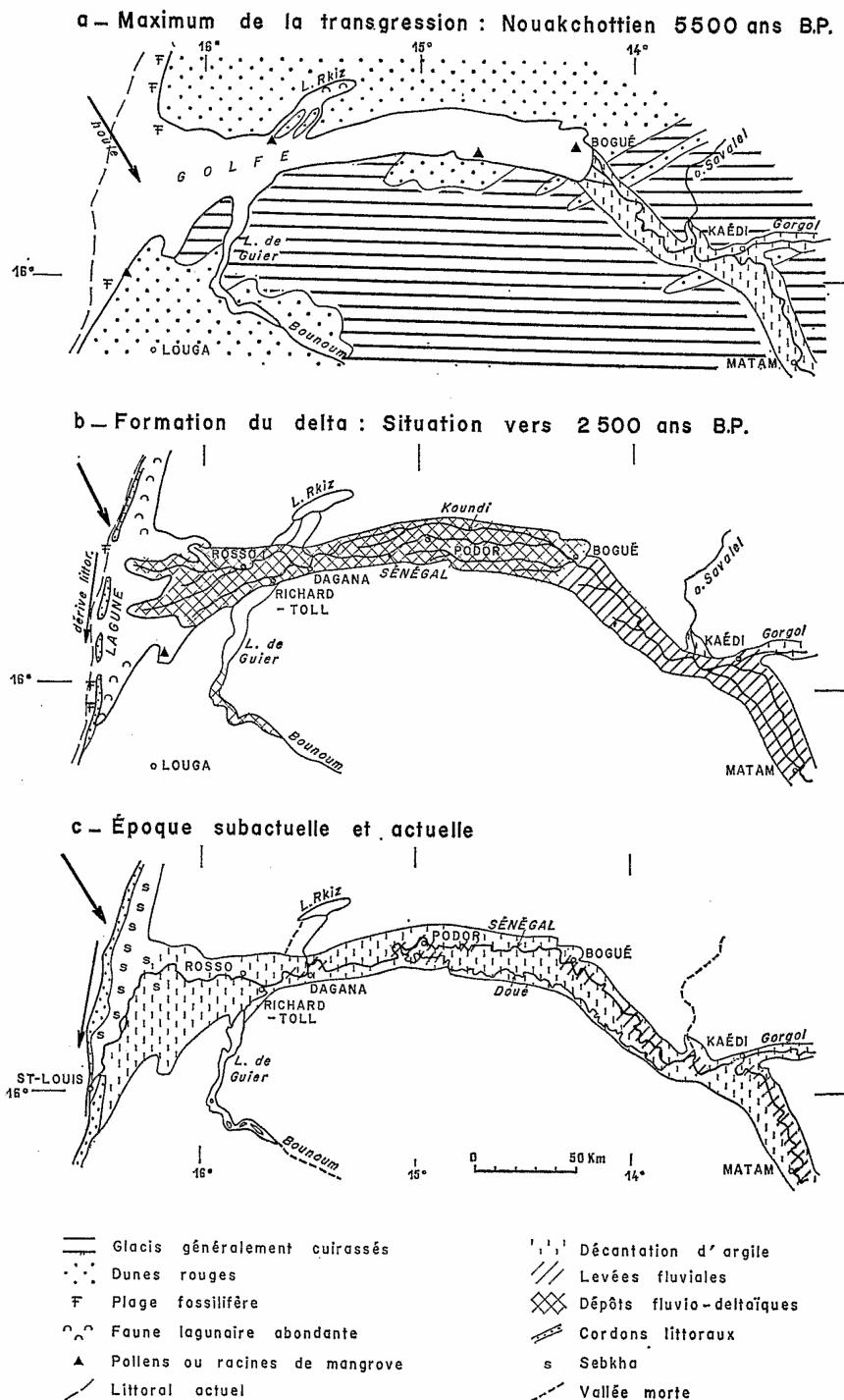


Figure 12 : Evolution de la basse vallée du Sénégal depuis la dernière transgression, (d'après Michel, 1973)

Les nombreux amas coquilliers (kjökkenmonddinger) recensés dans le delta et datés du Nouakchottien, témoignent d'une forte présence humaine à cette époque, probablement des pêcheurs du Néolithique qui se nourrissaient d'Arches et d'huîtres, notamment le long de la route Rao-Gandiole dans la région de Saint-Louis et sur les bordures du Khant.

Michel (1973) signale des dépôts témoins de l'avancée de la mer nouakchottienne dans les niayes, la presqu'île du Cap-Vert, la petite côte, la basse vallée de la Gambie et en Basse Casamance. Les dépôts du maximum de la dernière transgression se situent en général à la cote + 2 m sur le littoral Atlantique de l'Afrique du nord et de l'Ouest ; ils ont été définis au Ghana par Davies (1964) et au Maroc par Choubert et *al.* (1967).

Le tableau 1 résume la chronologie des dépôts du Quaternaire récent dans le delta et la basse vallée du Fleuve Sénégal.

Tableau 1 : Nomenclature et chronologie des dépôts du Quaternaire récent dans le delta et la vallée du Fleuve Sénégal (d'après Michel, 1973)

Terminologie 1954-1956	Terminologie actuelle (depuis 1967)	Ages absolus (B.P.)
Dunes et levées subactuelles	Dunes et levées subactuelles	< 1800 ans
Levées et delta dunkerquiens	Levées et delta post Nouackchottien	1800
Plage du dunkerquier	Plage récente et	à
Dunes jaunes-Préflandrien	Cordons littoraux successifs	5000 ans
Terrasse marine de l'Ouljien	Plage du Nouackchottien	5000 à 6000 ans
Dunes rouges -Préouljien	Dunes rouges de l'Ogolien	15000 à 21000 ans (?)

Par ailleurs, la morphologie de l'embouchure du fleuve Sénégal ne fait pas l'unanimité au niveau des auteurs ; certains comme Tricart (1961) considèrent qu'elle fonctionne comme un delta c'est à dire avec une accumulation côtière de sédiments qui s'étend dans la mer fermant ainsi progressivement l'embouchure : les sédiments s'accumulent plus vite qu'ils ne se dispersent. Le volume de sédiments apporté par le cours d'eau est tel que les courants de marées ne peuvent plus stopper ou freiner le processus de dépôt (Beauchamp, 2002). Un delta est composé de trois parties (fig. 13) :

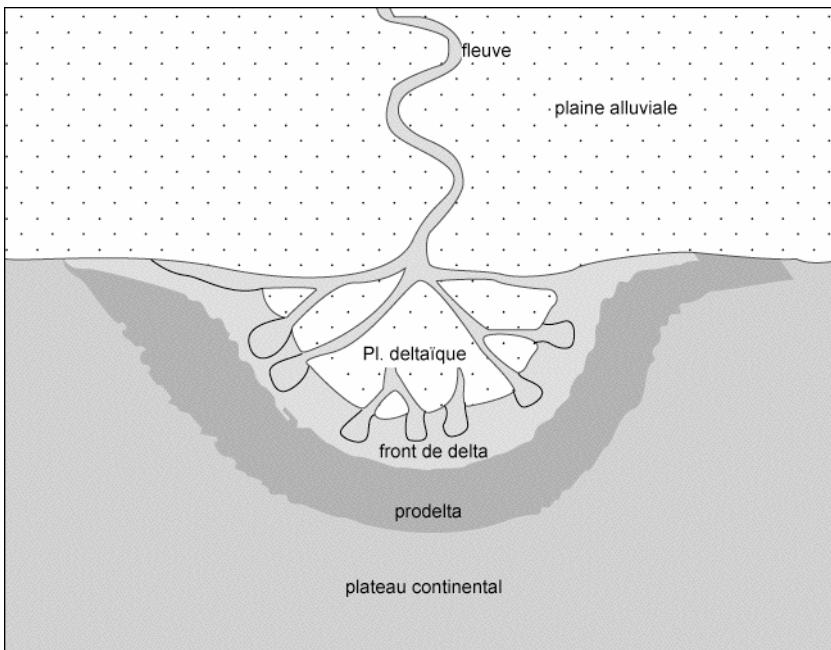


Figure 13 : Morphologie d'un delta *in Beauchamp (2002)*

- la plaine deltaïque qui est le prolongement de la plaine alluviale ; elle est parcourue par un réseau de chenaux ramifiés (les distributaires) ; entre les chenaux, s'étendent des zones marécageuses garnies de végétation en zones humides ;
- le front de delta qui est le prolongement de la plaine deltaïque sous la mer ;
- le prodelta qui est la partie la plus externe et la plus profonde du delta ; il repose sur les sédiments marins de la plate forme littorale.

Par contre, d'autres auteurs, comme Michel (1973), Kane (1997) considèrent que l'embouchure du fleuve Sénégal fonctionne comme un estuaire. Dans un estuaire, le fleuve apporte peu de matériaux grossiers, mais surtout des suspensions fines et des matières en solution (Beauchamp, 2002). L'hydrodynamisme marin est fort : fortes marées, forte houle, présence de courants littoraux. Ces conditions sont réalisées sur les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique (estuaire de la Seine, de la Loire). La circulation de l'eau salée et de l'eau douce suit un trajet complexe qui dépend du cycle des marées. La marée montante refoule l'eau douce en amont (le mascaret) sur une distance qui peut être importante (100 km dans l'Hudson sur la côte Est des Etats Unis).

La vitesse du courant fluviatile diminue et les matériaux en suspension se sédimentent; les argiles s'agglomèrent en flocons (flocculation) sous l'action des ions de l'eau de mer et forment un "bouchon vaseux". Le sédiment caractéristique est la vase. La vase est formée de particules fines de la classe des lutites (limons, argiles), de sulfures et d'hydroxydes de fer et de

colloïdes organiques. Comme dans les vasières littorales, qui sont souvent des dépendances d'estuaires, la marée délimite la *schorre*, zone supratidale couverte de végétation, et la *slikke*, vase non fixée de la zone intertidale. Dans les régions équatoriales, les estuaires sont colonisés par la mangrove. Des barres sableuses peuvent se déposer dans le chenal fluviatile ; quand celles-ci deviennent importantes au point de prograder vers la mer, l'estuaire se transforme en delta. C'est le cas actuel de la Gironde.

L'estuaire peut être subdivisé en trois parties :

- l'estuaire marin, en contact direct avec la mer ;
- l'estuaire intermédiaire constitué d'un mélange d'eau douce et d'eau fortement salée ;
- l'estuaire fluvial, d'eau douce, soumis à l'action quotidienne de la marée.

Nous conviendrons avec ces derniers auteurs que l'embouchure du fleuve Sénégal fonctionne, tout au moins actuellement, comme un estuaire.

Conclusion

Le delta du fleuve Sénégal appartient au bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien daté entre 200 et 140 millions d'années. Il s'est formé à la suite de la transgression du Nouackchottien où la mer avait pénétré jusqu'à 250 km à l'intérieur de la vallée. Des pollens de *Rhizophora* et de *Conocarpus* témoignent de la présence ancienne de la mangrove au niveau de Bogué. Différents sondages géologiques montrent la présence des dépôts marins datant du Secondaire et du Tertiaire. Les formations du Secondaire sont bien représentées par les dépôts du Cénomanien supérieur au Maastrichtien, essentiellement constitués de sables et de grés. Aux environs de Saint-Louis, les formations du Tertiaire comprennent surtout des marnes et des calcaires situés à plus de 100 m de profondeur sous les dépôts du Quaternaire. Au niveau du cordon dunaire de Touhou basset, des sables fins et des limons datés du Tertiaire se retrouvent à environ 50 m de profondeur ; au-delà jusqu'à plus de 100 m de profondeur, ce sont des sables grossiers datés du Miocène. Les dépôts alluviaux du Quaternaire recouvrent pratiquement l'ensemble du delta. Durant la phase sèche de l'Ogolien (20-22 000 ans BP à 15 000 ans BP), les alizés continentaux ont engendré la mise en place de longues dunes rouges de plusieurs dizaines de km pouvant atteindre 30 m d'altitude. Des vestiges de ces dunes rouges, globalement orientées NNE-SSW, sont encore représentés dans le delta sénégalais par les toundous Basset et Beret. Elles n'atteignent plus qu'une dizaine de mètres d'altitude et sont pratiquement fixées. Des dunes jaunes plus récentes (4 200 à 2 000 ans BP) bordent le littoral et s'étendent également au sud de Saint-Louis. Sur le plan tectonique, le

delta du fleuve Sénégal s'est affaissé de 3 à 5 m en 150 000 ans. On note également une série de failles orientées SW-NE puis WNW-ESE à l'ouest du lac de Guiers, séparant les couches argilo-limoneuses localisées à l'ouest du delta des couches du Continental Terminal et de l'Eocène situées à l'Est du delta.

La taille fine des dépôts du Quaternaire qui recouvrent pratiquement l'ensemble du delta du fleuve Sénégal, limite la capacité d'infiltration des eaux. Ce dépôt de matériau fin se poursuit avec le fonctionnement de type plutôt estuaire de l'embouchure du fleuve Sénégal. Il se trouve que certaines localités comme Saint-Louis, sont au moins en partie, construites sur ces sédiments à fortes proportions d'argile. Ceci favorise la stagnation prolongée des eaux de pluies qui affecte le cadre de vie des populations.

1.2. Les eaux souterraines

Trois nappes d'eau souterraine sont localisées dans les formations du Secondaire (Maastrichtien), du Tertiaire (Paléocène, Eocène) et dans les couches alluviales du Quaternaire.

La nappe maastrichtienne est présente sur l'ensemble du bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien. Sa profondeur est faible dans le bassin inférieur et dans le delta (Saos et al., 1993) : située à - 20 m dans la zone de Podor, elle s'enfonce progressivement (- 40 m) vers le sud de Dagana et atteint - 50 m à la jonction lac de Guiers-canal de la taouey. La nappe maastrichtienne s'enfonce davantage de part et d'autre du bombement anticlinal du Guiers (Le Priol, 1984 *in* Saos et al., 1993) : de -80 m au sud de Ndierba, à l'ouest, elle se retrouve à -40 m à la sortie Est de Richard-Toll, -102 m à la sortie ouest et entre -450 m et -500 m à l'ouest d'une ligne passant par Rosso, Gnith et Louga.

Au niveau de l'anticlinal du Guiers, le Maastrichtien entre en contact direct avec les alluvions de la vallée ; à ce niveau, elle est alimentée par la nappe superficielle (Da Boit, 1993 *in* Kane, 1997).

La nappe des formations du Tertiaire est localisée dans les couches calcaires du Paléocène et marno-calcaires de l'Eocène. L'aquifère éocène est essentiellement présent au niveau de la dorsale anticlinale du Guiers et présente deux faciès différents sur le plan lithologique (Saos et al., 1993) :

- au sud, les calcaires sont blancs, compacts avec des gravillons latéritiques et parfois avec des blocs de grès lenticulaires ou interstratifiés ;

- au nord, ils sont plus friables, coquilliers à tendance détritique, avec des niveaux de silex noirs.

Ce calcaire peut présenter des intercalations ou passées sableuses ou argilo-sableuses. L'aquifère éocène est discontinu et présente une épaisseur et une altitude variables.

La nappe alluviale du Quaternaire présente une configuration très complexe dans les alluvions sablo-argileuses du Quaternaire; l'hétérogénéité et la stratification lenticulaire des alluvions favorisent l'existence de plusieurs nappes plus ou moins interdépendantes. Le niveau aquifère principal se rencontre dans les couches de sédiments du Nouakchottien (sédiments holocènes, alluvions anciennes datant de 2 000 à 5 000 ans BP) situées sous les alluvions. La nappe superficielle est également localisée dans les sables ogoliens (sédiments ante Holocène datant de 21 000 à 34 000 ans BP) qui reposent, par endroits, sur les dépôts de l'Inchirien, notamment au niveau des « toundous » et des dunes qui bordent le Diéri. Cette nappe se retrouve aussi dans les couches du Quaternaire moyen à ancien, en particulier les sédiments du Pleistocène, datés entre 35 000 ans et 1,5 millions d'années BP. Finalement, elle se rencontre dans l'ensemble du delta sous forme de nappe semi-captive, là où la couche d'argile est présente et repose sur les couches de l'Inchirien I et II, respectivement à l'ouest et à l'est de la zone d'étude. La nappe superficielle est sous la dépendance du niveau du fleuve, au moins à proximité du lit mineur du cours d'eau (Saos et al., 1985). Elle subit également d'importantes fluctuations piézométriques au niveau des casiers rizicoles submergés par les eaux d'irrigation. Son épaisseur augmente du nord-est au sud-ouest du delta (fig. 14) :

- < 5 m dans la zone de Richard-Toll et Dagana ;
- > 30 m autour de la zone de Saint-Louis.

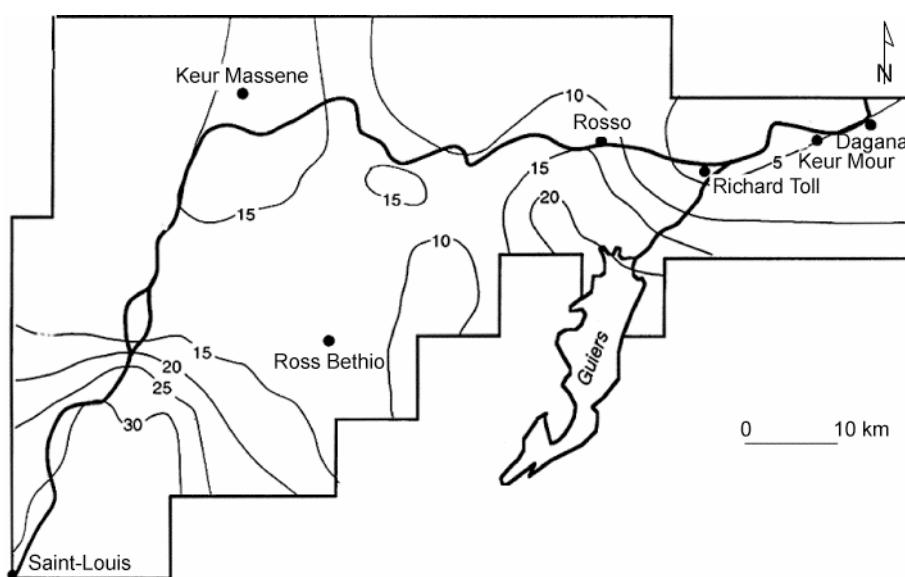


Figure 14 : Cartographie de l'épaisseur (m) de la nappe alluviale du delta du fleuve Sénegal
(d'après N'diaye et Isabel, 1999)

Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe alluviale sont très variables (Diao, 1992) :

- la Transmissivité (T) varie entre 10^{-2} et $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$;
- la Perméabilité (K) fluctue entre 10^{-3} et 10^{-4} cm/s ;
- le Coefficient d'emmagasinement tourne autour de 10^{-4} .

La profondeur de la nappe alluviale est faible, inférieure à 3 m dans la majeure partie du delta mais la salinité de l'eau limite les possibilités de son utilisation pour l'agriculture. Les eaux de la nappe alluviale sont imprégnées du sel des formations géologiques du Quaternaire. L'eau est principalement chlorurée sodique et potassique, salée à sursalée dans la plaine alluviale, saumâtre au niveau des dunes. Diao (1992), estime que :

- plus de 80% des échantillons prélevés sont chloruré sodique ;
- environ 11% sont bicarbonaté sodique ;
- à peu près 7% sont sulfaté sodique.

Les mesures de conductivité (N'diaye et Isabel, 1999) donnent des valeurs élevées avec une moyenne de 45 mS/cm (fig. 15).

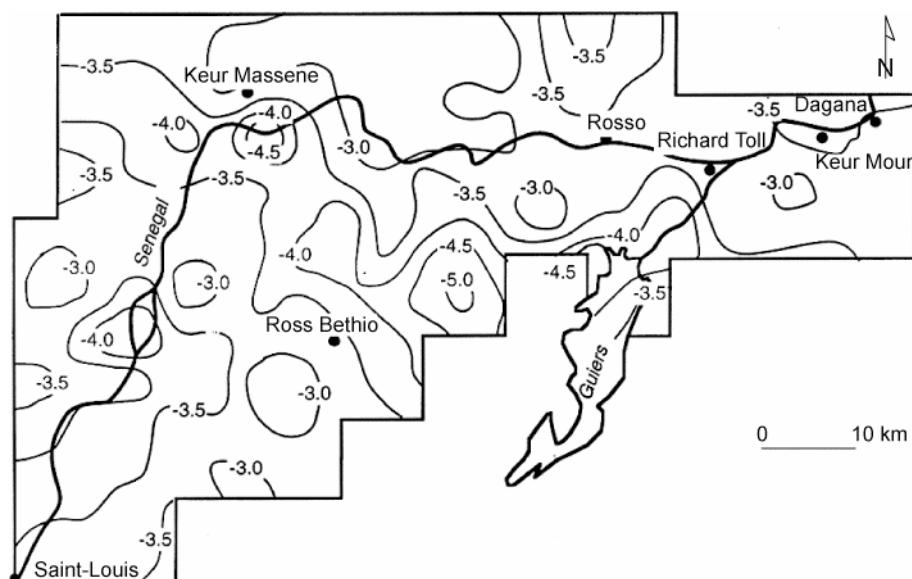


Figure 15 : Cartographie de la conductivité (cm/s) de la nappe alluviale du delta du fleuve Sénégal
(d'après N'diaye et Isabel, 1999)

Loyer (1989) détermine des concentrations de sel de la nappe alluviale parfois supérieure à celle de l'eau de mer, notamment au niveau des trois marigots et du Ndial.

Conclusion

Les eaux souterraines sont localisées dans les couches géologiques du Secondaire, du Tertiaire et du Quaternaire formant ainsi trois nappes dans le delta. La nappe maastrichtienne (formations du Secondaire) est peu profonde au niveau du delta ; elle se situe à -40 m au sud

de Dagana et à -50 m au niveau de la jonction entre le lac de Guiers et le canal de la Taouey. La nappe maastrichtienne entre directement en contact avec les alluvions de la vallée, au niveau de l'anticlinal du Guiers, où elle est alimentée par la nappe superficielle. La nappe des formations tertiaires se retrouve dans les couches calcaires du Paléocène et marno-calcaires de l'Eocène, essentiellement au niveau de la dorsale anticlinale du Guiers. Enfin, la nappe alluviale s'étend pratiquement sur l'ensemble du delta et est localisée dans les alluvions sablo-argileuses du Quaternaire ; elle présente une structure très complexe sous forme de plusieurs nappes interdépendantes. Le niveau principal se retrouve dans les couches du nouackchottien. La nappe alluviale se rencontre également dans les sables ogoliens des toundous et des dunes bordant le Diéri. Son épaisseur est inférieure à 5 m au nord-est du delta dans la zone de Dagana et de Richard-Toll ; par contre, elle peut être supérieure à 30 m au sud-ouest du delta, dans la zone de Saint-Louis. Sa profondeur est faible, généralement inférieure à 3 m dans le delta ; mais elle est fortement contaminée par la salinité des couches géologiques du Quaternaire. En moyenne, la conductivité mesurée est de l'ordre de $45 \mu\text{S}/\text{cm}$. Son niveau piézométrique est influencé à proximité du lit mineur du fleuve et au niveau des périmètres irrigués. Le relèvement du niveau piézométrique entraîne la saturation du sol et favorise la remontée de l'eau en surface. Au niveau des agglomérations comme Saint-Louis, ce phénomène contribue à la stagnation des eaux notamment dans les quartiers situés sur d'anciennes vasières.

1.3. La nature des sols

Les sols hydromorphes, les vertisols et les sols salins de la vallée se prolongent dans le delta, au niveau de la plaine alluviale submergée par les eaux de crue. S'y ajoutent les sols hydromorphes à mangrove qui caractérisent la slikke ; ils sont gorgés d'eau, de couleur noire ou gris noir et appartiennent au sous groupe des sols semi tourbeux, salés, des régions littorales chaudes intertropicales (Michel, 1973). Mais ce type de sol est plutôt limité dans le delta où se développent surtout les sols salins ou à alcalis, très proches des sols hydromorphes.

Maynard (1960) *in Michel (1973)* distingue dans le delta :

- les *solontchaks vifs* caractérisés par les remontées salines visibles en surface ;
- les *crypto-solontchaks*, sans efflorescences salines.

Bonfils et Faure (1957, 1958) *in Michel (1973)* déterminent trois types de sols en fonction de la durée de submersion et de l'importance de l'engorgement :

- les sols à engorgement total et permanent soumis à des phénomènes de capillarité à partir de la nappe phréatique peu profonde ; ils ne présentent jamais d'efflorescences salines ;
- les sols à engorgement total et temporaire qui connaissent un très fort dessèchement pendant une partie de l'année ; ils présentent une structure prismatique et des fentes de retrait profondes ; l'évaporation favorise la remontée du sel qui forment des efflorescences blanches en surface : ce sont les tannes ;
- les sols à engorgement temporaire de profondeur qui représentent un type intermédiaire entre les sols hydromorphes et les sols halomorphes ; l'hydromorphie est induite par les fortes fluctuations de la nappe phréatique.

En liaison avec la topographie, Maignien (1959) et Audry (1961) *in Michel (1973)* distinguent (fig. 16) :

- les sols brun rouge sur les parties hautes ;
- les sols bruns en bas de pente ;
- les sols hydromorphes dans les bas fonds.

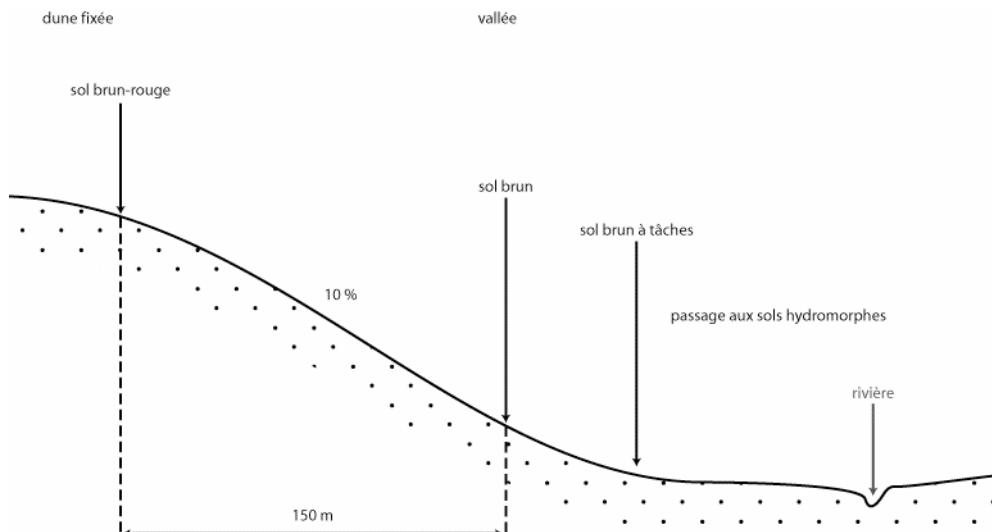


Figure 16 : Répartition des sols en fonction de la topographie (d'après Audry), 1961, *in Michel (1973)*

Les sols subarides tropicaux et les sols ferrugineux tropicaux occupent les parties hautes ou Diéri, non atteintes par les crues. Les sols subarides tropicaux sont représentés :

- d'une part, par les *sols bruns modaux et intergrades hydromorphes* qui se répartissent sur les bordures ouest et est du lac de Guiers ;
- et d'autre part, par les *sols brun rouge sur sable et grès*, plus largement répandus sur les dunes bordant la plaine alluviale.

En bordure de l'Océan Atlantique, notamment dans la partie sud-ouest du delta, dans le Gondiolais, des sols minéraux bruts peu évolués couvrent les dunes littorales. En arrière plan des dunes littorales et ogoliennes, s'étendent les sols ferrugineux tropicaux, en particulier les *sols non lessivés sur sable et grès* ou sols dior.

Le modèle et la durée de submersion déterminent ainsi principalement, dans le delta, les différents types de sols (fig. 17).

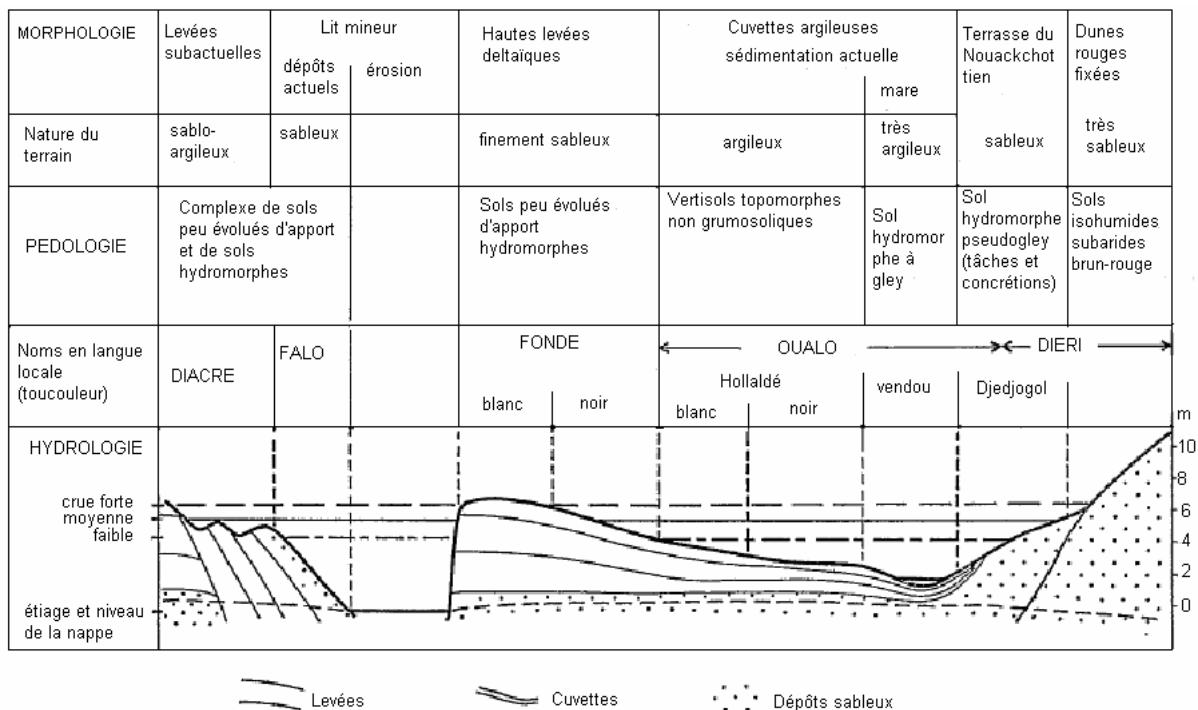


Figure 17 : Les différents types de sols du delta et de la basse vallée en fonction de la topographie et de la durée de submersion (d'après Michel, 1973)

Plusieurs auteurs dont Michel (1973), Diagne (1974), Lavieren et al., (1990), distinguent :

- le *falo* : sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley qui occupent les berges du lit mineur du fleuve et de ses défluents ; ils sont toujours inondés par les crues ;
- les *hollaldés* : sols peu évolués hydromorphes, à pseudo-gley, avec environ 60% d'argile, formés par l'accumulation des dépôts fluviaux lors de la décantation des eaux de crue ; ils sont inondés par les crues faibles à moyennes ;
- les *faux hollaldés* : sols intermédiaires entre les fondés et les hollaldés, ce sont des vertisols argilo-sableux, avec une teneur en argile variable entre 30 et 60% ; ils sont inondés par les crues moyennes à fortes ;

les *fondés* : sols peu évolués d'apport surtout sableux (70% de sable, 30% d'argile) sur les bourrelets de berge ; ils ne sont inondés que par les très fortes crues.

Conclusion

Dans la plaine alluviale du delta du fleuve Sénégal, se développent surtout des sols salins ou à alcalis, très proches des sols hydromorphes. Les solontchaks vifs, caractérisés par les remontées salines en surface, se distinguent des crypto-solontchaks sans efflorescences salines. Les sols à engorgement total et permanent sont soumis à des phénomènes de capillarité, en relation avec la nappe phréatique peu profonde ; ils ne présentent jamais d'efflorescences salines. Les sols à engorgement total et temporaire sont soumis à l'évaporation qui favorise la remontée du sel : ce sont les tannes. L'hydromorphie des sols à engorgement temporaire est induite par les fluctuations de la nappe phréatique. Ils constituent un type intermédiaire entre les sols hydromorphes et les sols halomorphes. Des berges du fleuve jusqu'aux dunes du Diéri, se succèdent : le falo (toujours inondé par les crues), les hollaldés (inondés par les crues faibles à moyennes), les faux hollaldés (inondés par les crues moyennes à fortes) et les fondés (uniquement inondés par les très fortes crues). Au niveau des dunes du Diéri, les sols brun rouge occupent le sommet tandis que les sols bruns se retrouvent en bas de pente. Ces sols subarides tropicaux ne sont jamais submergés par la crue. Les sols ferrugineux tropicaux ou sols dior sont situés en arrière plan des dunes littorales et ogoliennes.

En définitive, le delta du fleuve Sénégal présente un groupe de sols très diversifiés en fonction du modèle, de la durée de submersion et de l'importance de l'engorgement. Les sols hydromorphes très représentés sont presque en permanence sous l'influence des eaux. Leur domaine de répartition est inadapté à l'habitat humain, contrairement aux sols sableux des dunes littorales ou du Diéri qui sont à l'abri des crues du fleuve Sénégal.

1.4. La végétation et la faune

Le delta se trouve dans le domaine sahélien du bassin du fleuve Sénégal où la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 200 mm. La formation végétale typique est la steppe arbustive, essentiellement composée d'épineux et de graminées annuelles, adaptés à l'aridité du climat. Néanmoins, dans les cuvettes et les zones dépressionnaires, peuvent se développer des écosystèmes humides dotés d'une riche biodiversité, souvent érigés en aires protégées (parcs nationaux, réserves de faunes, sites Ramsar, forêts classées), lieu de refuge d'une faune, d'une flore et surtout d'une avifaune diversifiées.

Les zones submergées et marécageuses du delta sont occupées par une série d'écosystèmes humides qui se définissent en fonction de l'épaisseur de la couche d'eau : ils sont colonisés par des végétaux aquatiques. Radoux (1994) *in* UICN (1998) distingue dans ces écosystèmes le schéma type suivant :

- l'eau libre sans végétation supérieure avec une couche d'eau épaisse ;
- les prairies flottantes avec des hydrophytes libres comme *Pistia stratiotes*, *Lemna sp.*, *Ceratophyllum demersum*, etc. ;
- les prairies à hydrophytes fixés et feuilles flottantes qui fixent leurs racines sur le sol : *Potamogeton sp.*, *Ipomea aquatica*, etc. ;
- les prairies immergées à hydrophytes flottants ou fixés tels que *Nymphaea lotus*, *Nymphaea maculata*, *Echinochloa stagnina*, etc. ;
- la végétation semi aquatique ou hélophytes de bordure constitués de *Typha australis*, *Phragmites australis*, *Oryza sp.*, etc. ;
- les prairies humides à végétation herbacée composée de *Vetiveria nigritana*, *Vossia cuspidata*, *Cyperus sp.*, *Sporobolus robustus*, *Scirpus maririmus*, *Borreria verticillata*, etc. ;
- les formations denses à végétation ligneuse composée d'*Acacia nilotica*, *Tamarix senegalensis*, *Salvadora persica*.

A proximité de Saint-Louis, la slikke régulièrement submergée par la marée haute, est occupée par une mangrove rabougrie, localisée à hauteur de Dakar-Bango et au sud-ouest de Saint-Louis, en allant vers Gandiole. Ces palétuviers qui se trouvent près de la limite septentrionale de leur aire de distribution, sont répartis comme suit (fig. 18) dans la zone intertidale (Michel, 1973) :

- *Rhizophora racemosa* ou palétuvier rouge à racines échasses pousse sur les parties les plus basses de la slikke ;
- *Laguncularia racemosa* ou palétuvier noir sur les parties moyennes ;
- *Avicennia africana* ou palétuvier blanc à pneumatophores se trouve vers la limite du schorre.

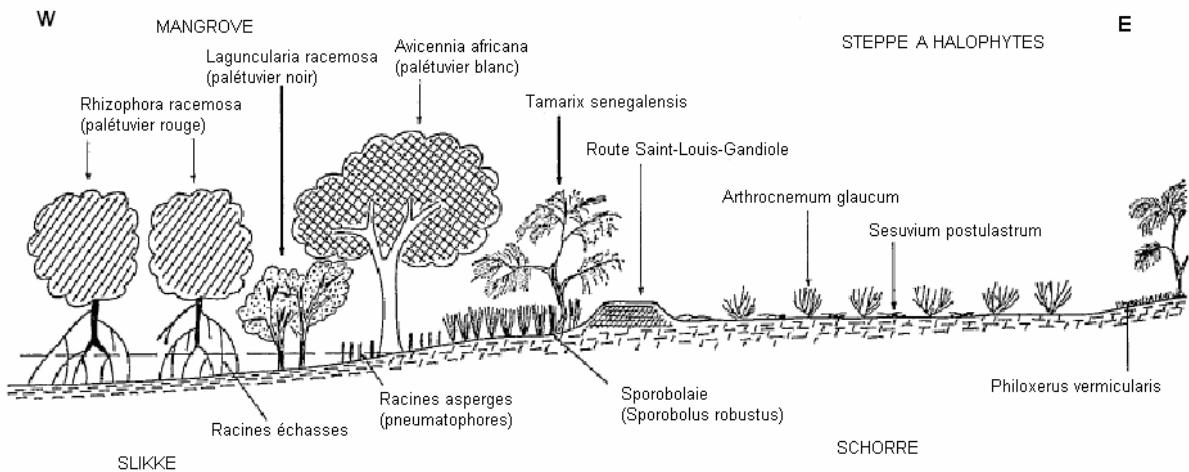


Figure 18 : Représentation schématique de la végétation dans le delta du fleuve Sénegal
d'après Naegele (1969), in Michel (1973)

La steppe présente des variantes à l'échelle régionale ou locale en fonction de la nature du terrain. Les sols plus ou moins salés, sablo-limoneux ou argileux du delta, portent une maigre steppe à halophytes qui est diversement composée en fonction de la nature du sol et du degré de salinité (Michel, 1973) :

- les parties hautes des formations deltaïques, limoneux-sableuses et très salées, soumises à une forte déflation éolienne sous l'action des alizés en saison sèche, comportent une succession de nebkhas aplatis, partiellement fixées par les herbacés *Salsola baryosma* et *Sporobolus spicatus* (fig. 19) ;
- les parties plus basses, au sol argilo-limoneux légèrement salé, portent souvent une steppe arbustive composée de *Tamarix senegalensis* et de grandes touffes de *Sporobolus robustus* ;
- les fonds de cuvettes submergées pendant plusieurs mois par les eaux de crue, accueillent des prairies aquatiques à *Oryza barthii*.

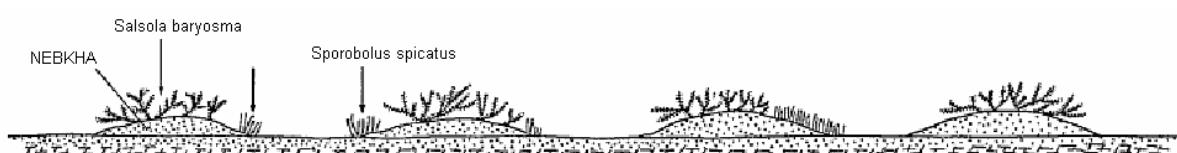


Figure 19 : Steppe à halophytes dans la zone de Ross-Béthio (d'après Naegele, 1969 in Michel, 1973)

La steppe se retrouve également sur les dunes littorales vives (blanches) avec quelques touffes de *Cyperus maritimus* et *Sporobolus spicatus* associées à des plantes rampantes comme *Scaevola plumieri*, *Ipomea pes-caprae* et *Alternanthera maritima*. Le sommet des dunes

littorales jaune ocre semi fixées, exposé aux alizés, est occupé par une steppe à *Aristida longiflora* et *Hyparrhenia dissoluta*. Par contre, les pentes plus à l'abri des vents, sont peuplées de buissons et d'arbrisseaux comme *Maytenus senegalensis*, *Parinari macrophylla* et *Chrysobalanus orbicularis*.

A l'arrière des dunes littorales semi fixées, s'étalent les Niayes, une série de dépressions marécageuses peuplées par une végétation relictuelle, caractéristique des milieux humides du Quaternaire récent. Trochain (1940) les rattache au domaine climatique sub guinéen. *Elaeis guinensis*, *Ficus congensis*, *Phoenix reclinata*, ainsi que la fougère *Cyclosurus goggilodus*, occupent le pourtour des Niayes. Les zones inondées par la remontée de la nappe phréatique sont colonisées par *Typha australis* et *Phragmites communis* tandis que le plan d'eau de surface est couvert d'une prairie aquatique composée surtout de *Pistia stratiotes* et *Nymphaea lotus*.

Les formations végétales des sols sableux du Diéri constituent (en saison des pluies) de bons pâturages pour les bovins et les petits ruminants des éleveurs transhumants qui exploitaient (avant les aménagements hydro-agricoles) les parcours de la plaine alluviale du delta et de la vallée, après le retrait des eaux de crue (en saison sèche).

Les écosystèmes humides du delta constituent également un habitat propice pour la faune, surtout aviaire, qui y trouve nourriture et refuge. Plusieurs aires protégées, reconnues au niveau international, y ont été érigées (tabl. 2, fig. 20).

Tableau 2 : Statut de quelques aires protégées dans le delta du fleuve Sénégal

Sites	Statut	Date	Superficie (ha)
NDIAEL	Réserve Spéciale de Faune	1965	46 550
	Site Ramsar	1977	
DJOUDJ	Parc National	1971	16 000
	Site Ramsar	1977	
	Patrimoine Mondial par l'UNESCO	1981	
GUEUMBEUL	Réserve Spéciale de Faune	1983	720
	Site Ramsar	1986	
LANGUE DE BARBARIE	Parc National	1976	2 000

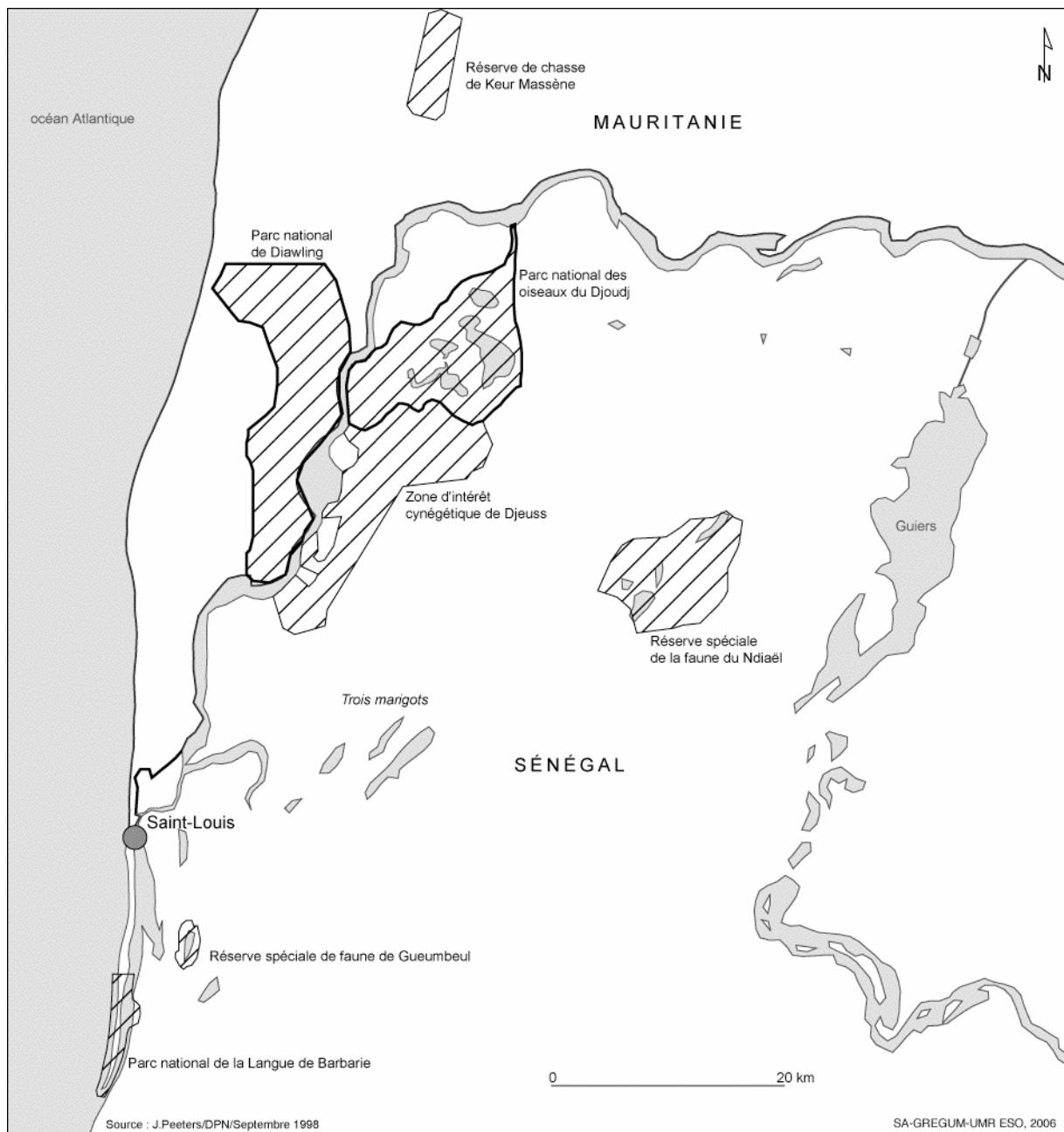


Figure 20 : Quelques aires protégées dans le delta du fleuve Sénégal, *in* Lavieren et al. (1990)

Selon Wetlands International (1996), les zones humides constituées par les trois marigots, la Zone d’Intérêt Cynégétique (ZIC) du Djeuss et les lagunes de Saint-Louis (vers Gandiole), remplissent les critères d’inscription en site Ramsar. Autrement dit, chacune de ces zones accueille, à un moment donné, plus de 1% de la population mondiale d’une espèce donnée. La plupart de ces oiseaux sont des migrants paléarctiques qui quittent l’Europe pendant l’hiver pour la nidification ; mais on y retrouve également des oiseaux africains comme le dendrocygne veuf, l’ibis falcinelle, le flamant rose, etc. Les effectifs recensés sur la rive

gauche du delta sont importants (IUCN, 1998) par rapport au total dénombré en Afrique de l'ouest (tabl. 3).

Tableau 3 : Effectifs comparés des populations d'oiseaux d'eau dans le delta du fleuve Sénégal et en Afrique de l'ouest *in* IUCN (1998).

Espèces ou groupes d'espèces	Delta sénégalais (1997)	Afrique de l'ouest (1996)
Pélicans blancs	5 000	11 850
Grand Cormoran	1 500	3 500
Héron bihoreau	5 100	3 400
Cigogne noire	19	49
Spatule blanche	1 018	1 898
Flamants rose	20 800	28 500
Dendrocygne veuf	32 400	65 100
Canard pilet	53 500	70 300
Sarcelle d'été	153 000	280 000
Grue couronnée	148	620
Avocette	2 300	5 000
Barge à queue noire	1 800	10 100
Bécasseau cocorli	374	315
Chevalier combattant	100 000	176 000
Mouette à tête grise	2 900	846
Sterne naine	123	174
Total espèces confondues	418 000	870 000

Les berges plus ou moins colonisées par la végétation aquatique, les forêts d'*Acacia nilotica*, les prairies à nénuphars, les plans d'eau plus ou moins profonds, les berges vaseuses, etc., constituent des habitats propices pour l'alimentation, la reproduction ou le repos de ces différentes espèces (fig. 21).

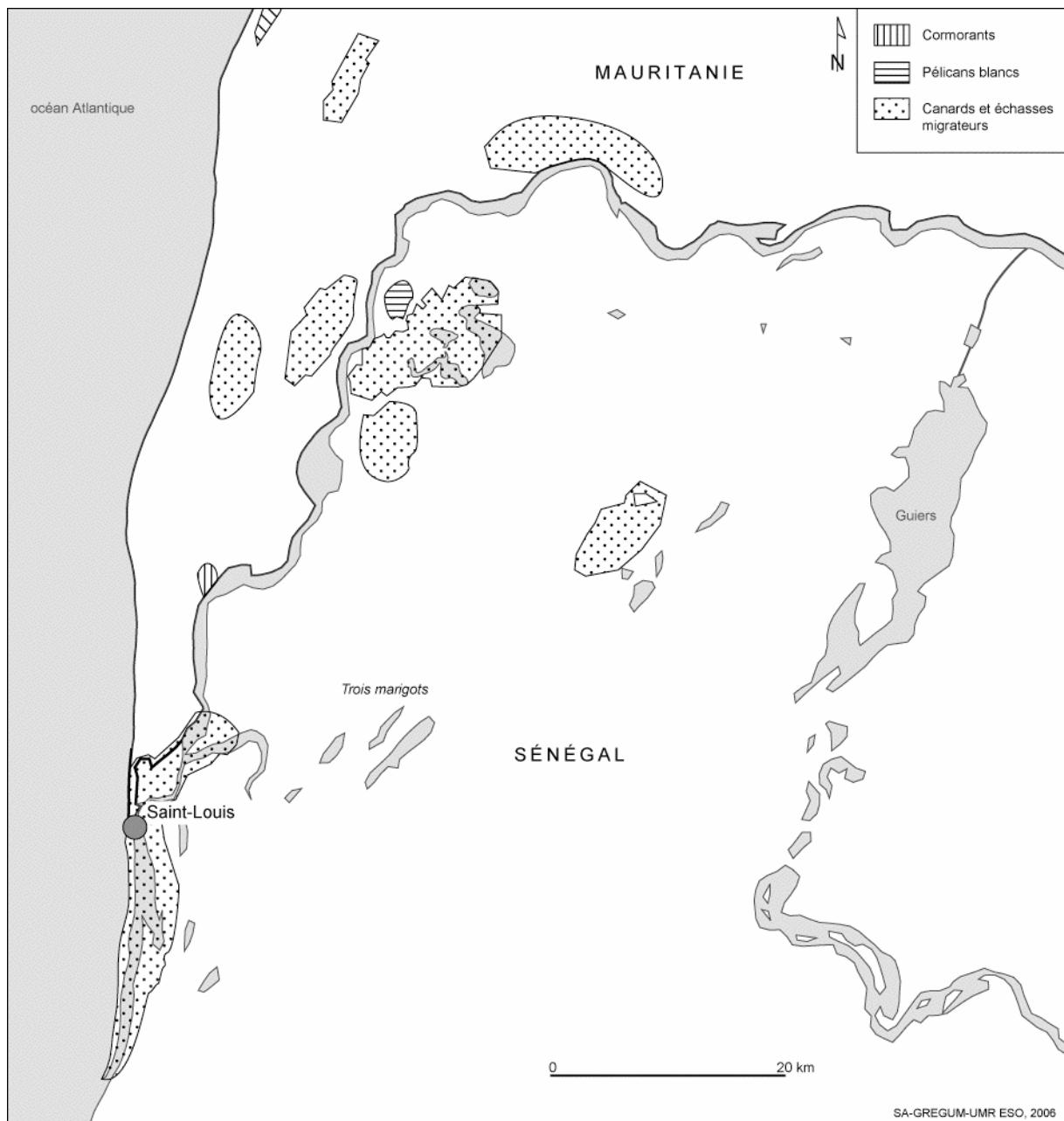


Figure 21 : Les principaux habitats de la faune aviaire dans le delta du fleuve Sénégal

d'après Lavieren et al. (1990)

La plupart des grands mammifères, autrefois présents dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal, ont disparu avec l'aridification du climat et la destruction de leurs habitats. Seuls quelques rares spécimens subsistent encore dans certaines aires protégées (tabl. 4). Par contre, certains reptiles sont encore abondants.

Tableau 4 : Les mammifères et reptiles dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal *in* UICN (1998)

Espèces	Statut	Localisation
Lamantin	Rare	
Cobe de Buffon	Très rare	Haute vallée
Cobe des roseaux	Disparu	
Gazelle dama	Elevage	Réserve de faune de Gueumbeul
Gazelle dorcas	Rare	Parc du Djoudj, Ferlo
Gazelle à front roux	Rare	Parc du Djoudj, Ferlo
Guib harnaché	Très rare	Haute vallée
Hippopotame	Peu commun Rare	Haute et moyenne vallée Delta
Hippotrague	Disparu	
Damalisque	Disparu	
Girafe	Disparu	
Phacochère	Commun à très commun	Haute vallée et delta
Lion	Disparu	
Panthère	Disparu	
Genette	Peu commun	Parc du Djoudj
Civette	Peu commun	Parc du Djoudj
Chat de Libye	Rare	Parc du Djoudj
Hyène tachetée	Disparu	
Oryctérope	Rare	Haute vallée
Chacal	Commun	Haute vallée et delta
Singe vert	Peu commun, troupes localisées	Réserve de faune de Gueumbeul
Patas	Assez commun, troupes localisées	Parc du Djoudj, Réserve de faune de Gueumbeul
Cynocéphales	Disparu	
Crocodile du Nil	Commun	Parc du Djoudj
Varan de terre	Rare à peu commun	
Varan du Nil	Commun	Tous les plans d'eau
Python de Séba	Commun	Parc du Djoudj
Vipère heurtante	Commun	Parc du Djoudj
Couleuvre sifflante	Commun	Parc du djoudj

La faune ichtyologique bénéficie de l'augmentation de la productivité dans les zones d'inondation, au moment de la montée des eaux de crue. A cette période, la végétation et les invertébrés terrestres sont abondants. Beaucoup d'espèces de poissons d'eau douce se reproduisent dans ces zones où les températures hivernales assez élevées sont favorables à la

croissance des juvéniles. IUCN (1998) distingue quatre groupes d'espèces de poissons en fonction de leur cycle biologique :

- les espèces holobiotiques dont tout le cycle se déroule dans le fleuve : c'est le cas de toutes les espèces d'eau douce ou continentale et des espèces strictement estuariennes;
- les espèces amphibiotiques à reproduction marine : ce sont la plupart des espèces marines dont les phases juvéniles et subadultes pénètrent dans le delta et la basse vallée ; dans certains cas, la phase estuarienne est obligatoire dans le cycle de l'espèce ;
- les espèces dont la phase estuarienne semble facultative et correspond plutôt à la recherche d'éléments nutritifs ;
- les espèces qui semblent se reproduire aussi bien en mer, dans la zone côtière, qu'au niveau de l'estuaire.

Les espèces d'eau douce se reproduisent dans le fleuve et ses défluents ainsi que dans les zones d'inondation en période de crue. Beaucoup d'alevins regagnent la basse vallée et le delta à partir de la zone de Bogué-Podor où se reproduisent exclusivement certaines espèces. La période de reproduction de certaines espèces euryhalines dans le delta, se situe de janvier-février à juillet-août, avec un maximum en mai-juin.

IUCN (1998) a approximativement déterminé la fréquence de différentes espèces de poisson dans quelques localités du delta. Les espèces de poisson les plus fréquentes à Saint-Louis sont *Sardinella maderensis*, *Ethmalosa fimbriata*, *Liza fascipinnus*, *Mugil cephalus*, *Dasyastis margarita*, *Saraotherodon melanotheron*, etc. A Richard-Toll, *Alestes dentex*, *Oreochromis nigrodigitatus*, *Bagrus bayad*, *Clarotes laticeps*, *Labeo senegalensis*, *Hydrocynus forskalii*, etc. sont les espèces les plus rencontrées. *Oreochromis niloticus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Hydrocynus forskalii*, *Alestes dentex*, *Hemichromis fasciatus*, *Clarias angularis*, etc. sont les espèces les plus fréquemment rencontrées à Dagana.

Conclusion

Des zones submergées par les eaux du fleuve Sénégal jusqu'en bordure des dunes du Diéri, se développent divers écosystèmes constitués d'espèces végétales adaptées au biotope. Les écosystèmes humides sont colonisés par une prairie flottante à hydrophytes libres comme *Pistia stratiotes* ou fixés comme *Ipomea aquatica*. On y retrouve également des prairies immergées à hydrophytes flottants ou fixés tels que *Nymphaea lotus* ou *Echinochloa stagnina*. La végétation semi-aquatique de bordure comprend *Typha australis*, *Phragmites australis*,

etc. tandis que les prairies humides sont colonisées par *Vetiveria nigritana*, *Vossia cuspidata*, *Sporobolus robustus*, etc. *Acacia nilotica*, *Tamarix senegalensis*, *Salvadora persica* constituent des formations végétales relativement denses.

L'interface fleuve-océan, la slikke, régulièrement submergée par la marée haute, comprend une mangrove clairsemée, avec *Rhizophora racemosa* qui occupe les parties les plus basses, *Laguncularia racemosa*, les parties moyennes et *Avicennia africana* localisée vers la limite du schorre.

Les sols salés sablo-limoneux ou argileux sont occupés par une steppe composée de diverses espèces adaptées à ces conditions. Les parties hautes très salées limono-sableuses sont le domaine de *Salsola baryosma* et *Sporobolus spicatus*. Les parties basses argilo-limoneuses sont colonisées par *Tamarix senegalensis*, *Sporobolus robustus* tandis que les fonds de cuvettes submergées par les crues, sont constitués de prairies aquatiques à *Oryza barthii*.

Quelques touffes de *Cyperus maritimus* et d'*Ipomea-pes-caprae* colonisent les dunes littorales vives. Par contre, sur le sommet des dunes littorales semi fixées, se développe *Aristida longiflora* tandis que les pentes sont occupées par *Maytenus senegalensis*, *Parinari macrophylla*. A l'arrière des dunes littorales, la série de dépressions marécageuses des Niayes, comprend une végétation de type guinéen comme *Elaeis guineensis*, *Ficus congensis*, *Phoenix reclinata*.

Ces différents écosystèmes qui constituent des habitats propices pour la reproduction, l'alimentation et le repos de la faune, ont engendré la création de plusieurs aires protégées reconnues au niveau international. C'est le cas des Réserves Spéciales de faune du Ndial (46 550 ha) et de Gueumbeul (720 ha) ainsi que du Parc National du Djoudj (16 000 ha). La faune aviaire très abondante dans ces aires, est constituée de migrants paléarctiques qui quittent l'Europe pendant l'hiver pour la nidification ; mais elle compte également des oiseaux africains comme le dendrocygne veuf, l'ibis falcinelle, le flamant rose, etc. En 1997, 48% des effectifs d'oiseaux recensés en Afrique de l'ouest étaient dénombrés dans le delta du fleuve Sénégal.

Contrairement aux oiseaux, la plupart des grands mammifères jadis présents dans le delta comme la girafe, le lion, la panthère, l'hyène tachetée, les cynocéphales, l'hippotrague, le damalisque, le cobe des roseaux, ont disparu. D'autres comme le lamantin, la gazelle dorcas, l'hippopotame se sont raréfiés. Par contre quelques troupes de singes comme les patas sont encore présentes tandis que les reptiles (crocodile du Nil, varan de terre, python de Séba, vipère heurtante) sont assez abondantes.

La faune ichtyologique comprend plusieurs groupes d'espèces caractérisés par leur cycle biologique qui peut se dérouler exclusivement dans le fleuve, en partie en milieu marin ou alternativement dans les deux milieux. Certaines espèces sont plus fréquemment rencontrées à Saint-Louis qu'à Richard-Toll ou Dagana et vice versa.

En définitive, la prise en compte de cette biodiversité dans la gestion de l'eau et la recherche de solution aux inondations des localités côtières comme Saint-Louis, est nécessaire. Une démarche intégrée est souhaitable pour prendre en compte les intérêts de la culture irriguée, la protection des localités côtières et la préservation de la diversité biologique.

2. Le contexte socio-économique

Les caractéristiques socio-économiques du delta sont utiles dans la détermination des impacts de la montée des eaux sur la population. Ainsi, nous aborderons la démographie et les activités économiques.

2.1. Les aspects démographiques

La zone d'étude se situe dans la région de Saint-Louis qui compte trois départements : Dagana, Podor et Saint-Louis. Elle correspond globalement aux départements de Dagana et de Saint-Louis (fig. 22).

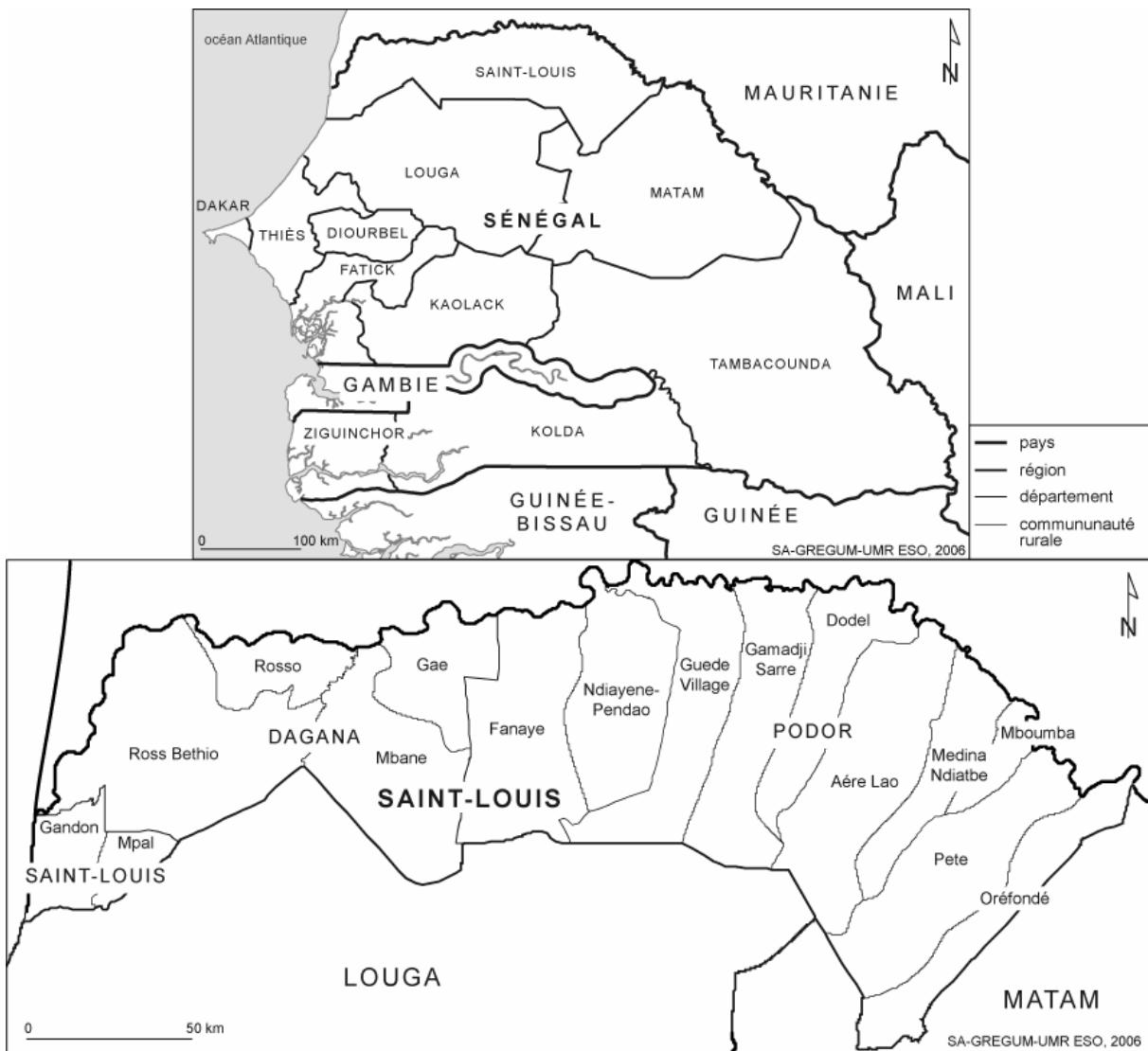


Figure 22 : Découpage administratif de la région de Saint-Louis.

Ces deux départements couvrent une superficie de 6 087 km² pour une population de 453 896 habitants (tabl. 5).

Tableau 5 : Densité de population dans la zone d'étude. Source : DPS (2003)

Départements	Population		Superficie		Densité (habitants/km ²)
	Effectif	%	km ²	%	
Dagana	216 080	33,5	5 208	27,4	41
Podor	190 757	29,6	12 947	68,0	15
Saint-Louis	237 816	36,9	879	4,6	271
Total région	644 653	100,0	19 034	100,0	34

Le département de Saint-Louis, le plus exposé à la montée des eaux, est en même temps, le plus peuplé avec une forte densité de 271 habitants/km² (5% du territoire régional pour 40% de la population). Le département de Saint-Louis est issu de celui de Dagana et comprend la

commune de Saint-Louis et les communautés rurales de Gandon et de Mpal (tabl. 6). Le département de Dagana est composé des arrondissements de Mbane (communautés rurales de Mbane et Gaé) et de Ross-Béthio (communautés rurales de Ross-Béthio et de Rosso Sénégal).

Tableau 6 : Répartition de la population dans les communes et communautés rurales. Source : DPS (2003)

Départements	Arrondissements	Communautés rurales	Nombre d'habitants en 2001
Dagana	Mbane	Gaé	18 874
		Mbane	29 042
		Total arrondissement	47 916
	Ross-Béthio	Ross-Béthio	45 794
		Rosso Sénégal	24 156
		Total arrondissement	69 950
Saint-Louis	Rao	Gandon	38 135
		Mpal	18 732
		Total arrondissement	56 867
	Population rurale		174 733
Communes	Communes	Saint-Louis	174 017
		Dagana	25 245
		Richard-Toll	64 874
	Population urbaine		264 136
	Total département		438 869

La zone d'étude couvre trois communes : Saint-Louis, Richard-Toll et Dagana. La commune de Saint-Louis est de loin la plus peuplée avec 174 017 habitants (cinquième rang au niveau national) contre seulement 64 874 pour Richard-Toll et 25 245 pour Dagana.

La commune de Saint-Louis, située entre le fleuve et l'Océan Atlantique, bâtie par endroits sur d'anciennes vasières et présentant un relief bas (en moyenne inférieure à 2,5 m), s'avère la plus menacée par les inondations. La ville, d'abord construite sur la partie insulaire, s'est progressivement étendue à la périphérie (Sor), essentiellement pour accueillir la population rurale, à la suite de la crise économique engendrée par les deux grandes guerres. La population passe ainsi de 48 800 habitants en 1961 à 81 204 en 1970 (DUA, 2003). L'exode rural s'est accentué pendant la période de sécheresse des années 1970. Cette forte croissance démographique fut à l'origine de l'émergence de quartiers irrégulièrement occupés, ne correspondant à aucune norme d'urbanisation. Déjà, entre 1960 et 1963, le quartier irrégulier de Pikine a commencé à empiéter sur les zones basses soumises aux inondations (DUA, 2003). A ce jour, ce phénomène se poursuit avec l'occupation effrénée des parties visiblement à risque (périphérie du marigot de khor), ceinturées, certes, par les digues mais qui sont toujours sous la menace de la stagnation des eaux de pluies et de la remontée de la nappe phréatique. L'occupation irrégulière des sites représentait 36,6% de la surface habitée en 1998

(DUA, 2003). Le rythme d'exécution du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDUA) élaboré en 1975 n'a pas permis de stopper le phénomène. Le SDUA, préconisait l'extension de la ville de Saint-Louis vers le quartier de Ngallèle, situé sur des dunes sableuses, plus à l'abri des eaux de crue et des inondations pluviales. Cette proposition est reprise dans le nouveau Plan Directeur de l'Urbanisme (PDU) pour l'horizon 2025 élaboré en 2003 et est en cours d'exécution.

La commune de Saint-Louis comprend 22 quartiers (sur 4 599,16 ha) diversement peuplés avec un mode d'occupation spatio-temporelle différent (tabl. 7, fig.23).

Tableau 7 : Répartition de la population de la commune de Saint-Louis par quartier

Source : Service Régional de la Prévision et de la Statistique (2003) et DUA (2003)

Quartiers	Superficie (ha)	Nombre de concessions	Nombre d'habitants	Densité (Nombre d'habitants/ha)
Bas Guet Ndar	116,2	1371	12 724	110
Haut Guet Ndar	21,6	1069	9 516	441
Bas Ndar Toute	14,1	346	3 860	274
Haut Ndar Toute	18,2	558	3 587	197
Goxu MBacc	53,3	1355	12 829	241
Haut Nord	29,9	406	4 418	148
Centre Nord	19,3	541	4 485	232
Sud	23,8	449	4 518	190
Diamaguène	46,8	1091	11 399	244
Sor Nord	41,7	840	11 611	278
Balacoss	28,9	1247	5 793	200
Darou	-		8 400	
Ndiolofène Nord	44,2	891	6 151	139
Ndiolofène Sud	172,2	1158	10 535	61
Léona	68,6	879	14 373	210
Eaux claires	46,8	1245	8 579	183
Pikine I	35,9	561	8 219	229
PikineII	66,5	2011	20 578	309
Pikine III	-	1002	-	
Khor	79,3	293	4 468	56
Dakar- Bango	38	469	4 706	124
Ngaléllé	21	192	3 753	179
Total		17 969	174 502	

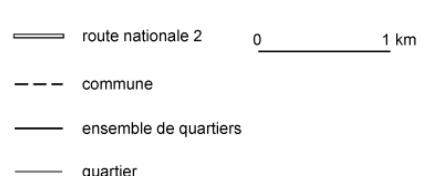
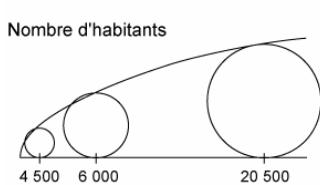
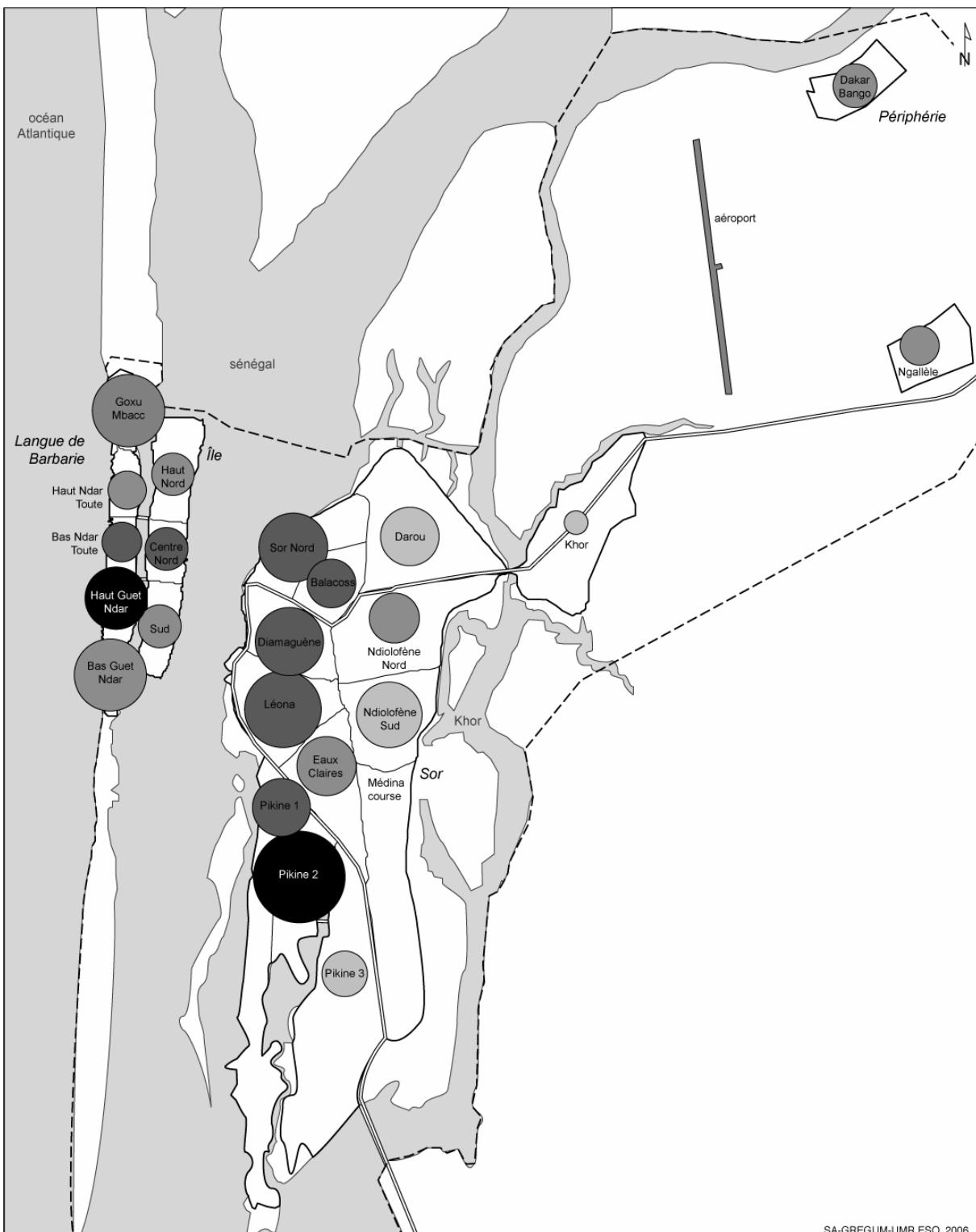


Figure 23 : Contexte géographique de la commune de Saint-Louis et répartition de la population, M. Sall (2006)

Quatre groupes de quartiers se dégagent en fonction du nombre d'habitants :

- les quartiers très peuplés qui regroupent entre 6 et 11% de la population communale ; il s'agit de Pikine II (11%), Léona (8%), Bas Guet Ndar et Goxu Mbacc (7%), Diamaguène, Sor Nord et Ndiolofène Sud (7%) ;
- les quartiers peuplés qui comptent 5% de la population : Haut Guet Ndar, Darou, Pikine I et Eaux claires ;
- les quartiers moyennement peuplés où se retrouvent 3% du nombre total d'habitants de la ville : Balacoss, Ndiolofène Nord, Sud, Pikine III et Bango ;
- les quartiers les moins peuplés avec 2% de la population totale : Bas Ndar Toute, Haut Ndar Toute, Haut Nord, Centre Nord, Khor et Ngallèle.

Quatre groupes de quartier se dégagent également en fonction de la densité de la population (fig. 23) :

- les quartiers caractérisés par une population très dense, supérieure à 300 habitants/ha : Haut Guet Ndar et Pikine II ;
- les quartiers denses, entre 200 et 300 habitants/ha : Sor Nord, Bas Ndar Toute, Diamaguène, Goxu Mbacc, Centre Nord, Pikine I, Léona, Balacoss ;
- les quartiers moyennement denses, entre 100 et 200 habitants/ha : Haut Ndar Toute, Haut Guet Ndar, Sud, Léona II, Ngallèle, Haut nord, Ndiolofène nord, Dakar-Bango ;
- les quartiers caractérisés par une faible densité de la population, inférieure à 100 habitants/ha : Ndiolofène sud, Khor, Darou, Pikine III.

Conclusion

Les départements de Dagana et de Saint-Louis qui correspondent globalement à la zone d'étude, couvrent une superficie de 6 087 km² pour une population de 453 896 habitants. Plus de 52% de cette population se trouve dans le département de Saint-Louis qui n'occupe que 14% de la superficie totale, soit une densité de 271 habitants/km². Par contre, le département de Dagana regroupe 48% de la population de la zone d'étude sur 86% de la superficie totale soit une densité de 41 habitants/km².

La zone d'étude couvre trois communes : Saint-Louis, Richard-Toll, Dagana. Saint-Louis, la capitale régionale, est la plus peuplée avec 174 017 habitants soit 38% de la population totale de la zone d'étude et 66% de la population communale. Cette commune qui est traversée par deux bras du fleuve Sénégal, est en contact avec l'Océan Atlantique et se caractérise par un relief faible, en moyenne inférieur à 2,5 m : elle est sous la menace des inondations. La

commune de Saint-Louis comprend 22 quartiers diversement occupés dans le temps et dans l'espace. La ville est d'abord construite sur la partie insulaire avant de s'élargir vers la périphérie, dans la zone de Sor, avec l'arrivée massive des populations rurales, d'abord à la suite de la crise économique engendrée par les deux grandes guerres puis avec la sécheresse intervenue dans le Sahel dans les années 1970. Les zones ainsi irrégulièrement occupées s'étendent sur les anciennes vasières et représentaient en 1998, 37% de la surface habitée, augmentant les risques d'inondation.

Des quartiers densément peuplés comme Pikine II (309 habitants/ha), Sor nord (278 habitants/ha), Pikine I (229 habitants/ha), Léona (210 habitants/ha), Balacoss (200 habitants/ha) sont situés sur d'anciennes vasières peu perméables et soumises à la remontée de la nappe phréatique. Par contre, les quartiers de Ngallèle (179 habitants/ha) et de Dakar-Bango (124 habitants/ha) qui ont une densité de population moyenne, sont situés sur des dunes sableuses, plus à l'abri de la montée des eaux et favorables à l'infiltration. De ce fait, la stratégie d'extension de la commune vers ces secteurs, proposée dans le plan directeur d'urbanisme élaboré en 2003, est tout à fait logique.

2.2. Les activités économiques

L'économie de la région est encore dominée par les activités rurales (agriculture, élevage pêche) qui occupent 70% de la population active. Un pôle agro-industriel est localisé dans le département de Dagana.

L'agriculture est très diversifiée et se présente sous plusieurs formes.

La **culture irriguée** (75 000 ha de terres aménagées par la SAED et les privés) est pratiquée dans le Oualo et les Niayes (du Gandiolais) ; les principales spéculations pratiquées dans le Oualo sont le riz, le sorgho, le maïs, la tomate, l'oignon et la patate douce. Le coton est également réintroduit depuis 1996. Dans les Niayes, l'oignon et divers légumes sont cultivés. Le riz atteint des rendements de 5 à 6 T/ha, le maïs et le sorgho tournent autour de 2 à 3 T/ha tandis que la tomate produit en moyenne 20 à 30 T/ha (SRPS, 2003).

La canne à sucre et la tomate sont les principales cultures industrielles. La culture de la canne à sucre est dévolue à la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) qui produit en moyenne 850 T/an avec un rendement de 102 à 127 T/ha et plus de 30 000 T de mélasse par an. La tomate industrielle est gérée par la Société de Conserves Alimentaires du Sénégal (SOCAS).

Les **cultures de décrue** sont pratiquées surtout dans le département de Dagana, le long des berges du fleuve après le retrait des eaux de crue. Elles concernent principalement le sorgho,

le maïs, le niébé, la patate douce et présentent une évolution très irrégulière (tabl. 8). L'activité est actuellement destabilisée par les crues limitées du fleuve.

Tableau 8 : Evolution des cultures de décrue. Source : Direction Régionale du Développement Rural (DRDR) de Saint-Louis *in Service Régional de la Prévision et de la Statistique (SRPS)* (2003)

Années	Départements	Sorgho		Maïs		Niébé		Patate	
		Sup. (ha)	Prod. (T)						
1988/89	Dagana	1 064	222			646	102	676	2 488
	Podor	15 107	9 666	48	42	2 728	1 599		
	Total Région	16 171	9 888	48	42	3 374	1 701	676	2 488
1991/92	Dagana	240	101	73	58	11	7	202	60
	Podor	1 856	681						
	Total Région	2 096	782	73	58	11	7	202	60
1996/97	Dagana	964	552	5	1	292	73	2 160	15 366
	Podor	4 783	1 387	-	-			381	2 751
	Total Région	5 747	1 939	5	1	292	73	2 541	18 117

La **culture sous pluie** est pratiquée dans les terres sableuses du Diéri mais est de plus en plus marginalisée à cause de son caractère aléatoire. Les principales spéculations sont le mil, l'arachide, le niébé et le béréf. Les superficies cultivées sont très variables d'une année à l'autre ; par exemple pour le mil, 20 711 ha ont été emblavés en 1996 contre 3 405 ha seulement en 2001 (SRPS, 2003). En tenant compte de l'ensemble des spéculations, les superficies sont passées de 24 325 ha en 1997/1998 à 69 765 ha en 2000 et 92 875 ha en 2001. Les rendements sont en général faibles : le sorgho dépasse à peine 500 kg/ha tandis que l'arachide faisait 300 kg/ha en 1990 contre 600 à 700 kg/ha en 2001.

L'**élevage** essentiellement des bovins et des petits ruminants constitue une activité importante dans la région de Saint-Louis (tabl. 9); il est de type extensif basé sur l'exploitation saisonnière des pâturages du Diéri. L'activité a été affaiblie par le développement des aménagements hydro agricoles qui n'en ont pas suffisamment tenu compte.

Tableau 9 : Cheptel de la région de Saint-Louis. Source : Inspection Régionale de l'Elevage *in SRPS*, 2003

Année	Départements	Bovins	Ovins	Caprins	Equins	Asins	Camelins	Volailles
2002	St-Louis	10 000	8 500	10 000	800	1 500	90	15 000
	Dagana	70 000	25 000	35 000	2 700	9 500	110	70 000
	Podor	200 000	500 000	550 000	27 000	47 000	550	1 250 000
	Total	280 000	533 500	595 000	30 500	58 000	750	1 335 000

La **Pêche** revêt deux formes dans la région.

La **pêche continentale** est pratiquée le long du fleuve Sénégal, des marigots défluentes et des lacs. Jadis très dynamique, l'activité occupait 10 000 pêcheurs en 1974 ; ce nombre est estimé

entre 2000 et 2500 en 2001 (DUA, 2003). La rareté du poisson dans ces zones, suite à la sécheresse et à la mise en place des ouvrages hydro agricoles a entraîné son déclin.

La **pêche maritime** se développe dans le département de Saint-Louis essentiellement au niveau des quartiers et des villages localisés sur la Langue de Barbarie. La quasi-totalité de ces populations s'y adonnent. Elle occupait plus de 17 000 pêcheurs en 2001 où la production fut de 32 751 T de poissons pour une valeur de 6 202 millions de FCFA (SRPS, 2003). La pêche fournit en moyenne 26 553 T de poissons par an aux autres régions du pays.

Le **tourisme** : la région de Saint-Louis est la quatrième destination touristique du pays après celles de Dakar, Thiès et Ziguinchor. L'activité touristique est essentiellement circonscrite dans la commune de Saint-Louis et ses environs où sont concentrés près de 90% des réceptifs. L'île de Saint-Louis, classée patrimoine mondial par l'UNESCO, les parcs de faune, les zones de chasse et les sites historiques constituent les principales attractions. Le tourisme a généré 4 milliards de FCFA en 1996 et produit 275 emplois directs.

L'industrie : Elle est surtout constituée d'entreprises agro-industrielles concentrées dans le département de Dagana ; il s'agit principalement de l'usine de sucre de la CSS, des usines de transformation de la tomate de la SOCAS, de rizeries, d'agro-services, etc.

Conclusion

L'économie de la région est surtout basée sur des activités rurales comme l'agriculture, l'élevage et la pêche qui occupent 70% de la population active. De ce fait, à l'exception de la pêche maritime, elles sont surtout développées dans le département de Dagana. L'agriculture est pratiquée sous forme irriguée dans la plaine alluviale, avec comme principales spéculations le riz (5 à 6 T/ha), la canne à sucre (102 à 127 T/ha), le sorgho (2 à 3 T/ha), le maïs (2 à 3 T/ha), la tomate (20 à 30 T/ha), l'oignon, la patate douce. 75 000 ha de terres sont aménagés par la SAED et les privés. Les cultures de décrue pratiquées exclusivement dans le département de Dagana concernent le sorgho, le maïs, le niébé, la patate douce ; elles sont moins importantes depuis la mise en place des digues et des barrages qui réduisent les superficies inondées par les crues naturelles. Les cultures sous pluies du mil, de l'arachide, du niébé, du beref, ont régressé avec la sécheresse intervenue dans le domaine sahélien. Les superficies cultivées de mil ont été six fois moins importantes entre 1996 (20 711 ha) et 2001 (3 405 ha). En ce qui concerne l'élevage, 88% des effectifs de bovins de la zone d'étude, se trouvent dans le département de Dagana ; ce chiffre est de 75% pour les ovins, 77% pour les caprins, 86% pour les asins, 55% pour les camelins et 82% pour la volaille. La pêche continentale a également beaucoup régressé avec la réduction des zones de reproduction des

poissons. Le nombre de pêcheurs est cinq fois moins important en 27 ans ; il est passé de 10 000 en 1974 à environ 2000 en 2001. Quant à la pêche maritime, elle est pratiquée dans le département de Saint-Louis par les populations de la Langue de Barbarie (Guet Ndar) et des villages situées le long du littoral. En moyenne, près de 25 000 tonnes de poissons sont annuellement fournis aux autres régions du pays.

Les monuments et autres sites historiques ainsi que l'île de Saint-Louis, classée patrimoine mondial par l'UNESCO et les parcs de faune, contribuent à faire de la région la quatrième destination touristique du pays.

Les industries sont peu développées et sont représentées par des entreprises agro-industrielles localisées dans le département de Dagana comme les usines de sucre de la CSS et de tomate de la SOCAS.

II. La présentation des données

Plusieurs types de données provenant de diverses sources (tabl. 10) ont été utilisés dans le cadre de ce travail. La pertinence des résultats obtenus et des conclusions tirées, dépend fortement de la qualité de ces données.

Les données relatives au climat (pluviométrie, température, insolation, évaporation) sont pour la plupart, directement recueillies auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Celles de la station de Labé en Guinée proviennent de la littérature. Les données climatiques sont nécessaires dans la caractérisation des conditions hydrologiques de la zone d'étude. L'exploitation des données pluviométriques a permis de déterminer des périodes d'abondance et des périodes déficitaires, qui sont corrélées aux flux hydrologiques. Une grande variabilité interannuelle de la pluviométrie a également été mise en évidence. Les données pluviométriques sont surtout recueillies sous forme de totaux mensuels à partir desquels nous avons calculé les moyennes mensuelles et les totaux annuels. La lecture et la transmission des données peuvent constituer des sources d'erreur ; mais dans l'ensemble, le réseau de la Météorologie Nationale s'est modernisé avec l'acquisition de stations automatiques, accompagnée d'un parc informatique adéquat qui permet une meilleure gestion des bases de données. Les conclusions issues du traitement des données climatiques sont fiables.

Les données hydrologiques, océaniques et topographiques sont les données essentielles utilisées dans cette étude. Les données de hauteurs d'eau sur le fleuve Sénégal sont des moyennes journalières à partir desquelles nous avons calculé les valeurs annuelles. Elles sont

collectées sur une période pluri décennale (au Service Régional de l'Hydraulique de Saint-Louis) et permettent d'identifier, par des méthodes statistiques, les niveaux d'eau du fleuve susceptibles d'engendrer des inondations dans la ville de Saint-Louis (crues décennale et centennale). Les plus anciennes données de cette série pouvaient souffrir d'imprécision au moment de la collecte sur le terrain et pendant la saisie. Mais elles ont été corrigées et harmonisées dans la monographie du bassin du fleuve Sénégal (Rochette, 1974). Leur fiabilité a augmenté actuellement du fait de la modernisation progressive des stations qui sont dotées d'un système de transmission plus efficace. On peut ainsi parfaitement accorder une grande confiance à la valeur des crues décennale et centennale à Saint-Louis calculées à partir des données de hauteur d'eau. Il en est de même des débits mesurés dans les différentes stations ; ils ont permis de calculer les flux d'eau à la station de Bakel dans le bassin supérieur et à celle de Dagana, à l'entrée du delta.

Les données océaniques sont exclusivement tirées de la littérature ; les niveaux d'élévation prévue de la mer d'ici à 2 100, utilisés dans ce travail, sont issus des modèles de prévision du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur les Changements Climatiques (GIEC). Leur précision relève de la qualité des modèles utilisés qui ont connu une nette amélioration ces dernières années.

Les informations hydrogéologiques ont été tirées de la littérature, en particulier à partir des rapports du projet « eaux souterraines, OMVS/USAID » ; elles proviennent essentiellement d'un dense réseau de piézomètres captant surtout les couches du Quaternaire et du Continental Terminal dans la zone de Dagana. Elles ont surtout permis de décrire le contexte hydrogéologique (relation entre aquifères, système de recharge et de drainage de la nappe superficielle, influence du cours d'eau, des périmètres hydro-agricoles et des cuvettes).

Les données spatiales comme les images satellitaires (Landsat ETM+ : 30 m x 30 m) et les photographies aériennes (1/60 000) présentent des limites au niveau de la résolution spatiale. Cependant, à l'échelle de la zone d'étude, les images donnent une bonne appréciation d'ensemble ; elles ont permis de réaliser la cartographie de l'occupation/utilisation du sol à partir de laquelle, les zones inondables les plus remarquables ont été repérées. Elles gravitent essentiellement aux alentours de la commune de Saint-Louis, permettant ainsi de concentrer le travail dans ce secteur. Les photographies aériennes ont été très utiles dans la délimitation des différents quartiers de la ville, nous donnant ainsi la possibilité de faire les analyses à cette échelle.

Les données analogiques comme les cartes topographiques utilisées pour la toponymie et l'acquisition de certaines couches de vecteurs (routes, pistes,...) datent des années 1950 ; elles

ne sont pas tout à fait actuelles et sont disponibles, au meilleur des cas, à l'échelle du 1/50000. Mais, complétées par les données spatiales plus récentes, elles fournissent des informations appréciables sur l'occupation du sol et sont très utiles pour les travaux de terrain.

Les levées topographiques au 1/10 000 réalisées par l'OMVS en 1980 sur la ville de Saint-Louis sont également précises ; elles comportent des courbes de niveau équidistantes de 1 m et des points cotés qui ont permis de confectionner un Modèle Numérique de Terrain (MNT) fiable sur la commune. La détermination des superficies inondées dans les quartiers de la commune par différents niveaux de montée combinée des eaux du fleuve et de l'Océan Atlantique est faite à partir de ce MNT.

Les données socio économiques relatives à la démographie et aux activités économiques dans la zone d'étude, ont été collectées au service régional de la statistique à Saint-Louis. Elles ont surtout servi à déterminer la densité de la population par quartier dans la commune de Saint-Louis. Ce paramètre est important dans l'évaluation du nombre de personnes sinistrées à partir des superficies inondées par la montée des eaux dans les différents scénarios.

Tableau 10 : Synthèse des données utilisées

Types de données	Nature des données	Stations ou ouvrages de collecte	Période	Résolution/ Echelle, niveau d'acquisition	Sources/Origines	Source d'erreur ou d'imprécision possible
Climatiques	Pluviométrie (mm)	Bakel	1950-2004	Totale mensuelle et annuelle	Direction de la Météorologie Nationale (DMN)	Erreur de lecture, de transmission et/ou de saisie
		Kédougou	1950-2004		Olivry (1892-1900) et DMN (1900-2004)	
		Richard-Toll	1962-2000			
		Saint-Louis	1892-2004			
		Labé	1923-1993	Moyenne mensuelle	Coly (1996)	
	Evaporation Piche (mm)	Bakel	1980-2000	Moyenne mensuelle	Direction de la Météorologie Nationale (DMN)	
		Kédougou	1953-2001			
		Saint-Louis	1951-2002			
		Labé	7 ans		Rochette (1974)	
	Insolation (heures)	Bakel	1984-2001	Moyenne mensuelle	Direction de la Météorologie Nationale (DMN)	
		Kédougou	1967-2002			
		Saint-Louis	1951-2003			
		Labé	5 ans		Rochette (1974)	
	Température (°C)	Bakel	1980-2001	Moyenne, minimale, maximale mensuelle	Direction de la Météorologie Nationale (DMN)	
		Kédougou	1962-2001			
		Saint-Louis	1950-2002			
		Labé	1971-1980		Coly (1996)	
Hydrologiques	Hauteur d'eau (m IGN)	Bakel	1904-2004	Moyenne journalière	Service Régional de l'Hydraulique à Saint-Louis	
		Dagana	1903-2004			
		Saint-Louis	1964-2003			

	Débit (m ³ /s)	Bakel	1904-2004	Moyenne journalière		
	Dagana		1903-1989	Moyenne journalière	Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE)	
Océano-graphiques	Niveau marin (m)	A l'échelle mondiale			Modèles de prévision (GIEC, 2001)	Modèles
Spatiales	Images satellitaires	Landsat ETM+	Octobre 1999	30 m x 30 m	Base de données du CSE	Correction géométrique, classification (interprétation)
		Landsat ETM+	Juin 2002	30 m x 30 m		
	Photographies aériennes		1998	1/60 000	Service du Cadastre (Dakar)	
Cartographiques	Cartes topographiques	Feuilles de Saint-Louis (4a, 4b, 2c, 2d, 2a, 2b)	1950	1/50 000	Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC)	Ancienneté de la donnée, échelle
		Feuilles de Louga (3b, 4a, 4b, 3d, 4c, 4d)	1950			
		Feuilles de Saint-Louis, Linguère, Dagana, Louga	1950	1/200 000		
	Levées topographiques		1980	1/10 000	OMVS	Numérisation
Socio-économiques	Démographiques	Population, densité	2001, 2002	Départements de Saint-Louis et de Dagana	Service Régional de la Statistique	Erreur de lecture, de transmission et/ou de saisie
	Agricoles	Production, rendement	1988, 1991, 1996, 2002	Départements de Saint-Louis et de Dagana		
	Sociales	Nombre de sinistrés (suite aux inondations)	1998	Commune de Saint-Louis	Service régional du développement Social	

III. Les conditions climatiques à l'échelle du bassin du fleuve Sénégal

Dans ce chapitre, nous tenterons de montrer l'influence (apports et pertes) des paramètres climatiques sur les écoulements dans le bassin du fleuve Sénégal. Les écoulements sont caractérisés par plusieurs paramètres liés d'une part au bassin versant (pente, fond de vallées, nappe, irrégularité, etc.) et d'autre part aux conditions climatiques. La prise en compte de tous ces paramètres étant complexe par rapport à notre étude, nous limiterons à l'exploitation des données climatiques liées au bilan hydrique, à l'échelle du bassin versant du fleuve Sénégal. Les éléments du climat jouent un rôle sur le bilan hydrique, à divers degrés et par différents mécanismes. Les principaux paramètres que nous aborderons, à l'échelle du bassin versant du fleuve Sénégal, sont la pluviométrie, la température, la durée d'insolation, les vents

et l'évaporation. Ils varient sensiblement en fonction des saisons et dans les différents domaines climatiques du bassin du fleuve Sénégal.

Un système de collecte de données climatiques de plus en plus efficace

Pendant l'époque coloniale, les structures du développement rural (Eaux et Forêts, Agriculture, Elevage) et les instituts de recherche comme l'ORSTOM (actuellement IRD), ont essentiellement assuré la collecte des données climatiques dans les différents pays du bassin du fleuve Sénégal. Après les indépendances, ce rôle a été dévolu, dans les différents pays, aux Directions Nationales de la Météorologie (DMN) qui disposent d'un réseau de stations hiérarchisées à l'échelle nationale.

Ainsi, on distingue en fonction des paramètres mesurés, selon la classification de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), les stations :

- synoptiques qui mesurent l'ensemble des paramètres climatiques ;
- climatologiques qui mesurent les températures maximales et minimales ainsi que la pluviométrie quotidienne ;
- agro-météorologiques qui mesurent la pluviométrie, la température, l'humidité relative, les vents.

A cela s'ajoutent les postes pluviométriques qui n'enregistrent que les quantités de pluies quotidiennes.

La station pluviométrique de Saint-Louis (Sénégal), créée en 1854, est la plus ancienne dans le bassin du fleuve Sénégal. Dans les autres pays du bassin, les premières stations sont créées à Kayes au Mali en 1895, à Kaédi en Mauritanie en 1905 et à Labé en Guinée en 1918.

La création d'institutions comme le Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) et l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne (ASECNA), a permis la collecte et la gestion de données climatiques à l'échelle sous régionale. Ceci a engendré la mise en place de banques de données favorisant une meilleure accessibilité et une plus grande diffusion de l'information. Les stations entièrement automatisées sont encore rares mais des efforts importants ont été consentis dans la transmission des données, à la faveur du développement des moyens de communication et de l'informatique.

Trois grands domaines climatiques dans le bassin du fleuve Sénégal

Le gradient pluviométrique croissant du nord au sud du bassin du fleuve Sénégal, détermine trois grands domaines climatiques Sow (1984) : sahélien, soudanien, guinéen (fig. 24).

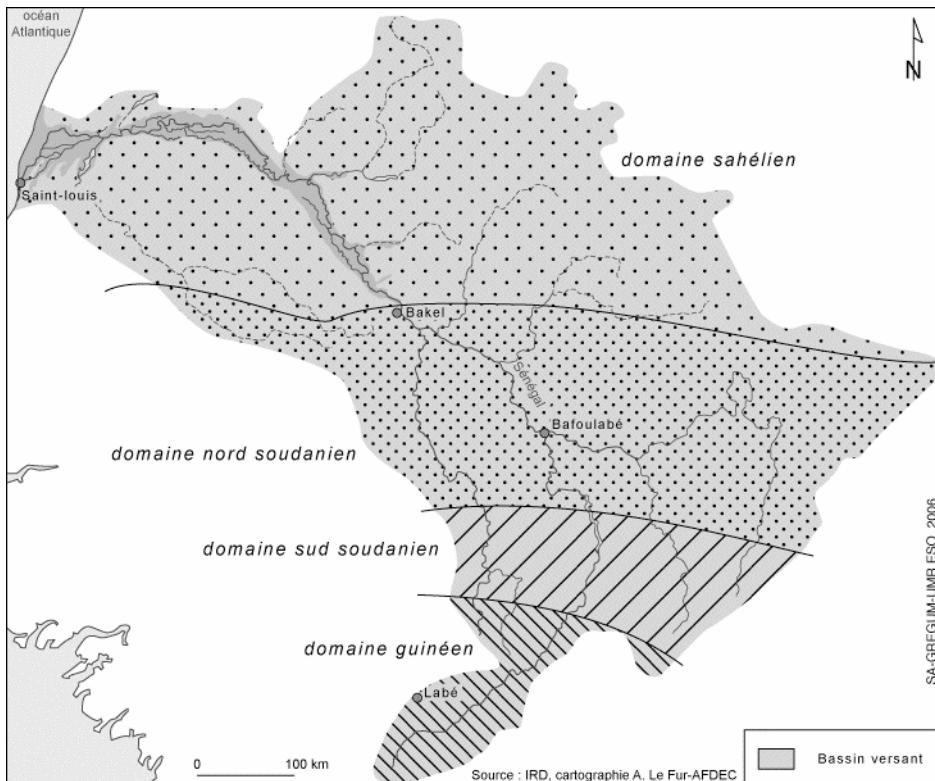


Figure 24 : Les différents domaines climatiques du bassin du fleuve Sénégal (d'après Sow, 1984)

- le *domaine sahélien*, qui occupe pratiquement la moitié nord du bassin, de la latitude $15^{\circ} 00'$ Nord au-delà de $17^{\circ} 00'$ Nord ; il englobe toute la partie du bassin au nord de Bakel jusqu'au delta ;
- le *domaine soudanien nord et sud*, de la ligne incurvée entre les latitudes $12^{\circ} 50'$ Nord et $11^{\circ} 50'$ Nord jusqu'à la latitude $15^{\circ} 00'$ Nord ; le domaine soudanien sud comprend le nord du Fouta Djalon et la partie ouest du plateau mandingue tandis que le domaine soudanien nord complète le reste du haut bassin jusqu'à Bakel ;
- le *domaine guinéen* qui constitue la zone la plus pluvieuse, comprise entre la latitude $10^{\circ} 50'$ Nord et la ligne légèrement incurvée nord-ouest-nord à sud-est-sud, entre $12^{\circ} 50'$ Nord et $11^{\circ} 50'$ Nord ; il englobe tout le Fouta Djalon jusqu'à Dakka Saïdou.

Afin de faire ressortir ces contrastes, nous utiliserons les données de la station de Saint-Louis et Richard-Toll dans le domaine sahélien, Bakel dans le domaine soudanien nord, Kédougou dans le domaine soudanien sud et Labé dans le domaine guinéen (fig. 25).

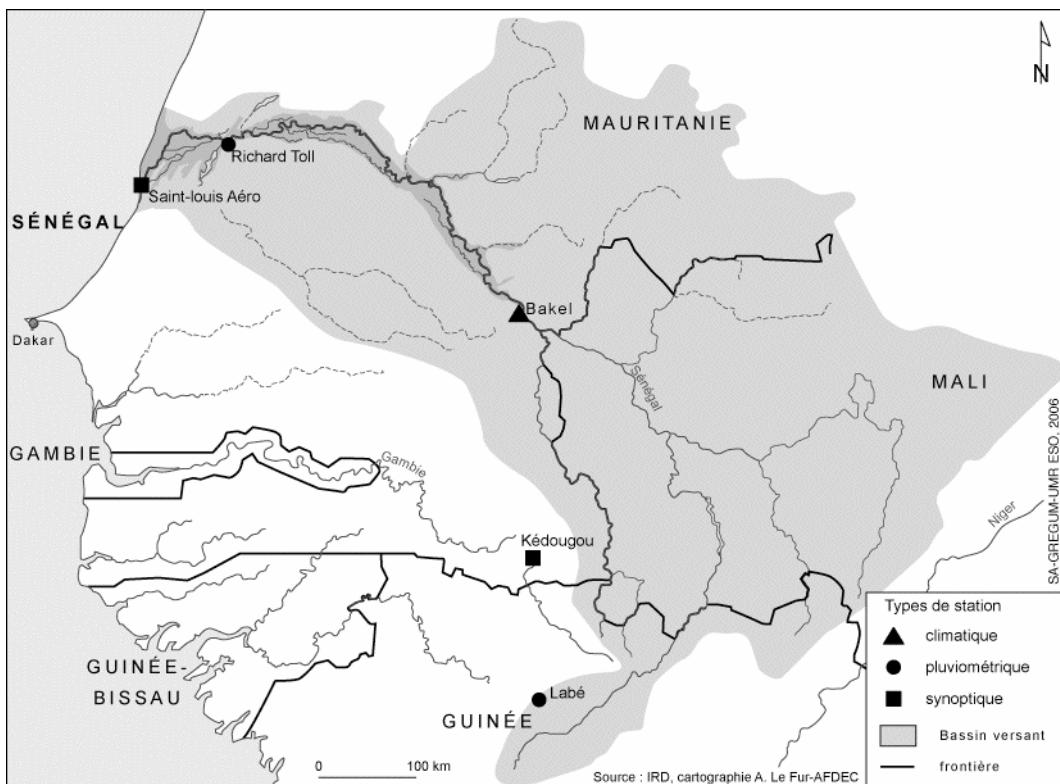


Figure 25 : Les stations de collecte de données climatiques utilisées

Cependant, nous n'avons pu accéder directement qu'aux données des stations situées au Sénégal (Saint-Louis, Richard-Toll, Bakel et Kédougou). C'est donc à travers la littérature que nous avons obtenu partiellement des données sur Labé en République de Guinée.

L'ensemble du bassin est marqué par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies dont la date d'installation et la durée varient dans les différentes zones climatiques.

1. La pluviométrie

Dans le **domaine sahélien**, nous utiliserons les données des stations de Saint-Louis et de Richard-Toll, situées presque respectivement aux extrémités sud-ouest et nord-est de la zone d'étude, pour analyser la pluviométrie. L'observation d'une longue série de données mensuelles (1892-2004) sur la station de Saint-Louis, montre que les pluies débutent généralement en juin et se prolongent jusqu'en octobre (Annexe 1, tabl. 1, fig. 26).

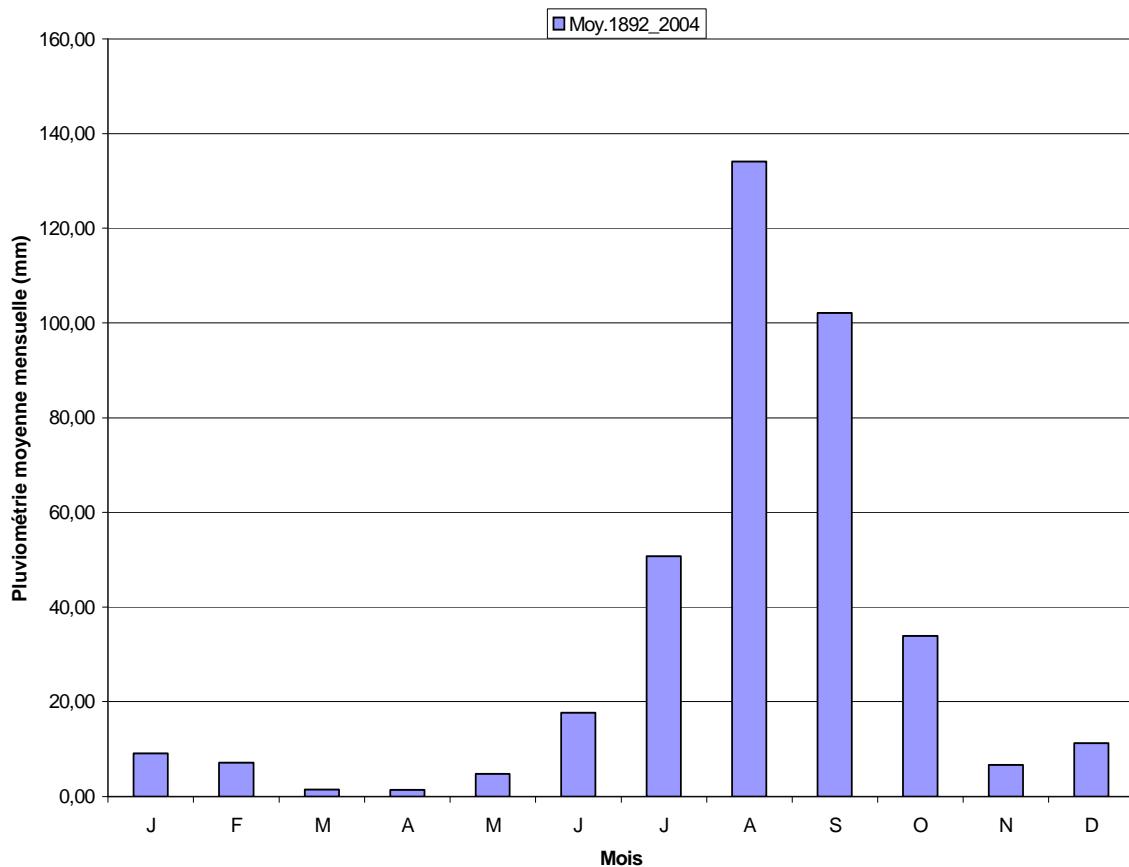


Figure 26 : Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de Saint-Louis (1892-2004).

M. Sall (2006) Source des données : Olivry (1982) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Quelques faibles précipitations sont également enregistrées pendant la saison sèche froide (décembre à février). Ces pluies de « heug » sont favorisées par des invasions épisodiques d'air polaire issu de la zone tempérée (Planchon, 1996). Leur quantité est généralement faible mais est plus importante le long et à proximité des côtes. Le mois d'avril est le moins pluvieux avec une moyenne mensuelle de 1,36 mm sur la période 1892-2004 tandis que le mois d'août est le plus humide avec une moyenne mensuelle de 134,13 mm. La pluviométrie totale mensuelle la plus faible est de 0,1 mm et est enregistrée en saison sèche ou avant l'installation définitive des pluies (mars, février, mai ou juillet). La pluviométrie totale mensuelle maximale s'élève à 769,5 mm enregistrée en août 1928 ; si nous excluons cette donnée qui peut être discutable dans la zone sahélienne, la valeur maximale mensuelle se situe à 290,2 mm notée en 1949.

La pluviométrie est également marquée, dans la zone sahélienne, par une très grande variabilité dans le temps et dans l'espace. Le profil de la station de Saint-Louis, entre 1892 et 2004 illustre l'instabilité interannuelle des quantités de pluie enregistrées (fig. 27).

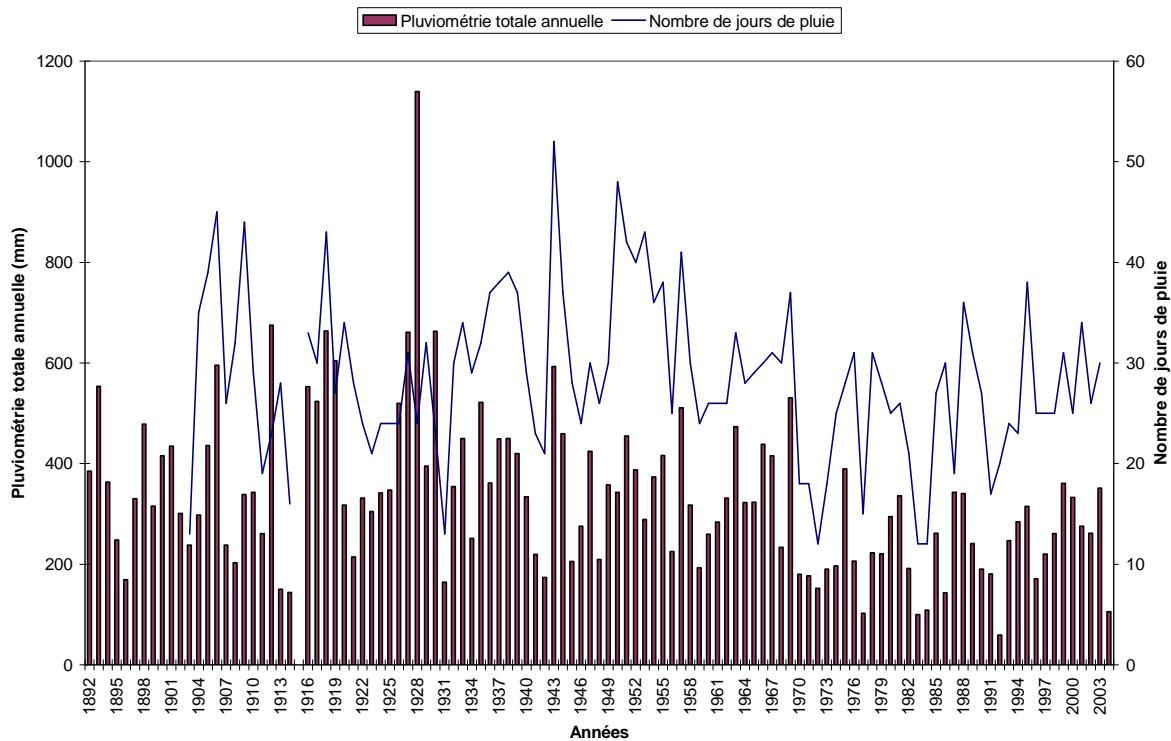


Figure 27 : Variation interannuelle de la pluviométrie à la station de Saint-Louis entre 1892 et 2004

M. Sall (2006) Source [des données](#) : Olivry (1982) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

La pluviométrie annuelle la plus forte de 1 139,4 mm est enregistrée en 1928. Si cette année exceptionnelle est exclue, la valeur annuelle maximale s’élève à 674,9 mm et est notée en 1912. Entre 1892 et 2004, la pluviométrie totale la plus faible à la station de Saint-Louis est de 59 mm et est enregistrée en 1992.

L’écart par rapport à la normale 1961-1990 (260 mm) permet de distinguer, à partir du profil de cette station, deux périodes pluviométriques bien distinctes (fig. 28):

- une phase « humide » avant 1970 ;
- une phase « sèche » qui s’est mise en place après 1970.

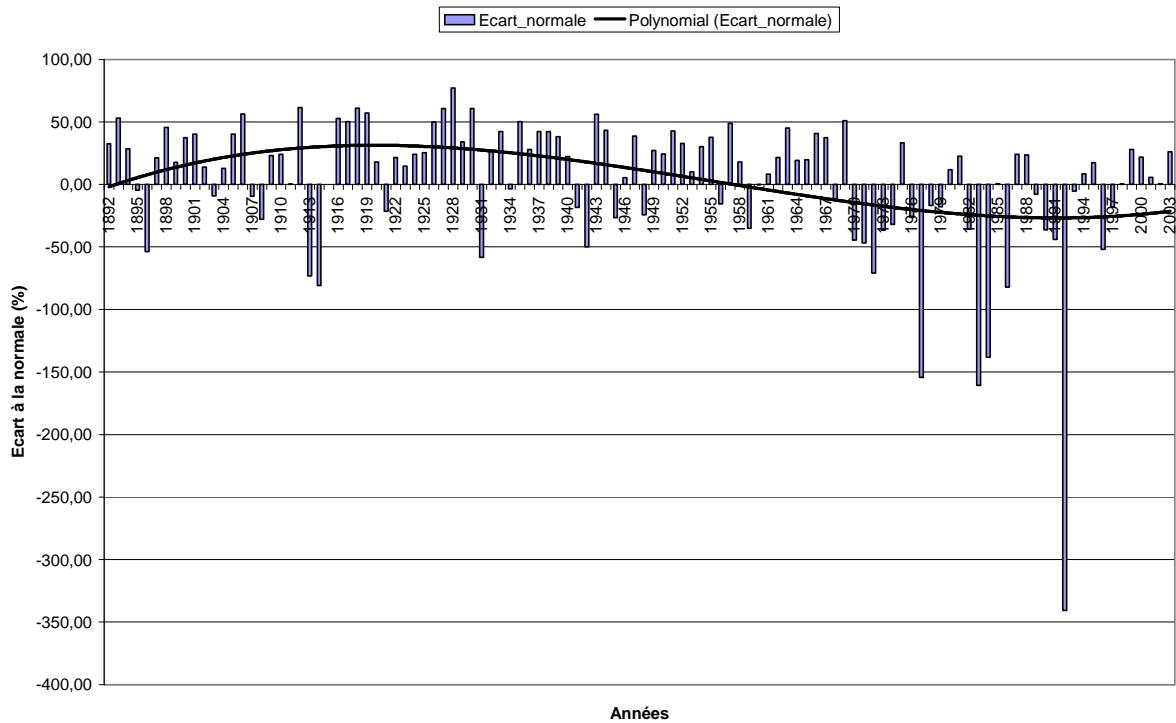


Figure 28 : Ecart de la pluviométrie totale annuelle (1892-2004) à la normale 1961-1990 à Saint-Louis

M. Sall (2006)

Chaque phase est marquée par une forte fluctuation interannuelle de la pluviométrie. C'est ainsi qu'avant 1970, les années 1896 (169,3 mm), 1913 (150,1 mm), 1914 (143,7 mm), 1931 (164,3 mm), 1942 (173,5 mm), 1959 (192,5 mm), entre autres, peuvent être considérées comme des années sèches qui succèdent généralement à d'autres plus pluvieuses. Mais l'écart à la normale au cours de cette période, tourne autour de -50% sauf en 1913 et 1914 où il atteint respectivement -73% et -81%. Les années les plus humides de cette phase d'avant 1970, peuvent être représentées, en partie, par 1893 (553 mm), 1906 (595,5 mm), 1912 (674,9 mm), 1918 (663,5 mm), 1928 (1139,4 mm), 1943 (592,7 mm), 1957 (510,9 mm), 1969 (531 mm). Au cours de cette phase « humide », la répartition temporelle des pluies semble plus satisfaisante avec une moyenne de 31 jours de pluie. Cependant, deux années consécutives peuvent présenter une physionomie très différente par rapport aux quantités de pluie enregistrées comme 1912-1913, 1928-1929, 1942-1943.

Après 1970, la période « sèche » s'installe, surtout marquée par les années 1972 (152,1 mm), 1977 (102,3 mm), 1983 (99,7 mm), 1984 (109,1 mm) et 1992 (59 mm). Ici, les écarts à la moyenne sont très élevés avec un maximum de -341 % atteint en 1992 ; Mais les années 1983 (-161 %), 1984 (-138 %), 1977 (-154 %) restent très déficitaires. Dans cette phase, les années 1975 (389,4 mm), 1981 (335,8 mm), 1987 (342,7 mm), 1988 (340,3 mm), 1994 (284,3 mm), 1995 (315,2 mm), 1999 (360,5 mm), 2003 (351,4 mm) peuvent être considérées comme

relativement humides. Deux années consécutives peuvent également être très contrastées comme l'illustrent 1969 et 1970, 1974 et 1975, 1976 et 1977, 1991 et 1992. Dans cette phase plus sèche, la répartition temporelle de la pluviométrie constitue aussi un facteur limitant avec une moyenne de 25 jours de pluie. Une légère reprise est tout de même notée à partir de 1994 sans pour autant atteindre les proportions des années humides d'avant 1970.

La variabilité spatiale de la pluviométrie peut être mise en exergue à travers la comparaison des quantités annuelles enregistrées au niveau des stations de Saint-Louis et de Richard-Toll entre 1962 et 2000, situées presque respectivement aux limites sud-ouest et nord-est du delta (Annexe I, tabl. 2, fig. 29).

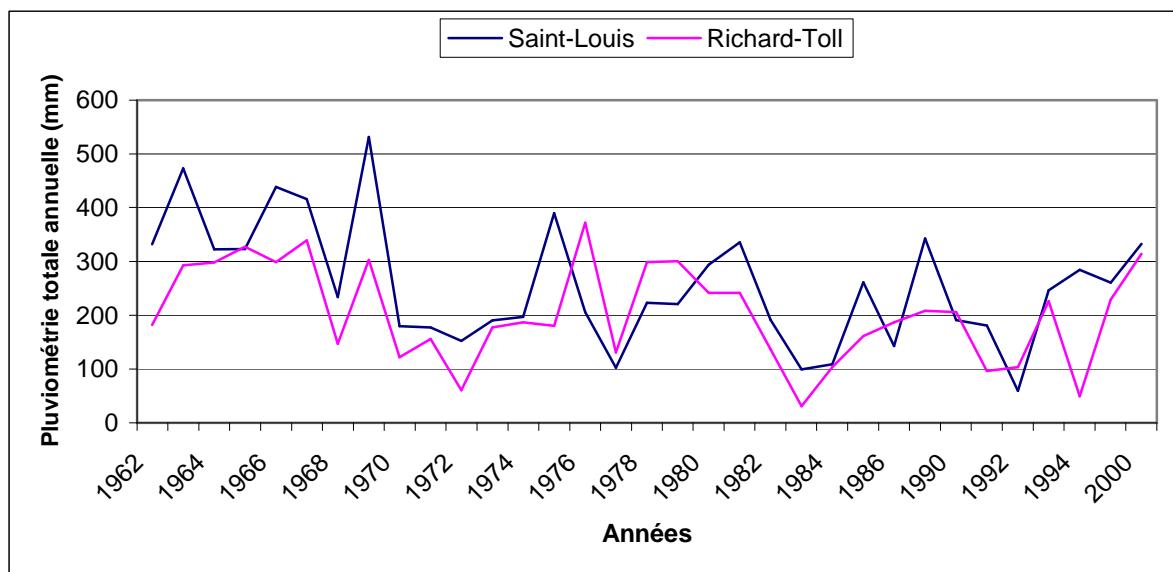


Figure 29 : Variations spatiales de la pluviométrie dans le delta du fleuve Sénégal (1962-2000)

M. Sall (2006) Source des données : Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

La pluviométrie totale annuelle est dans 79% des cas plus importante à Saint-Louis qui se trouve sur la côte qu'à Richard-Toll située plus à l'intérieur. Entre 1962 et 2000, seules les années 1965, 1976, 1977, 1978, 1979, 1986, 1990 et 1992 ont été plus humides à Richard-Toll qu'à Saint-Louis.

Conclusion

En définitive, au niveau du delta, dans la zone sahélienne du bassin du fleuve Sénégal, la pluviométrie totale enregistrée annuellement à la station de Saint-Louis entre 1892 et 2004, va d'un maximum de 1 139,4 mm (en 1928) ou de 674,9 mm (en 1912), à un minimum de 59 mm en 1992. En moyenne, la pluviométrie totale annuelle enregistrée à Saint-Louis sur cette période est de 335 mm. Cette grande variabilité interannuelle est symbolisée par l'écart par

rapport à la normale 1961-1990 (260 mm) qui permet de distinguer une période relativement humide avant 1970 ; dans cette phase, l'écart à la normale atteint des extrêmes de 77,18% en 1928 et de 61,48% en 1912. Après 1970, la tendance est plutôt sèche avec un écart à la normale majoritairement négative qui affiche un extrême de - 341% en 1992. Dans cette phase, l'écart positif de 33,23% le plus important est noté en 1975. Mais vers la fin des années 1990 et le début des années 2000, la tendance de cet écart est positive surtout avec les années 1994 (8,55%), 1995 (17,51%), 1999 (27,88%), 2000 (21,8%) et 2003 (26%), correspondant à la recrudescence des inondations des localités côtières comme Saint-Louis. Sur le plan spatial, la pluviométrie annuelle est dans 79% des cas plus importante sur la côte, au sud-ouest du delta qu'à l'intérieur, dans le nord-est.

Le **domaine soudanien** constitue la transition entre le domaine sahélien au nord et le domaine guinéen plus humide au sud. Nous utiliserons les données des stations de Bakel dans le domaine soudanien nord et celles de Kédougou dans le domaine soudanien sud pour mettre en évidence la disparité entre ces deux zones.

Les histogrammes des deux stations sur la période 1950-2004, montrent que les pluies sont effectivement plus importantes à Kédougou dans la zone sud soudanienne qu'à Bakel dans la partie nord (Annexe 1, tabl. 3 et 4, fig. 30).

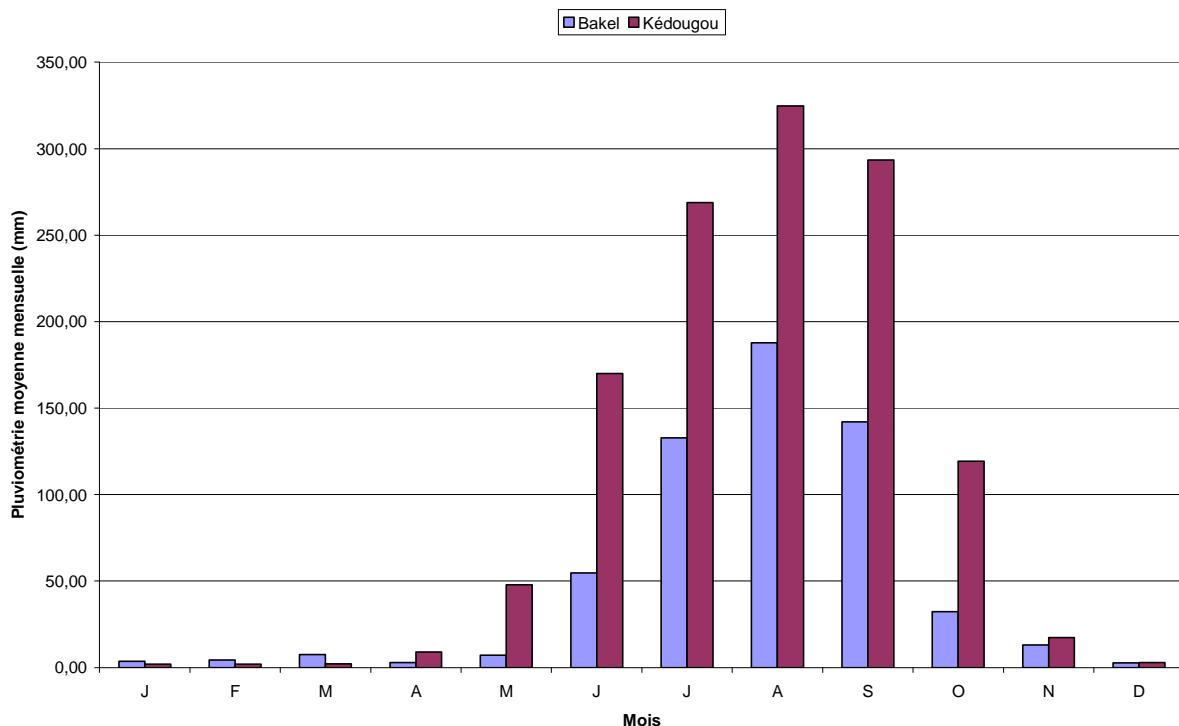


Figure 30 : Pluviométrie moyenne mensuelle aux stations de Bakel et de Kédougou (1950-2004)

M. Sall (2006) Source des données : Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Le mois d'août est le plus pluvieux dans les deux zones avec Bakel qui atteint une moyenne mensuelle maximale de 187,74 mm contre 324,70 mm pour Kédougou ; soit 42% de plus dans cette dernière station. La quantité de pluie totale mensuelle la plus élevée de 384,8 mm est enregistrée en août 1967 à Bakel. C'est cette même année que la pluviométrie totale annuelle de 899,9 mm, la plus forte, est enregistrée dans cette station. Le minimum mensuel de 0,2 mm est enregistré avant l'installation définitive de la saison pluvieuse. Par contre, le minimum annuel de 260,9 mm est enregistré en 1984 à Bakel.

Dans la même période (1950-2004), la pluviométrie totale mensuelle maximale de 605,7 mm est enregistrée en août 2003 à Kédougou, année où le canal de délestage a été ouvert sur la Langue de Barbarie pour éviter le débordement du fleuve sur la commune de Saint-Louis. Par contre, le minimum mensuel de 0,1 mm est enregistré avant l'installation des pluies. Mais le total annuel le plus élevé de 2 160,1 mm est noté en 1954 à Kédougou tandis que le minimum annuel de 805,5 mm se situe en 1990.

Par ailleurs, les pluies interviennent plus tôt (mai à Kédougou, juin à Bakel) que dans le domaine sahélien et restent importantes en octobre où elles dépassent 100 mm à Kédougou.

Les quantités maximales mensuelles sont également enregistrées en août mais sont supérieures de 25% à Bakel et de 52% à Kédougou par rapport à Saint-Louis située dans la zone sahélienne. De même, les totaux maximaux annuels sont de 25% plus élevés à Bakel et de 69% à Kédougou qu'à Saint-Louis.

Néanmoins, les tendances de la pluviométrie varient dans le même sens dans le domaine soudanien sud et dans le domaine sahélien. A Kédougou, entre 1950 et 2003, l'écart à la normale 1961-1990 (1193 mm), montre une période humide avant 1968 (fig. 31), ponctuée par quelques années déficitaires comme 1956 (1060 mm), 1959 (1116,7 mm), 1967 (1078,6 mm).

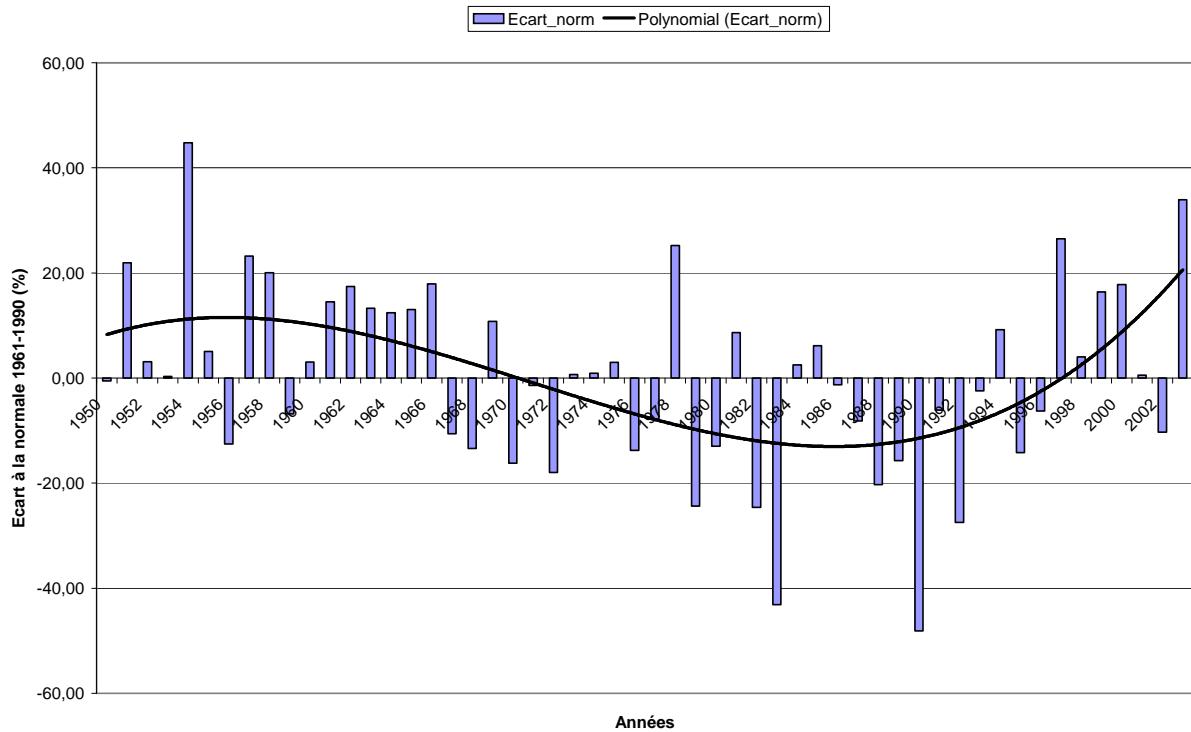


Figure 31 : Ecart de la pluviométrie totale annuelle à la normale 1961-1990 à Kédougou. M. Sall (2006)

A partir de 1968 (1051,6 mm), s’installe une période de déficit pluviométrique qui atteint des valeurs extrêmes en 1983 (833,3 mm) et 1990 (805,5 mm). L’année 1991 marque une période pluviométrique plus favorable, comparable, à partir de 1998, aux années d’avant 1968. Cette période de reprise pluviométrique des années 1990-2000 correspond à la recrudescence des inondations des localités côtières comme Saint-Louis.

Le **domaine guinéen** est le domaine le plus pluvieux d'où provient l'essentiel des écoulements du fleuve Sénégal. La station de Labé, en Guinée, donne sur la période 1923-1993, une pluviométrie totale moyenne annuelle de 1 638 mm. Le tracé de son histogramme montre que les pluies démarrent encore plus tôt que partout ailleurs dans le bassin, en mars-avril et se prolongent jusqu’au mois de novembre (Annexe 1, tabl. 5, fig. 32).

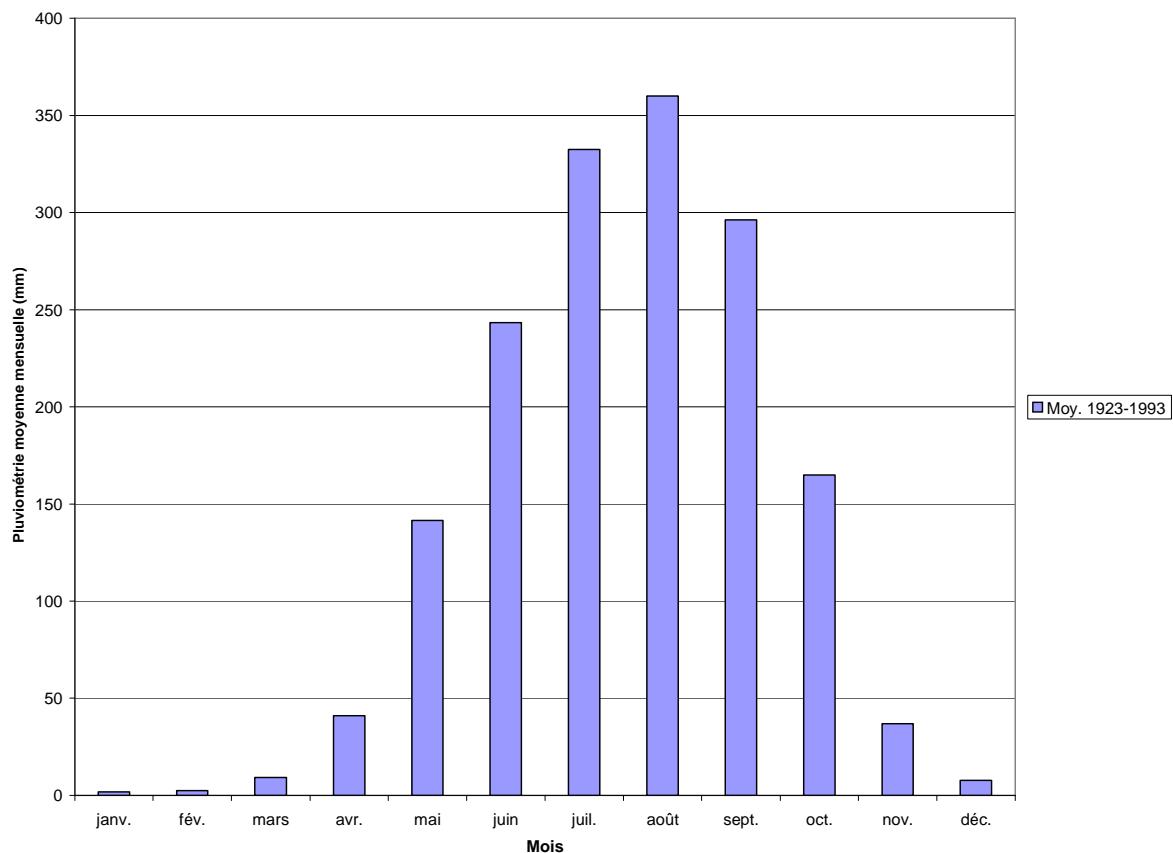


Figure 32 : Pluviométrie moyenne mensuelle (mm) à la station de Labé (1923-1993). M. Sall (2006)

La pluviométrie moyenne mensuelle maximale de 359,94 mm est enregistrée au mois d'août tandis que la valeur moyenne mensuelle minimale de 1,86 mm est notée en janvier sur la période 1923-1993. La pluviométrie totale mensuelle la plus élevée de 591 mm, est enregistrée au mois de juillet sur la période 1923-1993 à Labé ; le total mensuel minimal pour la même station est de 12 mm et est enregistrée au mois de mai, en début de saison pluvieuse.

Conclusion

Ces quantités de pluies enregistrées dans les différents secteurs du bassin du fleuve Sénégal vont contribuer à constituer les écoulements du fleuve Sénégal. Les zones guinéenne et soudanienne apportent les plus fortes contributions. Une pluviométrie totale moyenne annuelle d'environ 1 638 mm a été mesurée à la station de Labé, dans la zone guinéenne entre 1923 et 1993. A la station de Kédougou, dans la zone soudanienne sud, un total moyen annuel de 1 361 mm est enregistrée entre 1950 et 2004 ; cet apport n'est pas linéaire et a connu une baisse globalement régulière entre 1950 et 1990, où la pluviométrie totale moyenne annuelle est de 1 117 mm. Il a augmenté entre 1990 et 2004 pour atteindre 1 271 mm. Cette dernière

période est marquée par les débordements du fleuve Sénégal et la stagnation des eaux de pluie qui ont inondé la ville de Saint-Louis notamment en 1994, 1998 et 1999. Entre 1950 et 2004, la station de Bakel, dans le domaine soudanien nord a enregistré un total moyen annuel de 551,3 mm. Cependant, ces quantités d'eau seront tout de suite soumises à des pertes induites par l'évaporation favorisée par les températures, l'insolation et les vents.

2. Les températures

L'étude des températures relevées dans les stations des différents domaines climatiques du bassin du fleuve Sénégal, montre qu'elles sont variables dans le temps et dans l'espace (Annexe 1, tabl. 6, fig. 33).

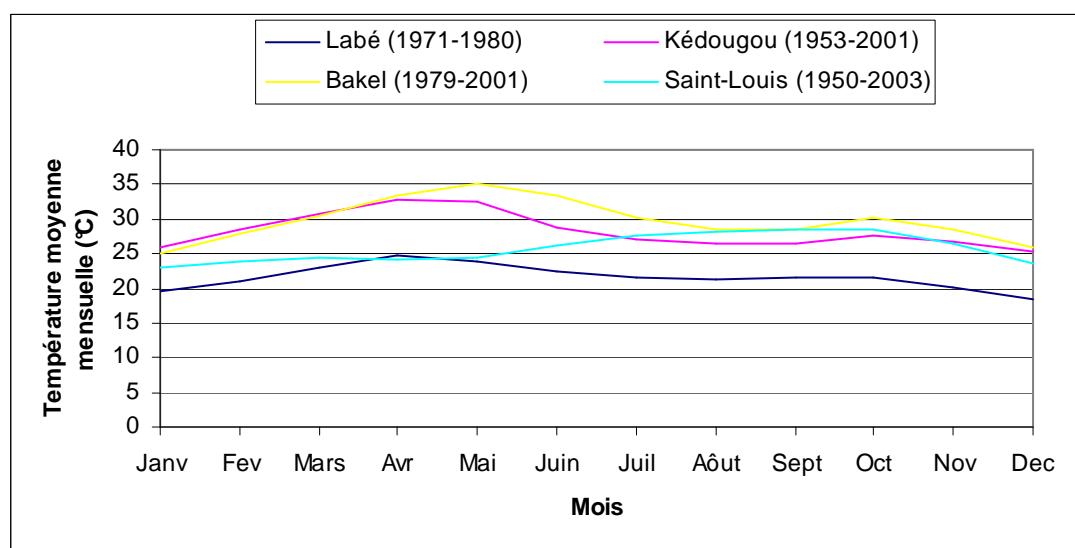


Figure 33 : Variations de la température moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal. M. Sall (2006)

Globalement, la température moyenne mensuelle augmente progressivement dans tous les domaines climatiques pendant la saison sèche, entre janvier et avril ou mai. A Bakel, dans la zone soudanienne nord, elle passe de 25°C en janvier à 35°C en mai ; au sud de la zone soudanienne, à Kédougou, cette valeur évolue de 25,9°C en janvier à 32,8°C en avril. A partir de ce mois, les premières pluies commencent à tomber à Kédougou et la température moyenne mensuelle se stabilise à 32°C au mois de mai ; pendant ce temps, cette valeur est de 35°C à Bakel mais commence à baisser avec les premières pluies pour se stabiliser à 28,5°C en août et septembre. Cette tendance à la baisse est perturbée par une légère remontée en septembre et octobre mais se poursuit globalement jusqu'en décembre. La station de Labé, dans la zone guinéenne, présente les plus faibles températures moyennes mensuelles par

rapport à Bakel, Kédougou et Saint-Louis : la valeur moyenne maximale de 24,64°C est atteinte en avril ; néanmoins, elle présente le même profil que Bakel et Kédougou. La station de Saint-Louis se particularise par une tendance régulière à la hausse des températures moyennes mensuelles entre mai et octobre, c'est-à-dire durant la saison pluvieuse. Les valeurs les plus élevées y sont notées en août (28,2°C), septembre (28,6°C) et octobre (28,4°C) qui représentent les mois les plus chauds pour cette ville.

Les températures maximales moyennes mensuelles dégagent également les mêmes tendances (Annexe 1, tabl. 7, fig. 34).

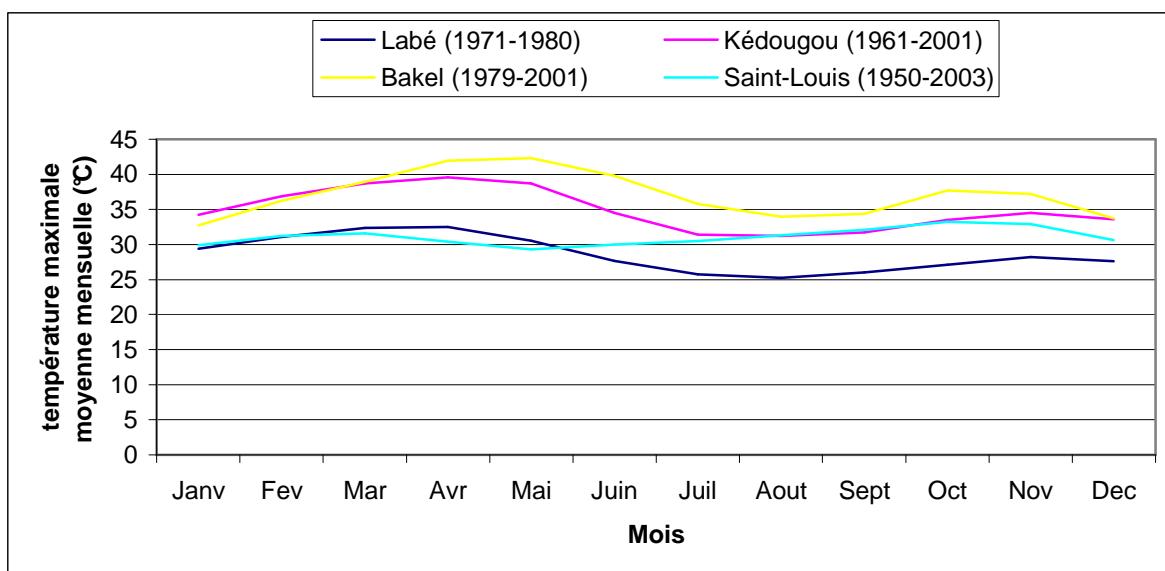


Figure 34 : Variations de la température maximale moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal

M. Sall (2006)

Les mois de mars, avril et mai sont les plus chauds dans les zones soudanienne et guinéenne. Kédougou et Labé affichent respectivement des maximums moyens mensuels de 39,6°C et de 32,48°C en avril. A Bakel, cette valeur de 42,31°C intervient en mai. C'est donc pendant la saison sèche, où les apports en eau sont les plus faibles, que la température est susceptible de contribuer au maximum à l'évaporation. Dans le contexte d'artificialisation du régime du Sénégal, le soutien de crue en étiage doit tenir compte de ce facteur pour couvrir les besoins en eau de la culture irriguée, entre autres.

A Saint-Louis, sur la côte, les températures sont atténues, pendant la saison sèche, par l'alizé océanique de direction nord-nord-ouest qui souffle presque toute l'année. En ce moment, les températures maximales moyennes à Saint-Louis sont de l'ordre de 29 à 31°C entre janvier et mai. A partir du mois de juin, ces valeurs augmentent pour atteindre 33,2°C en octobre qui correspond au mois où les plus fortes températures sont enregistrées dans cette ville.

Contrairement aux zones soudanienne et guinéenne, c'est pendant la saison humide, où les eaux de surface sont les plus abondantes, que la température est susceptible d'être plus efficace pour l'évaporation. Ceci devrait se traduire par des pertes importantes.

L'analyse des températures minimales moyennes mensuelles dans le bassin du fleuve sénégal confirme les tendances globales notées précédemment dans les différents domaines climatiques (Annexe 1, tabl. 8, fig. 35).

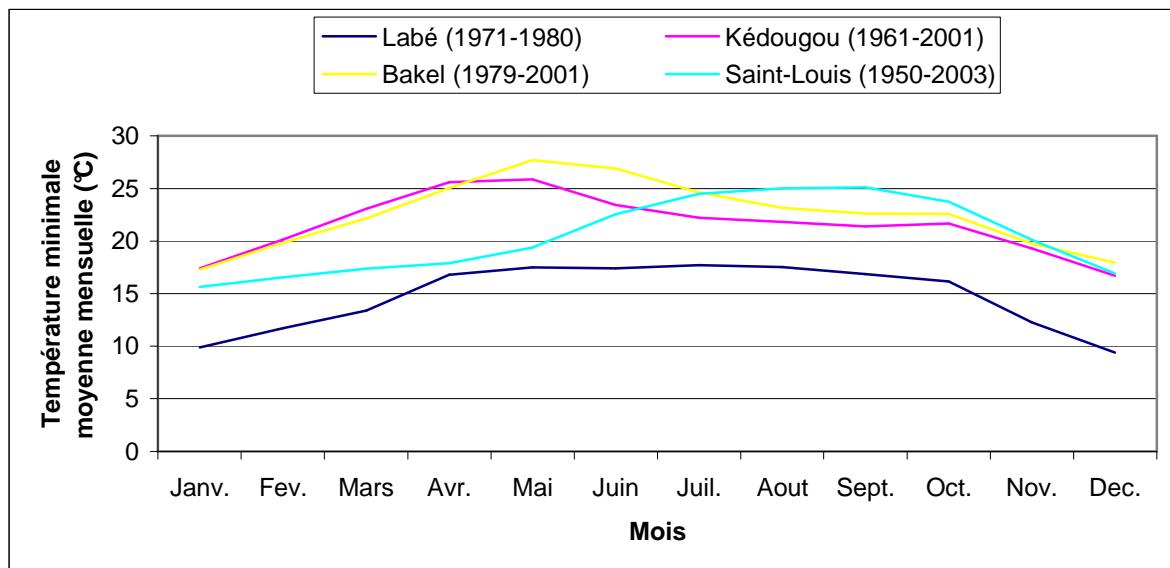


Figure 35 : Variations de la température minimale moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal

M. Sall (2006)

Labé, dans la zone guinéenne, enregistre les plus faibles températures pendant toute l'année. La plus faible valeur de 9,9°C est enregistrée au mois de janvier. Les températures devraient ainsi avoir une faible contribution dans les pertes d'eau par évaporation dans cette zone qui fournit les plus grandes quantités de pluie. Les températures minimales qui sont d'environ 25°C à Bakel et Kédougou sont les plus fortes avant l'installation des pluies. Cette valeur est notée à Saint-Louis où sont enregistrés les plus forts minimums pratiquement entre août et novembre.

Conclusion

Les températures vont contribuer différemment aux pertes d'eau par évaporation dans le bassin supérieur et le delta. La zone guinéenne qui apporte les plus grandes quantités de pluie dans le bassin versant, enregistre des températures moyennes mensuelles d'environ 22°C, les plus faibles, surtout pendant la saison humide. Cette valeur qui est d'environ 26°C pour Bakel et de 28°C pour Kédougou, dans la zone soudanienne est plus faible que pendant la saison sèche où elle avoisine respectivement 33°C et 30°C. La même tendance est notée pour les

températures moyennes maximales et minimales mensuelles. Les températures maximales sont plus élevées à Bakel que partout ailleurs dans le bassin sur toute l'année : elles avoisinent 42°C en saison sèche. Par contre, Labé enregistre les plus faibles températures sur toute l'année, environ 11 à 12°C en saison sèche et 17°C en saison humide. Ce profil des stations du haut bassin montre que la température va contribuer au maximum aux pertes d'eau par évaporation pendant la saison sèche où les apports sont faibles. Ceci nécessite d'être tenu en compte dans la gestion de la crue artificielle en période d'étiage pour assurer les besoins de la culture irriguée. En période humide, la contribution de la température dans les pertes d'eau par évaporation est plus faible.

La station de Saint-Louis située sur la côte, dans le domaine sahélien, présente un profil opposé à celui de Bakel, Kédougou et Labé. En saison sèche, les températures sont adoucies par l'alizé océanique ; les moyennes mensuelles se situent aux environs de 24°C tandis que les maximales avoisinent 31°C et les minimales 17°C. Par contre, en saison humide, les températures augmentent, au moment où les quantités d'eau de surface sont les plus importantes : Saint-Louis enregistre des minimales mensuelles de 25°C plus fortes que dans le bassin supérieur. La température est ainsi susceptible de contribuer fortement aux pertes d'eau par évaporation.

3. La durée d'insolation

La durée d'insolation est également variable dans le temps et dans l'espace. Elle influe sur les pertes d'eau par évaporation par l'intermédiaire des températures. Le profil des différentes stations est homogène par rapport à ce paramètre : la durée d'insolation est partout plus élevée en saison sèche qu'en saison pluvieuse (Annexe 1, tabl. 9, fig. 36).

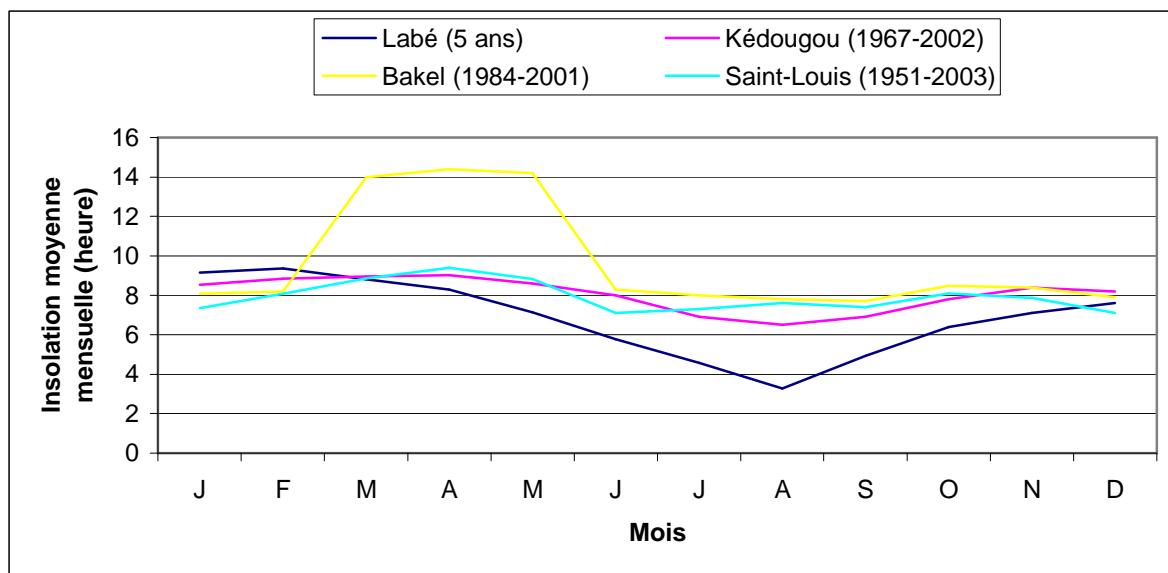


Figure 36 : Variations saisonnières de l'insolation dans le bassin du fleuve Sénégala. M. Sall (2006)

La station de Labé dans la zone guinéenne présente globalement les plus faibles durées d'insolation avec une valeur moyenne mensuelle de 3 heures en août, au moment où les pluies sont les plus importantes. Ceci est en concordance d'une part avec la présence des nuages et autres aérosols et d'autre part avec la baisse des températures notée en cette période dans ce domaine climatique. Bakel située dans la zone soudanienne nord compte globalement le plus grand nombre d'heures d'insolation sur toute l'année. La durée d'insolation moyenne mensuelle se stabilise pratiquement à 14 heures en mars, avril et mai au niveau de cette station : c'est la valeur la plus forte. La plus faible durée d'insolation moyenne mensuelle est d'environ 7 heures et est enregistrée au mois de septembre.

La station de Saint-Louis enregistre une durée d'insolation moyenne mensuelle élevée de 9 heures, au mois d'avril, pendant la saison sèche. Au cours de la saison pluvieuse la durée d'insolation moyenne mensuelle à Saint-Louis est comparable à celle de Bakel qui est de 7 à 8 heures : ces deux stations enregistrent en cette période les valeurs les plus élevées.

Conclusion

Les durées d'insolation sont plus élevées dans tous les domaines climatiques du bassin du fleuve Sénégala, en saison sèche où le ciel est peu couvert ; les plus fortes valeurs de 14 heures sont notées en mars, avril et mai à Bakel. Les plus longues durées d'insolation moyennes mensuelles, en saison sèche, sont de 9 heures pour Saint-Louis (avril), Labé (février) et Kédougou (avril). Cette saison est favorable à la percée des rayons solaires qui induisent les températures les plus élevées notées dans les zones soudanienne et guinéenne. En

conséquence, la durée d'insolation est susceptible de contribuer sensiblement à la perte d'eau par évaporation.

Pendant la saison humide, la présence des nuages et autres aérosols atténue le rayonnement solaire : la durée d'insolation moyenne mensuelle diminue et se stabilise autour de 7 à 8 heures pour Saint-Louis et Bakel, 6 heures pour Kédougou et 4 heures pour Labé. Par conséquent, les températures sont plus faibles et la contribution de la durée d'insolation dans les pertes d'eau par évaporation devient moindre.

4. Les vents

Dans le bassin du fleuve Sénégal, le régime des vents est fortement soumis aux positions des zones de hautes pressions tropicales que constituent les anticyclones de Sainte Hélène (hémisphère sud) et des Açores (hémisphère nord). Ces derniers subissent des oscillations journalières et saisonnières qui déterminent le flux des alizés sur la zone intertropicale (Coly, 1996).

L'alizé océanique, de direction nord-nord-ouest, souffle presque toute l'année sur la bordure maritime sénégal-mauritanienne et s'enfonce seulement de quelques dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres. Sa vitesse peut dépasser 7 m/s à Saint-Louis. Il est frais (adoucit la côte) et constamment humide engendrant une humidité relative pouvant atteindre 60% sur la côte contre seulement 30% à l'intérieur des terres (Planchon, 1996). De ce fait, son pouvoir absorbant est faible et sa contribution aux pertes d'eau par évaporation est fortement atténuée. Toutefois, il se montre défavorable aux précipitations en empêchant le développement de nuages cumuliformes.

L'alizé continental ou harmattan est un vent chaud et sec qui souffle dans le bassin du fleuve suivant une direction nord-nord-est, pendant la saison sèche. Ainsi, il contribue fortement aux pertes d'eau par évaporation. Sa vitesse est, dans 40% des cas, comprise entre 7 et 14 m/s à Akjout, dans le sud mauritanien. Les vents d'Est sont dominants à Kayes au mali et à Labé en Guinée, dans le haut bassin. Cependant, 35% d'entre eux sont considérés comme calmes à Labé (vitesse < 1 m/s) contre 18% à Kayes (Michel, 1973). Labé est protégé par le relief du Fouta Djalon oriental.

Pendant l'hivernage, *la mousson*, de direction sud-ouest, qui souffle dans le bassin de mars à novembre est à l'origine des pluies. Elle favorise le développement des lignes de grains qui balaiennent le territoire d'est en ouest et qui apportent 90% du total des précipitations dans le domaine sahélien (Sagna, 1990). A cette période, la direction des vents est très variable à

Labé. Ils peuvent parfois dépasser 7 m/s. A Saint-Louis, 14% des vents ont des vitesses comprises entre 7 et 14 m/s.

L'équateur météorologique est la zone de rencontre des flux d'alizés et de mousson. Il comprend :

- une structure verticale, la Zone Intertropicale de Convergence des alizés (ZITC) ;
- et une structure horizontale, le Front Intertropical de Convergence des alizés (FIT).

Les migrations de l'équateur météorologique en fonction du « rapport de force » entre les différentes masses d'air, déterminent l'alternance saison sèche-saison humide (fig. 37).

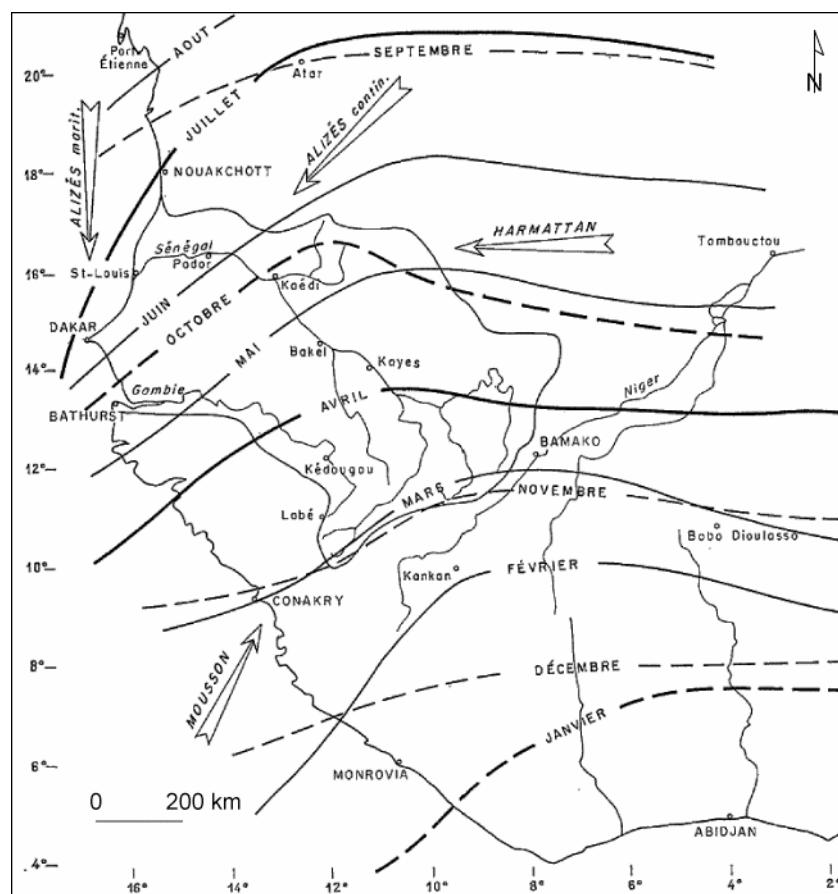


Figure 37 : Déplacements du Front Intertropical au cours de l'année in Michel (1973)

En général, la vitesse des vents est plus forte sur la côte qu'à l'intérieur du continent. A Saint-Louis, 80% des vents ont, au cours de l'année, une vitesse supérieure ou égale à 3 m/s contre 40% à Kayes (Michel, 1973).

5. L'évaporation

L'évaporation mesure finalement les quantités d'eau perdues sous l'action combinée de la température, de la durée d'insolation et des vents. Les données mesurées avec l'appareil Piche dans les différents domaines climatiques du bassin du fleuve Sénégal, montrent des pertes d'eau par évaporation plus importantes en saison sèche qu'en saison humide (Annexe 1, tabl. 10, fig. 38).

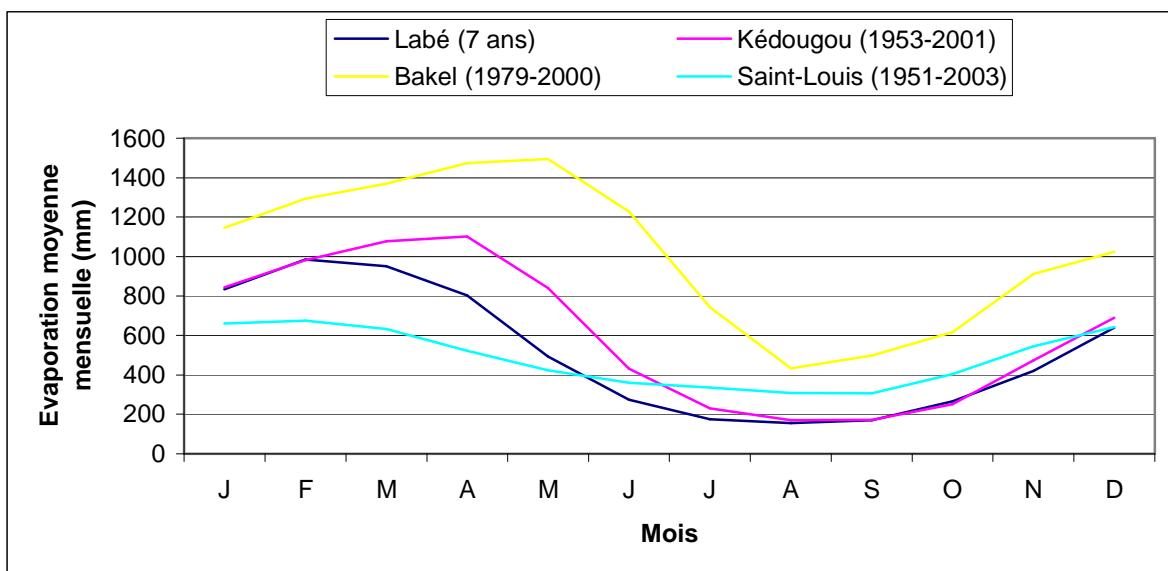


Figure 38 : Variations saisonnières des quantités d'eau évaporées dans le bassin du fleuve Sénégal

M. Sall (2006)

C'est en effet au cours de la saison sèche que les températures et la durée d'insolation sont les plus élevées tandis que souffle l'alizé continental doté d'un grand pouvoir absorbant. À Bakel, dans la zone soudanienne nord, l'évaporation moyenne mensuelle passe de 1 145 mm en janvier à la valeur la plus élevée de 1 495 mm en mai. À Kédougou, dans la zone soudanienne sud, l'évaporation moyenne mensuelle augmente de 845 mm en janvier à 1 101 mm en avril où elle est la plus importante. Les pertes d'eau par évaporation, les plus élevées à Labé sont notées en février avec une moyenne mensuelle de 986 mm. C'est à Saint-Louis que l'évaporation est la plus faible en saison sèche du fait de l'influence de l'alizé océanique qui atténue les températures.

Dès le début de la saison humide, en avril ou mai, l'évaporation moyenne mensuelle diminue dans le sud du bassin pour atteindre les plus faibles valeurs en août : 433 mm à Bakel, 170 mm à Kédougou, 155 mm à Labé. Ceci est induit par les températures et les durées d'insolation qui sont les plus faibles de l'année ainsi que par la mousson qui augmente l'hygrométrie. C'est donc le moment où les stocks d'eau sont les plus importants pour

alimenter les cours d'eau. Par contre, à Saint-Louis, l'évaporation moyenne mensuelle est plus élevée qu'à Kédougou et Labé, pendant la saison humide ; elle avoisine 300 à 400 mm en août, septembre et octobre en liaison avec les fortes températures enregistrées dans la ville en cette période.

Conclusion

Les quantités d'eau perdues par évaporation, varie dans le même sens que les paramètres climatiques qui les induisent dans les différents domaines climatiques du bassin du fleuve Sénégal : température, durée d'insolation, vents. L'évaporation moyenne mensuelle est partout plus élevée en saison sèche, au moment où les quantités d'eau disponibles sont les plus faibles. Elle atteint 1 495 mm en mai à Bakel, 1 101 mm en avril à Kédougou, 986 mm en février à Labé et 675 mm en février à Saint-Louis. Ceci devrait être prise en compte dans le rôle de soutien de crue, du barrage de Manantali, en période de basses eaux, pour couvrir les besoins de la culture irriguée, entre autres.

En saison humide, les pertes d'eau par évaporation sont les plus faibles, en rapport également avec la baisse des températures et de la durée d'insolation. Au mois d'août, l'évaporation moyenne mensuelle est de 433 mm à Bakel, 307 mm à Saint-Louis, 170 mm à Kédougou et 155 mm à Labé. Les apports d'eau qui sont importants pendant cette saison, sont ainsi peu affectés par l'évaporation.

Globalement, l'évaporation moyenne annuelle est de 1 019 mm à Bakel dans la zone soudanienne nord, 605 mm à Kédougou dans la zone soudanienne sud, 514 mm à Labé dans le domaine guinéen et 485 mm à Saint-Louis dans le domaine sahélien soumis à l'influence de l'alizé océanique.

Conclusion de la première partie

Les conditions du milieu naturel du delta du fleuve Sénégal sont surtout marquées par l'hydrographie et la nature des sols. A l'entrée du delta, le fleuve Sénégal donne naissance à de nombreux marigots interconnectés qui le rejoignent avant l'embouchure. Ce réseau de marigots est également lié aux cuvettes comme le Djoudj et le Ndial et ainsi qu'aux vallées qui prolongent le lac de Guiers dans le Ferlo. Une riche biodiversité s'est ainsi développée à travers la faune et la flore notamment au niveau des cuvettes. Les flux d'eau qui transitent dans le delta proviennent essentiellement du haut bassin et dépendent surtout des conditions

climatiques qui régneront dans l'ensemble du bassin du fleuve Sénégal. Les apports en eau sont principalement assurés par les pluies enregistrées. Elles sont plus importantes dans le domaine guinéen où un total moyen annuel de 1 638 mm est noté à Labé entre 1923 et 1993. Cette valeur est de 1 361 mm à Kédougou dans le domaine soudanien sud entre 1950 et 2004. Sur cette même période, la pluviométrie totale moyenne annuelle enregistrée à Bakel dans le domaine soudanien nord est de 551 mm. Les plus faibles apports proviennent de la zone sahélienne avec une pluviométrie totale moyenne annuelle de 335 mm notée à Saint-Louis entre 1892 et 2003. Ces quantités d'eau sont fournies de manière hétérogène dans le temps. Globalement, avant 1970, les pluies étaient plus importantes dans le bassin du fleuve Sénégal. Après 1970, s'est installée une longue période de sécheresse qui est plus marquée dans la zone sahélienne. Les apports en eau que nous aborderons dans la deuxième partie, suivront en gros cette répartition.

Les conditions climatiques régissent également les pertes en eau à travers les paramètres comme la température, la durée d'insolation, les vents qui déterminent les conditions de l'évaporation. Ces paramètres sont variables dans les différents domaines climatiques.

Ils sont en général plus élevés à Bakel, dans le domaine soudanien nord où ils engendrent une plus forte évaporation (1 019 mm en moyenne par an). En saison sèche, l'harmattan qui souffle a un pouvoir évaporant élevé. Les pertes induites seront représentées par la différence entre les flux mesurés à Bakel dans le haut bassin et ceux mesurés à Dagana, à l'entrée du delta. Nous aborderons ces aspects dans la deuxième partie, de même que les apports en sédiments, les relations du fleuve avec la nappe d'eau souterraine ainsi que les modalités d'alimentation des cuvettes, lacs et vallées qui sont des éléments du fonctionnement du système hydrologique.

Les sols peuvent être globalement classés en deux catégories : les sols hydromorphes et salés de la plaine alluviale et les sols sableux exondés des zones dunaires. Les sols hydromorphes sont inadaptés à l'habitat humain ; ils peuvent se retrouver dans les localités comme Saint-Louis sous forme d'anciennes vasières qui sont submergées par les eaux de crue ou par les pluies. Ces zones connaissent également des phénomènes de remontée de la nappe phréatique qui se trouve à moins de 3 m de profondeur. Certains quartiers de la commune de Saint-Louis sont bâtis sur de tels espaces à cause de la pression démographique ; ce sont les plus exposés aux inondations. Par contre, les quartiers situés sur les sables dunaires, sont plus à l'abri des inondations. Nous aborderons également ces aspects dans la deuxième partie mais plus en détail dans la troisième partie.

Deuxième partie

Le système hydrologique du delta – les variations saisonnières du niveau des eaux marines et fluviales – localisation des zones d'inondation

Dans cette deuxième partie, nous analysons principalement le fonctionnement du système hydrologique à travers les relations entre le fleuve Sénégal, l’Océan Atlantique, les marigots, les cuvettes, le lac de Guiers et le réseau de vallées disséminées dans le Ferlo. La finalité est d’identifier les périodes critiques de montée des eaux marines et fluviales dans le delta et de comprendre les mécanismes de drainage des flux d’eau qui pénètrent dans la zone d’étude en provenance du haut bassin. Pour ce faire nous analyserons les facteurs qui régissent les fluctuations saisonnière et interannuelle du niveau de la mer à l’échelle locale et à l’échelle du littoral ouest africain (courants marins, houles, etc.) ; nous aborderons ces variations également au niveau de l’interface fleuve-océan (marée). Le système étant de plus en plus artificialisé, nous aborderons les différentes étapes de l’anthropisation ainsi que quelques impacts qui y sont liés. L’analyse des débits collectés au niveau des stations de Bakel (entre 1904 et 2004), dans le haut bassin et de Dagana (de 1903 à 1989), à l’entrée du delta, visera à déterminer les différentes phases hydrologiques, la période des hautes et des basses eaux ainsi que l’écoulement moyen. Les données de hauteur d’eau collectées à Dagana (1903-2004) et à Saint-Louis (1964-2003) seront utilisées pour mieux appréhender les variations des niveaux d’eau dans le delta, en relation avec les inondations des localités côtières comme Saint-Louis. Enfin, la cartographie de l’occupation/utilisation du sol, à partir de deux images satellites Landsat, l’une prise en période de hautes eaux (octobre 1999) et l’autre en période de basses eaux (juin 2002), permettra, entre autres, de localiser les zones d’inondation.

I. Le système hydrologique naturel

L’analyse du fonctionnement du système hydrologique naturel par opposition au système artificialisé avec la mise en place des digues et des barrages, permet d’identifier les facteurs naturels qui concourent à l’élévation du niveau des eaux dans le delta. Ces facteurs qui varient au cours des saisons régissent ou découlent de la dynamique marine et fluviale. L’objectif de ce chapitre est également de cerner les relations naturelles entre le fleuve Sénégal et les autres composantes du réseau hydrographique du delta (marigots, cuvettes, lacs, vallées, etc.), essentielles dans l’évacuation des eaux de crue.

1. La dynamique marine

Elle est essentiellement déterminée par les courants marins, la marée océanique, les courants de flot et de jusant, la dérive littorale, les houles et « les mers du vent ». Les vents constituent

également un facteur essentiel : ils sont à la base de la genèse des paramètres qui déterminent la dynamique marine. Ces différents éléments de la circulation océanique, responsables de la répartition des masses d'eau, des températures de surface et des upwellings, jouent un rôle important dans la variation du niveau marin et du niveau des eaux du fleuve dans l'estuaire.

1.1. Les courants marins

Les côtes sénégalaises sont sous l'influence de deux types de courants marins décrits par Niang Diop (1995) qui cite Mix *et al.* (1986) :

- le courant froid des Canaries de direction NE-SW ; il est lié aux alizés du Nord-Est et atteint son intensité maximale au cours de l'hiver boréal où la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC) occupe sa position la plus méridionale (fig. 39b) : c'est la période des eaux froides le long des côtes sénégalaises ;
- le courant sud équatorial qui transporte vers l'ouest les eaux froides du courant de Benguela ; il est lié aux alizés du Sud-Ouest et renforcé pendant l'été boréal par le développement de la mousson et la remontée vers le nord de la ZITC (fig. 39a) ;

Entre ces deux courants, s'intercale le contre courant nord équatorial de direction Sud-Est, plus ou moins lié à la ZITC, qui transporte vers l'Est les eaux chaudes et salées formées sur l'Atlantique Ouest ; il va donner naissance au courant de Guinée. Pendant l'été boréal où il est particulièrement intense, il apporte les eaux tropicales sur les côtes sénégalaises.

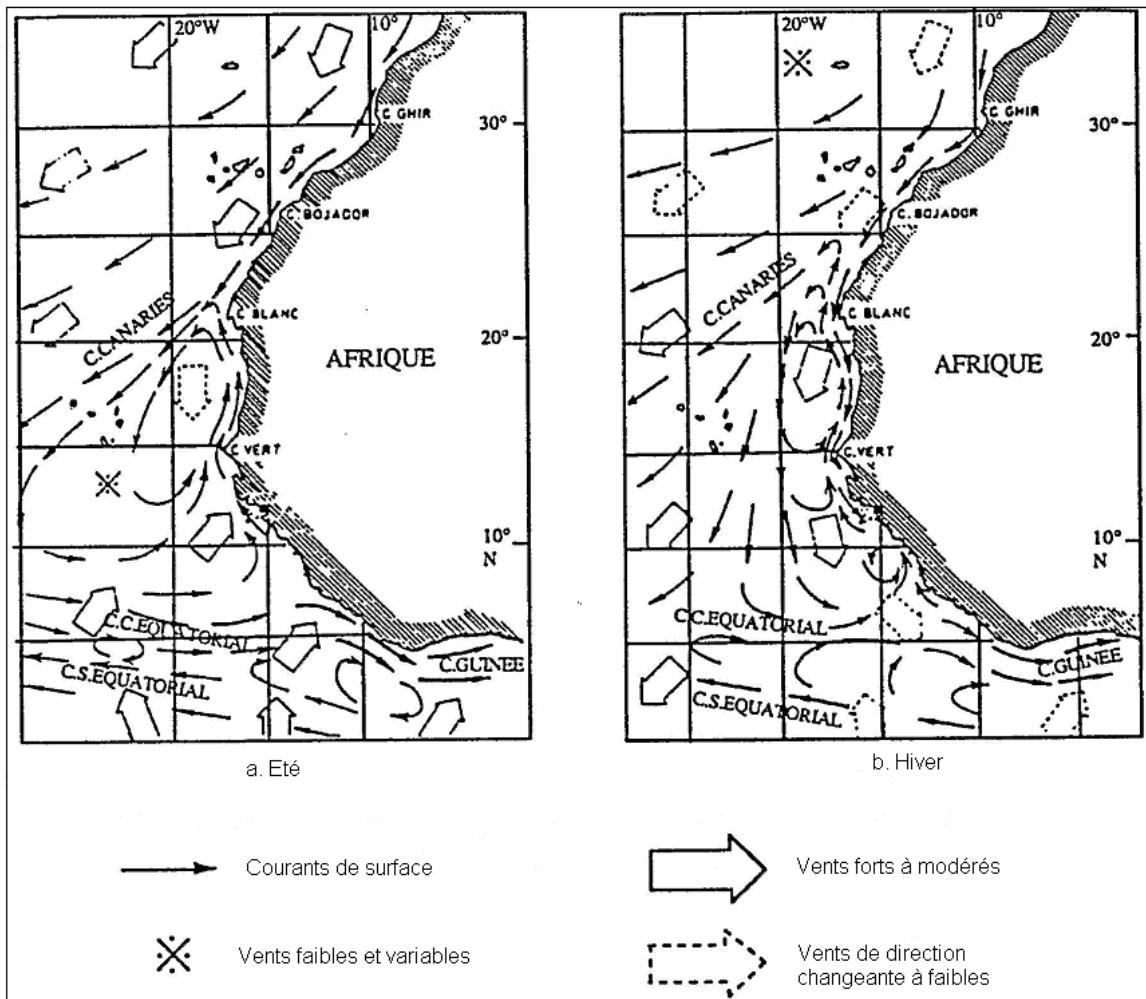


Figure 39 : Circulation océanique de surface dans l'Atlantique tropical Est (d'après Mittlestaedt, 1983)
in Niang Diop (1995)

Ces courants déterminent deux grandes saisons océaniques.

La **saison froide**, de novembre à mai, pendant laquelle les courants océaniques au large de Saint-Louis sont dominés par le courant froid des Canaries ; c'est la période où soufflent également les alizés. La vitesse du courant de surface est d'environ 1 nœud. Une branche du courant des Canaries bifurque vers l'ouest pour former le courant nord équatorial puis se déplace vers le sud. Certains auteurs comme Rebert (1977) et Domain (1977), cités par Kane (1985), signalent la présence d'un contre courant dirigé vers le nord, qui remonte le long de la côte septentrionale. De manière générale, pendant cette saison, les côtes sénégalaises connaissent des remontées d'eaux profondes ou « upwellings » qui se manifestent surtout de février à avril, entre Saint-Louis et Dakar. Ces phénomènes qui se passent en saison sèche (période de basses eaux pour le fleuve), accentués par l'action des alizés de direction nord-

nord-ouest, ont tendance à abaisser le niveau de la mer sur la côte. Le niveau des eaux ne peut ainsi constituer une menace pour la commune de Saint-Louis.

La **saison chaude** est marquée par l'arrivée de la mousson ; les masses d'eau du sud repoussent le front de remontée d'eaux froides ; les upwellings disparaissent. Contrairement aux courants froids, les eaux chaudes ont tendance à provoquer une remontée du niveau de la mer, accentuée par la mousson ; en même temps, c'est la période des hautes eaux du fleuve sénégal. Le niveau des eaux devient ainsi préoccupant pour la commune de Saint-Louis et les autres localités côtières.

1.2. La marée océanique

Les marées sont des variations du niveau des mers principalement causées par l'attraction de la lune et du soleil sur les masses d'eau terrestres. Leur amplitude est maximale quand l'action des deux astres est en phase, au moment de la pleine et de la nouvelle lune (marées de vives eaux). Surveyer, Nenninger, Chenevert (1972) *in* Kane (1985) proposent un marnage de 1,20 m à 1,60 m en période de vives eaux, avec un niveau marin qui peut osciller entre -0,75 m et +0,75 m au niveau de l'embouchure.

Par contre, l'amplitude de marée est minimale lorsque les actions de la lune et du soleil se contrarient (marées de mortes eaux). Ces mêmes auteurs estiment que le marnage tourne autour de 0,6 m en période de mortes eaux.

L'onde de marée maritime qui se manifeste sur la côte saint-louisienne vient du sud ; elle est perturbée dans sa progression par la tête de la presqu'île du Cap Vert entraînant un retard d'environ 45 mn par rapport à Dakar d'après BBL-SW (1985) *in* Kane (1997). Louise (1918), évalue ce temps de propagation de la marée, de Dakar à Saint-Louis, entre 60 et 120 mn en période de vives eaux et entre 30 et 60 mn en période de mortes eaux. La marée océanique au niveau de Saint-Louis est de type semi-diurne. La masse d'eau oscille suivant une période correspondant à la moitié d'un jour lunaire qui est d'environ 24 h 50 mn ; la mer monte pendant 6 heures environ puis s'étale pendant quelques minutes : c'est la marée haute.

Ensuite, elle redescend pendant 6 h et s'étale un certain temps : c'est la marée basse.

Selon Kane (1997), les vents perturbent momentanément la marée en provocant, sur la côte, une élévation du niveau moyen de la mer de 0,8 m (mousson) ou un abaissement de 0,6 m (vents du nord). L'action de la mousson qui intervient en période de crue peut contribuer au ralentissement de l'évacuation des eaux vers l'embouchure, favorisant les phénomènes d'inondation dans la commune de Saint-Louis.

1.3. Les courants de flot et de jusant

Ils résultent des effets antagonistes ou conjugués de l'onde de marée et des crues fluviales (Kane, 1985). Leurs caractéristiques (durée et vitesse) varient en fonction des saisons, de la profondeur et de la distance à l'embouchure. Il apparaît que :

- pendant le jusant (retrait des eaux), les courants dirigés Sud Sud Ouest, se déplacent à la vitesse d'environ 20 à 30 cm/s en saison sèche contre une vitesse supérieure à 90 cm/s en saison des pluies ; cette vitesse du jusant est toujours plus forte en surface qu'en profondeur tandis que son intensité est plus importante sur la rive gauche mais beaucoup plus précoce sur la rive droite ;
- pendant le flot (montée des eaux), les courants sont dirigés au Nord Ouest avec des vitesses comparables à celles du jusant en la saison sèche alors que pendant la saison des pluies les vitesses sont de l'ordre de 80 à 90 cm/s ; leur intensité est plus grande et plus précoce sur la rive gauche que sur la rive droite.

La prépondérance du jusant sur le flot, en saison des pluies, est liée à la dissymétrie de l'onde de marée et au débit important du fleuve en saison cette période, qui entraîne une réduction des vitesses du flot et un accroissement de celles du jusant qui peuvent dépasser 1,20 m/s (Sall, 1982) cité par Ba (2004). Ces courants peuvent être à l'origine du creusement des chenaux à proximité de l'embouchure du fleuve ; ils contribuent également au façonnement de la morphologie de l'embouchure et aux transports de sédiments de la partie externe de l'estuaire.

1.4. Les upwellings

Les upwellings sont engendrés par l'interaction des alizés de Nord-Est plus ou moins parallèles à la côte et du courant des Canaries (Sarnthein et *al.* 1982 cités par Niang Diop, 1995). Les eaux de surface sont entraînées vers le large et remplacées par des eaux froides, riches en éléments nutritifs, provenant de la masse d'eau centrale de l'Atlantique sud située entre 100 et 200 m de profondeur (Voituriez et Chuchla, 1978 ; Mittlestaedt, 1983 ; Rebert, 1983 cités par Niang Diop, 1995).

Ces phénomènes de remontées d'eaux froides sont permanents sur les côtes mauritanienes (20° à 25° N) et temporaires sur le littoral sénégalais où ils n'interviennent qu'entre les mois de décembre et de mai (Wooster et *al.*, 1976 ; Mittlestaedt, 1983 ; Roy, 1992). Ces phénomènes induisent une diminution de la température des eaux de surface à travers la

remontée de l'isotherme 19° C, à l'origine de variations du niveau marin, de l'ordre de 20 cm. Ceci correspond à une extension verticale maximale (200 à 225 m) de la masse d'eau centrale sud atlantique entre les mois de janvier et de mars.

Les courants engendrés par les upwellings présentent des vitesses comprises entre 5 et 20 cm/s, à 9 m de profondeur, avec des maximales qui peuvent atteindre 42 cm/s (BBL-SW, 1985, cité par Ba, 2004).

1.5. La dérive littorale

C'est un courant induit par le déferlement oblique de la houle par rapport à la ligne de rivage (fig. 40).

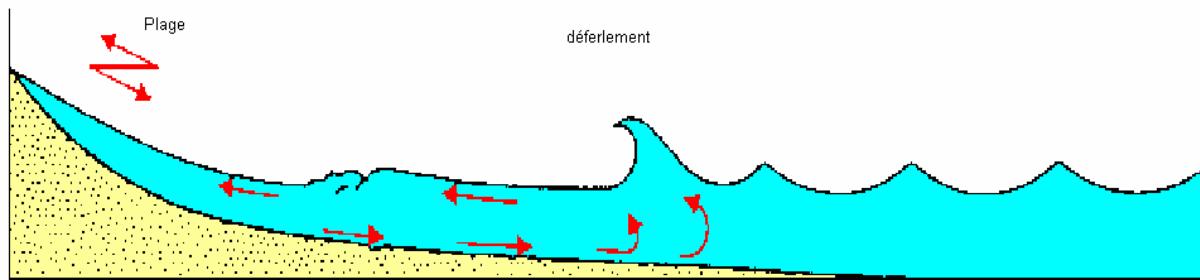


Figure 40 : Transformation des vagues sur la plage et courants induits par le déferlement, *in* Beauchamp (2002)

Ce courant littoral est parallèle au rivage et prend une direction N-S en face de la Langue de Barbarie, sur la côte saint-louisienne. La vitesse de la dérive littorale est évaluée entre 0,13 et 0,57 m/s. Elle transporte et dépose le sable sur la plage à un rythme variable selon les saisons (Gac *et al.*, 1982). Ce transport de sédiments le long du littoral, engendré par la dynamique marine, est à l'origine de la construction et de l'entretien de la Langue de Barbarie qui entraîne la migration progressive de l'embouchure du fleuve Sénégal vers le sud. Cet éloignement de l'embouchure augmente le temps de transit des eaux de crue dans l'estuaire, augmentant les risques d'inondation de la commune de Saint-Louis.

De nombreux auteurs comme Barusseau (1980), Sall (1982), cités par Niang Diop (1995), donnent des volumes annuels de sédiments, transportés par ces courants, allant de 200 000 à 1 500 000 m³.

L'allongement de la Langue de Barbarie par ce phénomène de dépôt de sédiments, augmente le temps de transit des eaux de crue dans l'estuaire, accroissant ainsi les risques d'inondation des localités côtières.

1.6. Les houles

Les côtes sénégalaises sont sous l'influence de houles d'origine lointaine et des « mers du vent » ou vagues au niveau local. Deux principaux types de houle, issus des hautes latitudes (40° - 60°) des hémisphères Nord et Sud sont notés sur les côtes saint-louisiennes : les houles de direction Nord-Ouest et les houles de direction Sud-Ouest.

1.6.1. Les houles de direction Nord-Ouest

Elles sont présentes d'octobre à juin, pendant toute la saison sèche et proviennent des tempêtes de l'Atlantique nord. Les houles de direction Nord-Ouest ($N320^{\circ}$ à $20^{\circ}E$) atteignent la côte sous forme de trains de grande longueur d'onde (en moyenne, 190 à 300 m) avec une période variant entre 11 et 15 secondes. Leur hauteur est généralement plus forte en cette période de l'année, avec des valeurs moyennes comprises entre 1 m et 1,60 m. A l'approche de la côte de la Langue de Barbarie, elles subissent une réfraction sur le fond, au niveau du plateau continental et déferlent obliquement par rapport à la côte (Kane, 1985).

Cette houle qui est la plus forte enregistrée à Saint-Louis, en cette période de l'année, provoque une mobilisation et un transport considérables de sédiments.

1.6.2. Les houles de direction Sud-Ouest

Les houles de direction Sud-Ouest ($N180^{\circ}$ - $230^{\circ}W$) se manifestent de juin à octobre et sont engendrées par les grands vents d'ouest de l'Atlantique sud. Elles sont liées aux flux de mousson issus de l'Anticyclone de Ste Hélène. L'action de ces houles est moins intense parce qu'elles perdent une grande partie de leur énergie par diffraction, au niveau de la presqu'île du Cap-Vert, qui joue le rôle d'écran pour la Langue de Barbarie.

Leur hauteur est plus faible que celle des premières (les houles du Nord-Ouest) avec des valeurs moyennes comprises entre 0,8 m et 1,20 m. De même, leur période comprise entre 5 et 10 secondes est plus courte.

En plus de ces deux grandes catégories de houle, le littoral peut également être atteint par des houles exceptionnelles d'ouest ($N260^{\circ}$ à $270^{\circ}E$) qui apparaissent généralement entre octobre et décembre. Elles seraient engendrées par des cyclones dans la mer des Caraïbes et doivent être à l'origine des ruptures de la Langue de Barbarie ; leur présence le long de ce cordon

littoral a été signalée depuis longtemps (Louise, 1918 ; Debaud, 1950 ; cités par Niang Diop, 1995).

Les caractéristiques en eau profonde de ces différentes houles aux larges des côtes sénégalaises sont décrites (tabl. 11) par Nardari (1993).

Tableau 11 : Caractéristiques en eau profonde des houles longues au large des côtes sénégalaises (d'après Nardari, 1993) *in* Niang Diop (1995)

Types de houles	Période moyenne (s)	Hauteur moyenne (m)	Longueur d'onde moyenne (m)	Puissance avant déferlement (KW. m ⁻¹)
NW (N320 à 20°E)	6,3	1,67	62	18
SW (N180 à 230°E)	5,7	1,49	51	11
W (N260 à 270°E)	6,8	1,80	73	22,7

1.6.3. Les vagues d'origine locale ou « mers du vent »

Ce sont des vagues plus ou moins régulières engendrées par des vents locaux et qui se superposent aux houles d'origine lointaine. Leurs caractéristiques sont très dépendantes de celles des vents (fig. 41).

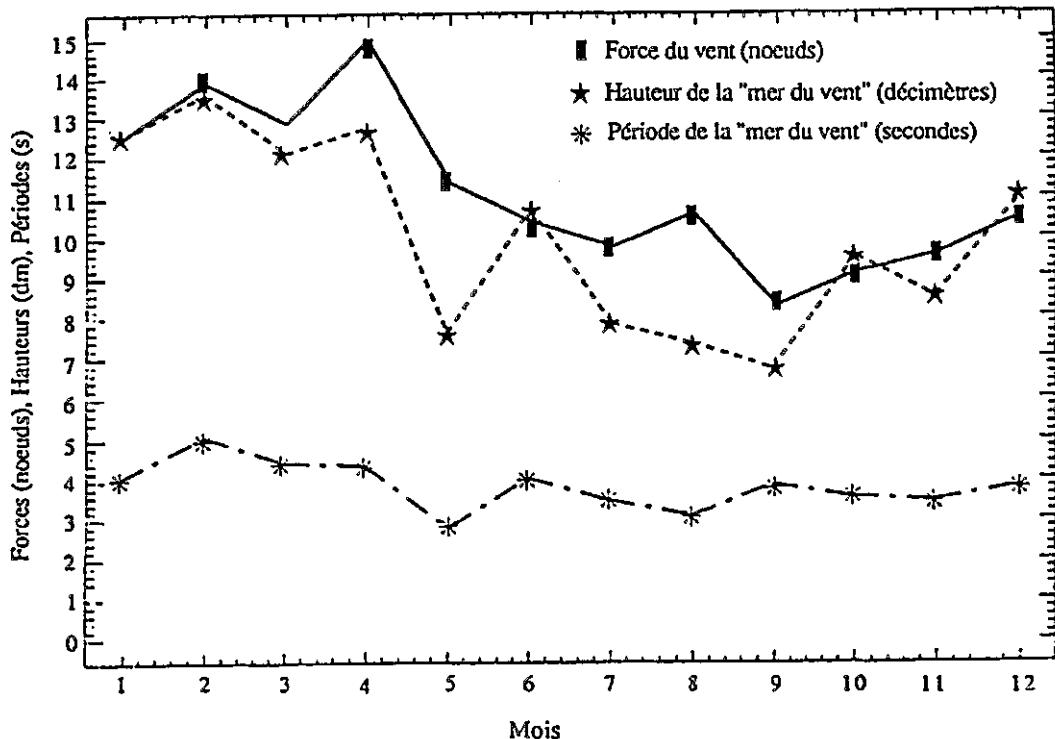


Figure 41 : Caractéristiques des mers du vent au large des côtes sénégalaises, Période 1991-1993
(d'après Nardari, 1993) *in* Niang Diop (1995)

Leur hauteur est généralement faible (0,65 à 1,35 m) avec des valeurs maximales notées pendant la saison des alizés de Nord-Est. Leur période varie entre 3 et 5 secondes. Certains auteurs comme Masse (1968), Dwars, Heederik et Verhey Ingénieurs Conseils (1979) cités par Niang Diop (1995) estiment que leur action sur la dynamique littorale est mineure, se réduisant à renforcer ou atténuer l'action des houles.

Par contre, d'autres comme SOGREAH Ingénieurs Conseils (1981), Nardari (1993) trouvent que leur rôle peut être important surtout pendant la période des alizés de Nord-Est.

Conclusion

La côte maritime saint-louisienne est très dynamique, principalement sous l'action des courants marins, des houles et des vents. En saison sèche, de novembre à mai, le courant froid des Canaries circule au large de Saint-Louis suivant une direction NE-SW. C'est également la période des alizés du Nord-Est qui soufflent parallèlement à la côte. L'interaction entre le courant froid des Canaries et les alizés entraîne les eaux de surface vers le large et provoque la remontée des eaux froides (19°C). Ce refroidissement des eaux de surface entre décembre et mai, se traduit par une baisse du niveau marin d'environ 20 cm.

En saison des pluies, le courant sud équatorial apporte les eaux chaudes au moment où souffle la mousson ; la combinaison de ces deux facteurs entraîne un relèvement du niveau marin au moment où la crue du fleuve Sénégal doit être évacuée vers l'embouchure : il s'ensuit ainsi un ralentissement de ce processus qui peut occasionner un débordement des eaux sur la commune de Saint-Louis en particulier. De même, les milliers de mètres cubes de sédiments déposés par la dérive littorale, allongent le cordon littoral de la Langue de Barbarie et augmentent le temps de transit des eaux de crue vers l'embouchure ; ce qui accroît considérablement les risques d'inondation des localités côtières.

2. Les variations du niveau marin sur le littoral ouest africain et à l'échelle du delta

En plus des variations qui se déroulent à l'échelle de la journée (marée) ou à l'échelle du temps géologique, déjà considérées dans les chapitres précédents, le niveau de la mer fluctue de manière saisonnière et interannuelle. L'intensité de la poussée océanique est directement influencée par l'amplitude du marnage (Cecchi, 1992).

2.1. Les variations saisonnières

Elles sont mises en évidence à partir des données recueillies au niveau du marégraphe de Dakar installé par le Permanent Service for Mean Sea Level (P.S.M.S.L.) et qui a plus ou moins fonctionné entre 1943 et 1965. Les niveaux moyens minimums de la mer sont enregistrées entre janvier et mars à avril tandis que les maximums interviennent essentiellement entre juillet et septembre et rarement en novembre (tabl. 12). Ce qui est en concordance avec le chapitre précédent.

Tableau 12 : Variations saisonnières du niveau marin à Dakar (1943-1965)

(d'après données P.S.M.S.L.) *in* Niang-Diop (1995)

Années	Minimum		Maximum		Ecarts maxima saisoenniers (cm)
	Mois	Hauteur (mm)	Mois	Hauteur (mm)	
1943	Mars	6850	Novembre	7097	24,7
1944	Février	6889	Août	7092	20,3
1953	Février	6889	Août	7103	21,4
1958	Février	6898	Août	7116	21,8
1959	Février	6907	Juillet	7063	15,6
1960	Mars	6852	Juillet	7089	23,7
1961	Janvier	6911	Août	7161	25
1962	Janvier	6909	Août	7070	16,1
1963	Février	6983	Août	7077	9,4
1964	Avril	6909	Juillet	7123	21,4
1965	Janvier	6900	Septembre	7123	22,3

Entre 1943 et 1965, la plus faible amplitude de variation du niveau marin est de 9,4 cm, noté entre les mois de février et août 1963. L'amplitude maximale est de 24,7 cm entre mars et novembre 1943 tandis que la moyenne est de 20,15 cm. A l'échelle annuelle, la variabilité périodique du niveau moyen de l'océan est de l'ordre de \pm 20 cm (Rebert, 1983).

A Saint-Louis, Rochette (1964) montre (à partir de mesures effectuées entre janvier et juillet 1963) que le niveau moyen de mi-marée oscille entre - 0,06 et 0,26 m IGN. Chenevert et *al.* (1972) déterminent un niveau moyen de la mer de 0,27 m IGN avec une fluctuation entre - 0,21 et 0,81 m IGN. Doniol (1956) cité par Niang-Diop (1995) avait mis en relation ces fluctuations saisonnières du niveau moyen de la mer avec les variations de la température des eaux de surface. Verstraete (1985) précise qu'elles sont liées aux upwellings. Ils provoquent,

d'une part, un refroidissement et une baisse de la salinité des eaux de surface qui deviennent moins denses et diminuent de volume. Dès le mois d'octobre, les eaux froides sud atlantiques commencent à remonter vers la côte entraînant, dans le secteur, une diminution brutale de la température de l'océan. La température minimale annuelle notée en décembre-janvier, est de l'ordre de 16° C (Cecchi, 1992). La remontée des eaux océaniques dans l'estuaire favorise des échanges de température avec le fleuve (fig. 42).

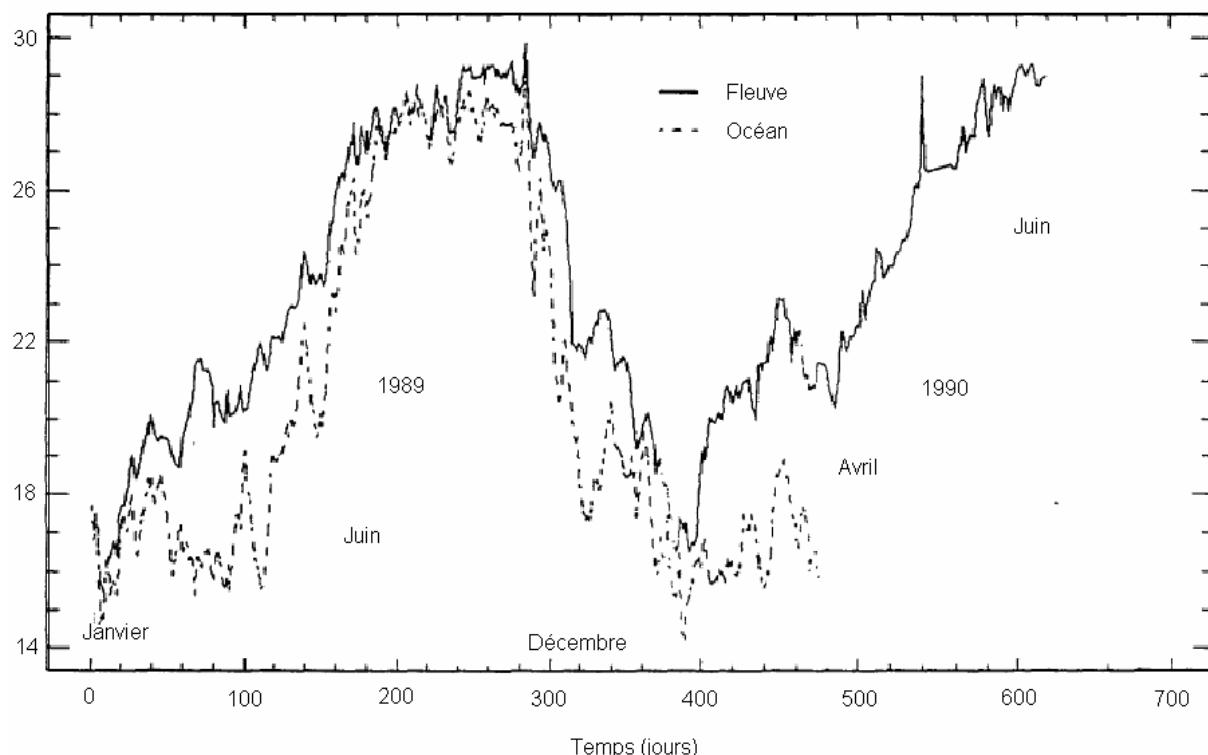


Figure 42 : Température de surface en mer et dans le fleuve à Saint-Louis, en 1989-1990 (d'après Cecchi, 1992)

D'autre part, les alizés du nord-est qui sont à l'origine des upwellings, repoussent les eaux de surface vers le large et provoquent une baisse du niveau marin sur la côte. Cette baisse saisonnière liée aux upwellings, intervient entre décembre et mai, sur les côtes sénégalaises, en période de saison sèche (fig. 43).

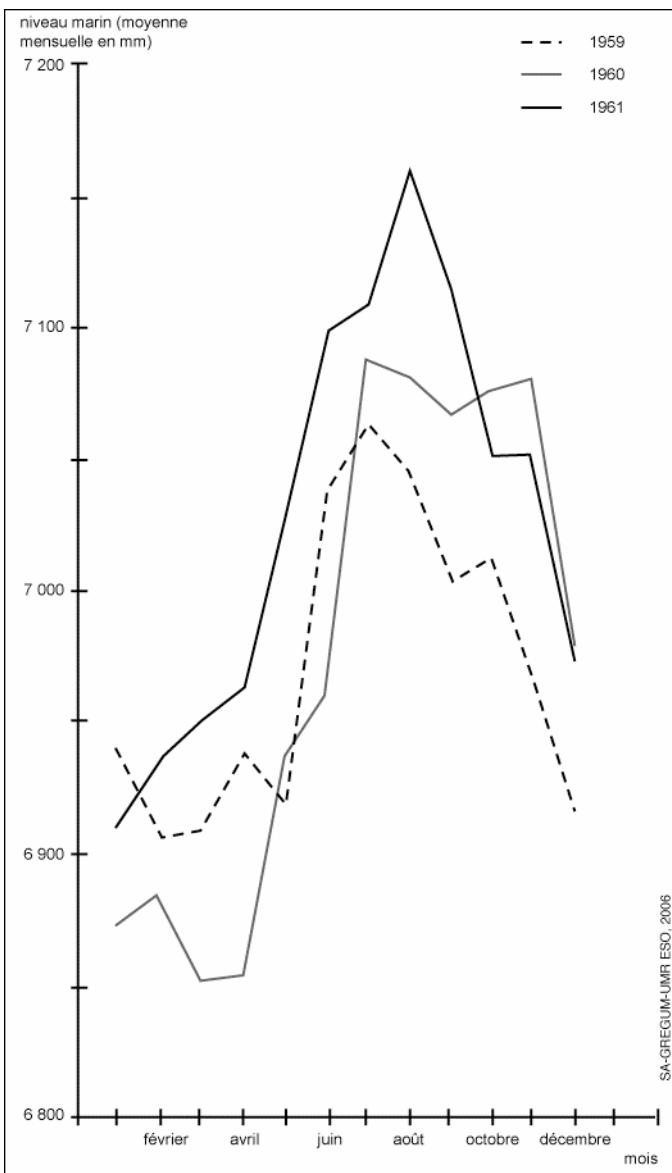


Figure 43 : Variations saisonnières du niveau marin à Dakar entre 1959 et 1961

(d'après les données de P.S.M.S.L.) *in* Niang-Diop (1995)

Par contre, la mousson, qui vient du sud-ouest, a plutôt tendance à accumuler les eaux de surface sur la côte, pendant la saison des pluies (Louise, 1918 ; Rebert, 1983). En cette période, les upwellings disparaissent et les eaux chaudes tropicales augmentent la température de surface océanique : un maximum de 30° C est enregistré (Cecchi, 1992). Le niveau de la mer s'élève et les marnages sont faibles. Kane (1997), note des valeurs de l'ordre de 0,13 m entre Gadiole et Saint-Louis et de 0,08 m entre Saint-Louis et Diamal. Il s'avère ainsi qu'au cours de la saison pluvieuse, l'estuaire du Sénégal subit simultanément :

- l'élévation du niveau de la mer du fait de l'augmentation de la température de surface et la présence de la mousson (fig. 44) ;
- et la montée des eaux du fleuve (crue annuelle).

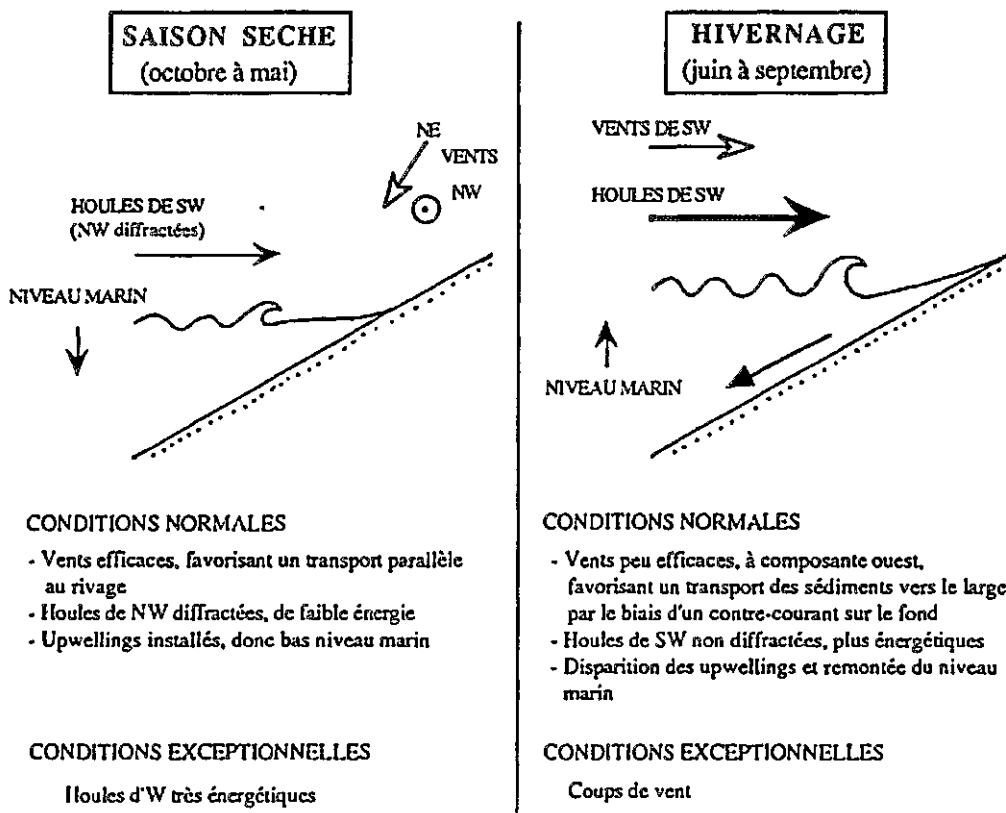


Figure 44 : Variations saisonnières du niveau marin sur les côtes sénégalaïses *in Niang-Diop (1995)*

Conclusion

Les variations saisonnières du niveau de la mer sont globalement de l'ordre de 20 cm ; ce chiffre est en deçà du pronostic moyen d'élévation de 0,5 m prévu d'ici à 2100. Ce constat augure déjà des impacts qui peuvent être attendus avec le pronostic élevé de montée du niveau de la mer d'ici à 2100, qui est de 0,77 m.

2.2. Les variations interannuelles

Elles sont de plus faible amplitude (fig. 45a) que les variations saisonnières. Entre 1959 et 1961, l'écart moyen annuel fut de 5,7 cm (Niang-Diop, 1995). Ces variations sont également perceptibles à la station de Takoradi au Ghana (fig. 45c).

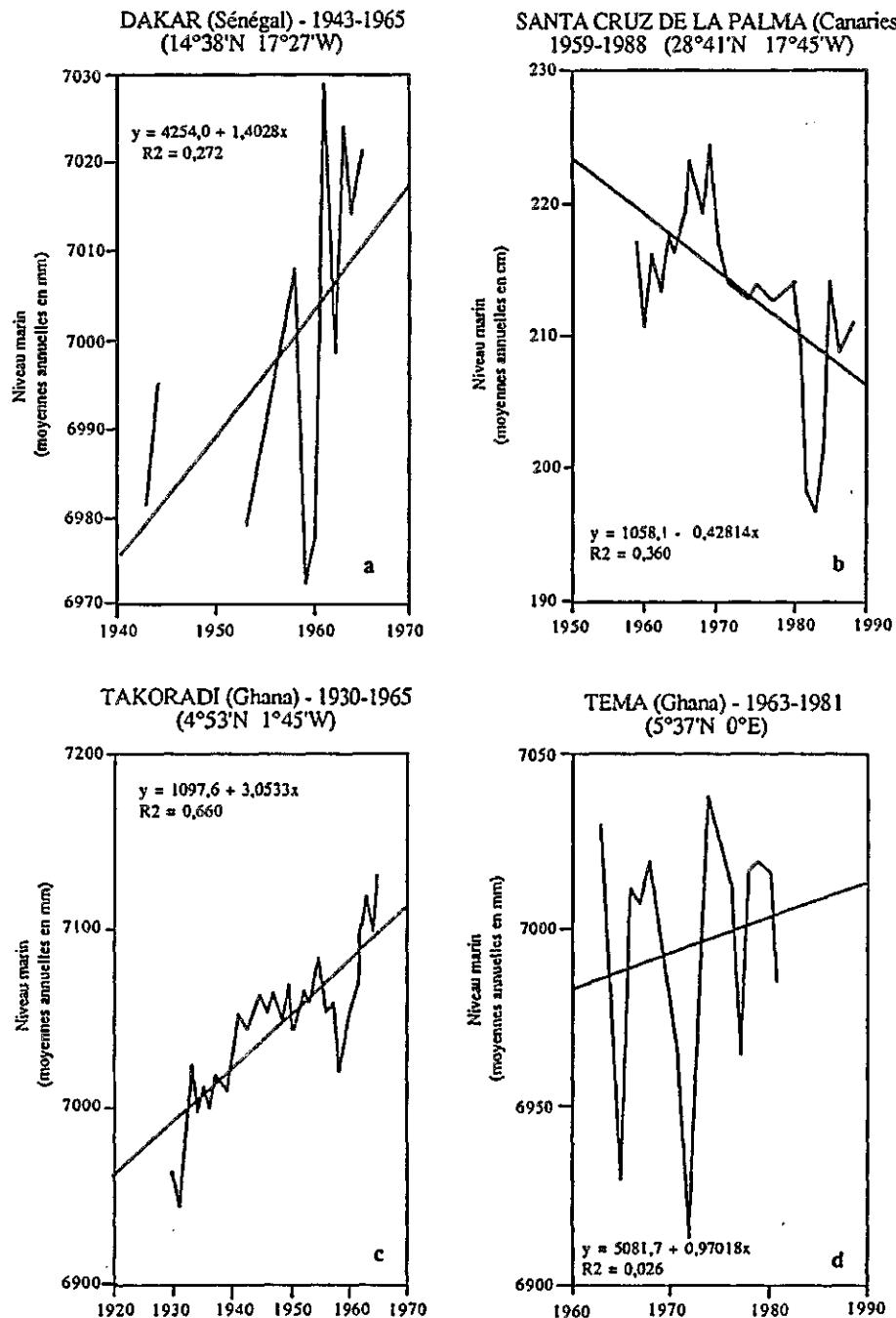


Figure 45 : Variations interannuelles du niveau marin sur différentes stations de l'Atlantique tropical Est (d'après les données du P.S.M.S.L. et de l'Institut Espagnol d'Océanographie pour la station des Canaries) *in* Niang-Diop (1995)

La baisse du niveau marin observée à Dakar et à Takoradi vers la fin des années 1950 et à la station de Santa Cruz de la Palma (Canaries) au début des années 1980, serait liée à des événements El niño (Annexe 2) intervenus dans le Pacifique en 1957-1958 et en 1982-1983 (Quinn *et al.*, 1987). L'Atlantique a réagi par de fortes remontées d'eaux froides en surface qui ont entraîné la baisse du niveau marin (Verstraete, 1986 ; 1989).

Les stations de Takoradi et de Tema au Ghana et la station de Santa Cruz de Tenerife aux Canaries, généralement utilisées pour caractériser les variations du niveau de la mer sur les côtes nord-ouest africaines, donnent des valeurs d’élévation comprises entre 1 et 3,4 mm/an avec une moyenne de 2,4 mm/an (tabl. 13).

Tableau 13 : Elévation moyenne du niveau marin sur trois marégraphes situés sur l’Atlantique tropical Est

Pirazzoli (1986) : suppression des oscillations locales du niveau marin par la méthode de Gutenberg.

Douglas (1991) : filtrage des variations interannuelles et correction de l’effet du réajustement glacio-isostatique.

Verstraete (1989) et Emery (1991) : pas de corrections ; *in* Niang-Diop (1995)

Stations	Période d’observation	Elévation moyenne du niveau marin (mm/an)
Santa Cruz de Tenerife (28° 29'N, 16° 14'W)	1927-1974	2,4 +/- 0,7 (Pirazzoli, 1986)
	1927-1988	2,6 +/- 0,5 (Verstraete, 1989) 1,8 (Douglas, 1991)
Takoradi (4° 53'N, 1° 45W)	1930-1969	3,4 +/- 0,6 (Verstraete, 1989)
Téma (5° 37'N, 0° E)	1963-1982	1 (Emery et Aubrey, 1991)

A Dakar, les données recueillies sur le marégraphe, entre 1943 et 1965, donnent un rythme d’élévation du niveau marin de 1,4 mm/an.

Conclusion

Si ce rythme se maintenait jusqu’à 2100, le niveau de la mer s’élèverait de 0,20 m sur les côtes sénégalaises ; ce chiffre est relativement comparable au pronostic le plus bas de 0,11 m d’élévation du niveau marin à l’échelle mondiale d’ici à 2100. En l’absence de données plus récentes, et compte tenu des nombreux facteurs naturels et anthropiques qui concourent aux modifications du climat de la terre, nous utiliserons les informations fournies par les modèles en ce qui concerne le niveau de la mer dans le delta.

3. La dynamique fluviale

La dynamique des eaux du fleuve est en interaction constante avec les fluctuations du niveau marin, notamment avec les marées. En saison sèche, l’action de la mer est prédominante mais en saison humide le débit du fleuve repousse les eaux océaniques vers l’embouchure ; néanmoins ce processus peut être freiné par la montée du niveau marin augmentant ainsi les risques d’inondation des localités côtières.

3.1. La marée fluviale

Elle est issue de la marée océanique et remonte le fleuve vers l'amont. Il se crée ainsi une opposition entre le débit du fleuve et la poussée océanique. En période de basses eaux, à partir d'un débit du fleuve inférieur à $600 \text{ m}^3/\text{s}$, la langue salée pouvait remonter (avant le barrage de Diama) très loin en amont jusqu'environ 450 km de l'embouchure. Ceci constituait une contrainte de taille à la mise en valeur agricole des terres du delta et est en grande partie à l'origine de la réalisation du barrage antisel de Diama en 1985.

En période de hautes eaux, le débit fluvial est fort et la langue salée est bloquée : l'eau reste douce en amont de l'embouchure. La vitesse de propagation de l'onde de marée est maximale à marée haute et minimale à marée basse. Rochette (1974) donne les temps de propagation suivants de la marée dans le delta du fleuve Sénégal (tabl. 14) :

Tableau 14 : Temps de propagation de la marée dans le delta du fleuve Sénégal (d'après Rochette, 1974)

Stations	Distance de l'embouchure (km)	Temps de propagation		Vitesse partielle de propagation à marée haute (m/s)
		Marée haute	Marée basse	
Gandiole	2,5	20 mn	25 mn	2,08
Saint-Louis	18	1 h 35 mn	1 h 45 mn	3,44
Maka	51	3 h 05 mn	3 h 20 mn	6,11
Débi	81	4 h 45 mn	4 h 55 mn	5,00
Diaouar	115	6 h 15 mn	6 h 40 mn	6,30
Richard Toll	158	8 h 00 mn	8 h 20 mn	6,82

Il ressort de ces données que :

- la vitesse de propagation augmente rapidement en amont de Saint-Louis, certainement à cause de la réduction de la section du fleuve qui passe de 670 m^2 en aval de Saint-Louis à 360 m^2 en amont;
- le temps de propagation de la marée haute est toujours plus court que celui de la marée basse.

3.2. Les apports de sédiments continentaux

L'estuaire se remplit progressivement de sédiments essentiellement apportés par le fleuve et déposés sous forme de boue. Les variations saisonnières de la turbidité des eaux du fleuve Sénégal sont remarquables. En période de crue, la très forte charge en limons confère une

couleur jaunâtre à l'eau qui retrouve sa teinte « normale » en période de décrue, avec la remontée des eaux océaniques.

Selon Gourcy (1994) cité par Kane (1997), les matières en suspension peuvent être :

- des éléments minéraux ou inorganiques provenant du bassin versant, des rives et du lit du fleuve ;
- des particules organiques comme le phytoplancton ;
- des poussières atmosphériques apportées par le vent ;
- etc.

La charge en suspension dépend plus de la saison que du débit ; trois phases sont généralement décelées par les auteurs (Kane, 1985) :

- une période d'érosion précoce, en début de saison des pluies (début de crue) qui s'étale sur 20 à 30 jours et se traduit par une augmentation rapide de la turbidité et du débit ; elle correspond essentiellement à l'arrivée des matières en suspension apportées par le ruissellement superficiel provoqué par les premières averses ;
- une période d'érosion tardive qui correspond au passage de la crue et qui peut durer deux mois ; pendant cette phase, la charge en suspension diminue dans le cours d'eau au moment où les débits augmentent; elle correspond surtout à l'érosion des berges et du lit mineur du fleuve ;
- une période d'alluvionnement en fin de crue, marquée par une diminution simultanée de la turbidité et des écoulements ; elle se poursuit jusqu'à la crue suivante.

Seguy (1955) évalue la charge moyenne des matières en suspension (à Bakel, Dagana et Fadougou lors de la décrue de 1953 et des fortes crues de 1955 et 1956) à 250 mg/l à Dagana et à 170 mg/l à Bakel. Ces sédiments proviennent pour l'essentiel de l'érosion des berges des rives concaves qui serait de l'ordre de 1 m à 1,50 m/an (Michel, 1970), Sall, (1982) et Michel et Sall (1984).

Il y'a un façonnement continual du lit fluvial durant les périodes de crues, qui permet d'apporter des sédiments fins à l'embouchure. Selon Michel (1970), l'apport en matières détritiques s'élèverait annuellement à 2 800 000 tonnes (pour une très forte crue), à 1 900 000 tonnes (pour une crue moyenne) et à 1 000 000 tonnes (pour une très faible crue).

Kane (1985) a calculé les quantités de matières en suspension (tabl. 15) au niveau de l'embouchure du Sénégal (échantillons collectés au niveau du pont Faidherbe) pour les saisons hydrologiques 1981-1982 et 1982-1983, en utilisant la formule suivante :

$M = \text{masse (T)} = Cs * V * 86\,400$

$Cs = \text{charge solide en suspension (mg/l ou g/m}^3)$

$V = \text{volume moyen journalier (m}^3/\text{s)}$

Tableau 15 : Bilan des flux de matières en suspension à l'embouchure du Sénégal (d'après Kane, 1985)

Mois	1981-1982			1982-1983		
	C (mg/l)	V (10^6 m^3)	Masse (T)	C (mg/l)	V (10^6 m^3)	Masse (T)
Août	476,7	3028,95	1 443 995	186,2	1 705,97	317 613
Septembre	237,5	4 058,21	963 638	210,3	2 875,39	604 644
Octobre	135,7	2 598,48	352 731	128,1	1 725,25	220 959
Novembre	89,2	1 047,25	93 433	47,6	805,91	38 348
Décembre	19,7	383,72	7 561	(10,3)	305,34	(3 130)
Janvier	14	162,93	2 282	(7,4)	127,76	(945)
Février	17	67,5	1 146	(9,2)	51,53	(474)
Mars	15	26,15	391	(7,9)	20,62	(162)
Avril	5,7	7,47	42	(3,3)	5,5	(18)
Mai	5,9	2,45	15	(3)	2,01	(6)
Juin	11,1	1,26	11	(13)	0,31	(4)
Cycle hydrologique	251,7	11 384,37	2 865 245	155,5	7 625,59	1 185 903

L'essentiel du transport (95%) est effectué en août, septembre et octobre, au moment de la période de crue. Dans la même période, à Bakel, les mesures ont donné, 2 340 000 T en 1981-1982 contre 1 420 000 T en 1982-1983. L'année hydrologique 1981-1982, a présenté une crue plus importante (hauteur maximale annuelle à Saint-Louis : 78,5 cm IGN) que 1982-1983 (hauteur maximale annuelle à Saint-Louis : 60,5 cm IGN). Cela semble montrer une relation assez étroite entre les volumes d'eau écoulés et les quantités de matières en suspension transportées vers l'océan (fig. 46).

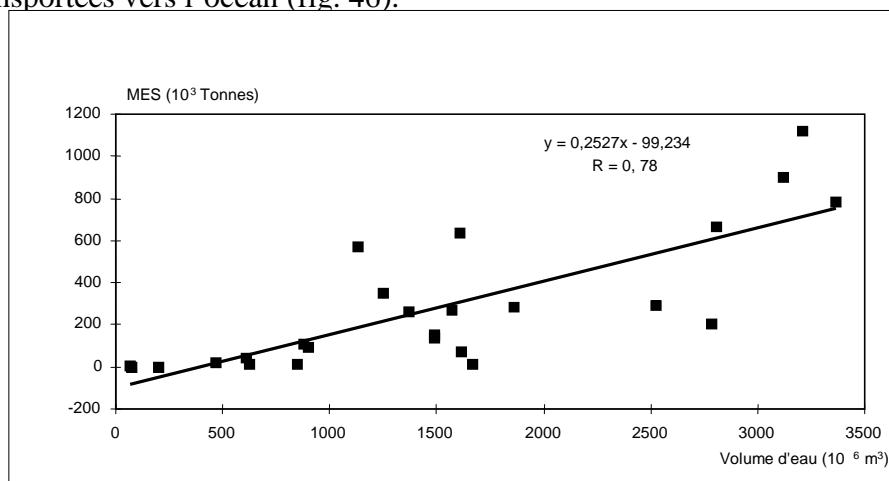


Figure 46 : Quantités de matières en suspension transportées en fonction du volume d'eau écoulé à Diama entre 1989 et 1993 (d'après Kane, 1997)

Ba (1993) estime que les quantités de matières en suspension varient de 20 mg/l en période d'étiage à 400 mg/l au maximum de la crue.

Ces grandes quantités de matières fines, inférieures à $50 \mu\text{m}$ (Ba, 1993), qui se déposent annuellement dans l'estuaire, contribuent à l'obstruction progressive du chenal ; ce qui se traduit par un ralentissement de la vitesse d'évacuation des eaux de crue et augmente les risques de submersion des localités côtières.

Conclusion

Les quantités de matière en suspension transportées par le fleuve au niveau de l'estuaire sont importantes et augmentent avec l'intensité de la crue. Ces sédiments déposés annuellement dans l'estuaire peuvent contribuer à l'obstruction du chenal qui retarde l'évacuation des eaux de crue et augmente les risques d'inondation de la commune de Saint-Louis.

3.3. Le système fleuve-lac de Guiers

Le lac de Guiers est une dépression étroite de 50 km de long sur une largeur maximale de 7 km ; à la cote moyenne de 1,5 m IGN, il couvre une superficie de 240 km² pour un volume d'eau de 390 millions de mètres cubes (Cogels, 1993 cité par Kane, 1997). Il peut être subdivisé en deux zones distinctes (IUCN, 1998) :

- une zone nord, avec un vaste plan d'eau libre d'une profondeur moyenne d'environ 2 m et qui concentre plus de 85% du volume total du lac ;
- une zone sud parsemée d'îlots, d'une profondeur moyenne d'environ 0,75 m.

Le lac était relié au fleuve Sénégal par un marigot de 25 km de long, la Taouey, à partir duquel transitaient les eaux de crue. Il dessert dans sa partie nord-ouest le marigot du Niéti Yone, long de 28 km, pour alimenter la dépression du Ndial, elle-même reliée aux trois marigots dans sa partie sud ouest (fig. 47).

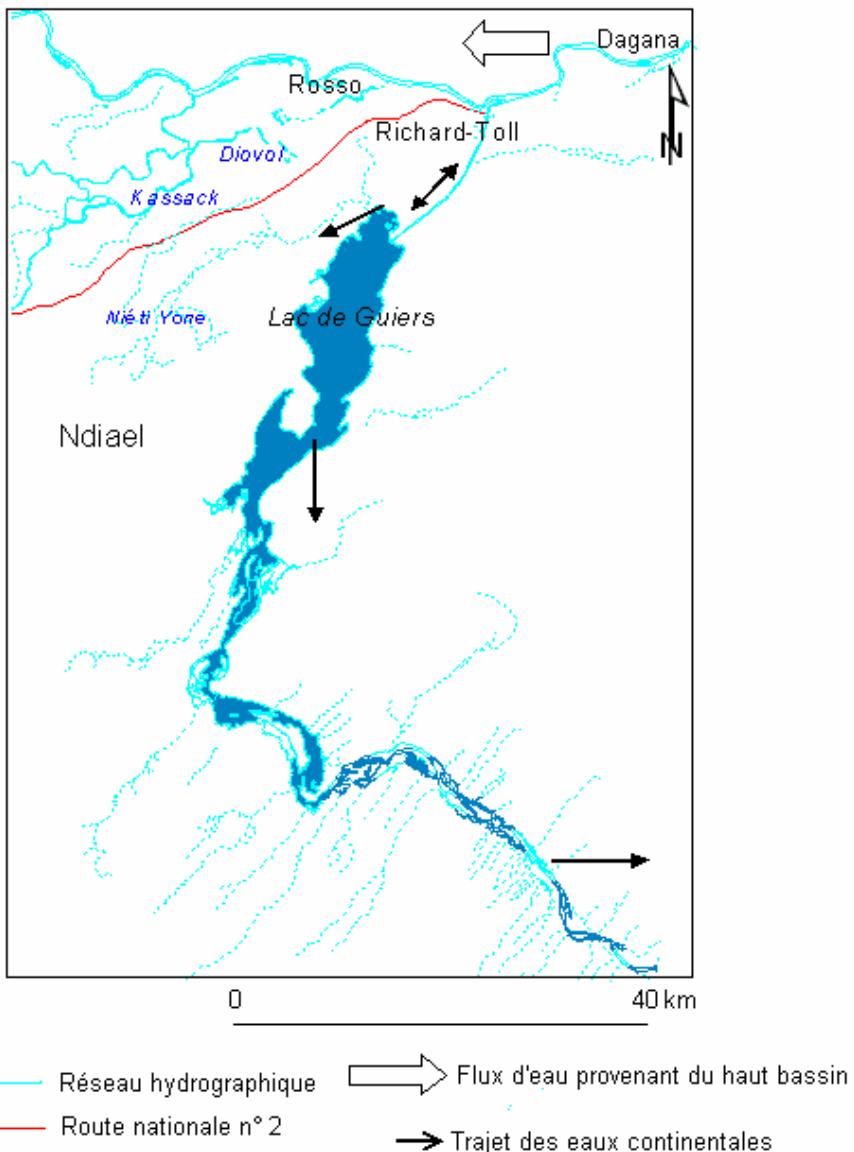


Figure 47 : Le système d'alimentation en eau du lac de Guiers dans les conditions hydrologiques naturelles.

M. Sall (2006)

Au niveau de Keur Momar Sarr, le lac de Guiers s'ouvre sur la vallée du Bounoum qui se rétrécit progressivement. A partir de Yang-Yang, se dessine le réseau de vallées fossiles du Ferlo qui s'étend jusqu'aux environs de Bakel (fig. 48).

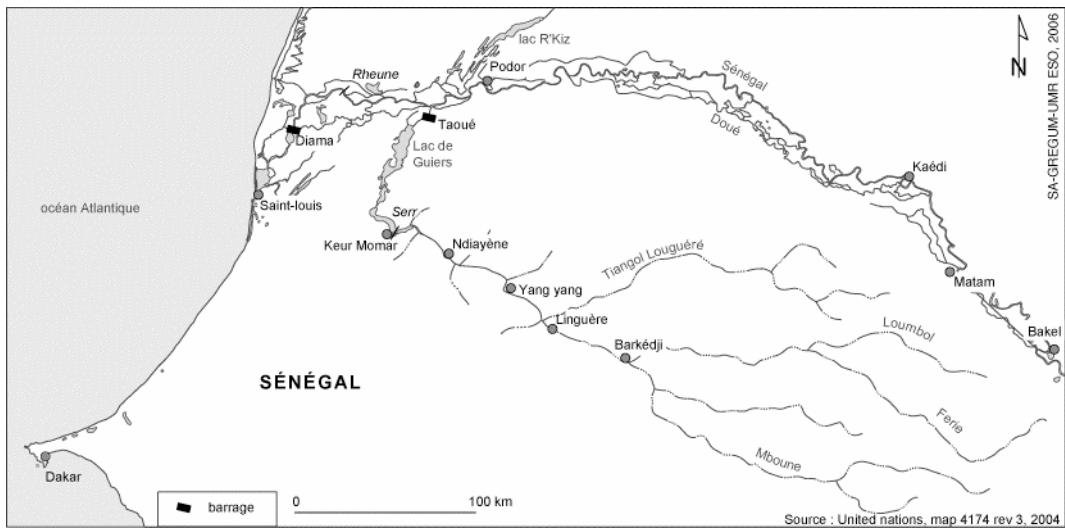


Figure 48 : Le système fleuve-lac de Guiers-réseau de vallées fossiles du Ferlo

Le régime hydrologique comprenait deux grandes phases :

- une phase de remplissage du lac en période de crue, avec apport d'eau douce ;
- une phase de retrait des eaux avec remontée de la langue salée qui envahissait tous les plans d'eau sur près de 300 km à partir de l'embouchure (Rochette, 1974).

Le fonctionnement naturel du système fleuve-lac dépendait ainsi fortement de l'alternance des saisons et des quantités de pluies enregistrées dans le bassin du fleuve Sénegal. Les activités traditionnelles exploitaient judicieusement ce potentiel à travers les cultures vivrières de décrue, la pêche et l'élevage extensif transhumant des bovins et des petits ruminants.

Avec l'artificialisation progressive du système hydrologique, l'alimentation du lac de Guiers à partir du fleuve se fait toujours par l'intermédiaire de la Taouey, dérivée sur un canal de 17 km de long. Deux ouvrages construits sur ce canal (pont-barrage, vannes) permettent de contrôler les transferts d'eau. Le régime hydrologique du lac comprend toujours deux phases distinctes :

- une phase de remplissage en période de crue (juin à octobre);
- une phase d'isolement avec la fermeture des ouvrages de la Taouey.

Cogels (1994) estime les apports en eau du lac de Guiers comme suit :

- apports fluviaux annuels à travers le canal de la Taouey : 85% ;
- rejets des eaux de drainage de la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) : 7% ;
- apports pluviaux, 8% en moyenne.

L'eau emmagasinée en période de crue est ainsi conservée pour satisfaire plus longtemps les besoins de la culture irriguée et de l'alimentation partielle en eau de Dakar. En outre, la permanence de l'eau douce permet à la CSS de s'approvisionner directement à partir du fleuve même en période de basses eaux. Mais ceci favorise en même temps le développement de plantes aquatiques qui envahissent le plan d'eau surtout dans la partie sud du lac.

Conclusion

Le prolongement du lac de Guiers par un important réseau de vallées fossiles qui traverse le Ferlo, constitue un potentiel important pour le drainage des eaux du fleuve par le biais du lac. En effet, ce vaste réseau d'anciennes vallées, peut être exploité pour évacuer le surplus d'eau susceptible de submerger les localités côtières en période de crue. Ceci d'autant plus que le Ferlo qui est sillonné par ce réseau, manque de ressources en eau pour développer des activités comme le maraîchage ou même consolider l'élevage traditionnel des bovins et des petits ruminants qui fait sa réputation.

3.4. Le système d'alimentation en eau des cuvettes

Les cuvettes du delta, en particulier le Djoudj et le Ndiael, étaient alimentées par le fleuve en période de hautes eaux, à travers le réseau de marigots.

3.4.1. Le Djoudj

La cuvette du Djoudj (la plus grande du delta) qui couvre une superficie de 20 000 ha est située au nord-ouest du delta ; elle est limitée au nord et à l'ouest par le fleuve Sénégal, à l'est par le marigot de Rhad, au sud par le Gorom. C'est un système constitué d'un ensemble de plans d'eau (marigots, lacs et mares) reliés entre eux par des chenaux.

Les lacs (khar, lamantin, grand lac) sont des milieux saumâtres ouverts, sans végétation tandis que les marigots et mares (Djoudj, Tiégel, Dingo, Khoyoye) sont relativement fermés et bordés d'une végétation assez dense. Le parc national du Djoudj qui occupe l'essentiel de la cuvette (16 000 ha) a été créé en 1971 ; il est également classé site Ramsar du fait de son statut de zone humide d'importance internationale. C'est enfin un site classé patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1981.

Le relief est plat mais comprend des levées deltaïques au nord et au nord-est du bassin et des levées subactuelles (environ 4 m d'altitude) qui suivent les méandres du fleuve Sénégal et du Gorom et peuvent aussi se retrouver au niveau de la dépression centrale.

Les sols sont essentiellement composés de sédiments argileux, limoneux et sableux du Quaternaire. Ces particules fines sont facilement mobilisées par l'érosion éolienne (en période sèche) qui contribue à la formation de dépressions emboîtées au fond de la cuvette ou sebkhas. Ces sebkhas qui couvrent environ 7% de la superficie de la cuvette (Diop, 1992), sont généralement occupées par les lacs et les mares. Les éléments transportés par le vent s'accumulent sur des obstacles pour former de petites dunes ou nebkhlas.

La submersion de la cuvette est temporaire ou permanente en fonction du micro relief ; l'eau stagne plus longtemps dans les parties les plus basses où les taux d'argile sont les plus élevés comme au niveau du grand lac où cette proportion dépasse 46% (Diop, 1992). En phase humide, ces sols hydromorphes gonflent, constituant un facteur limitant la percolation des eaux ; par contre, en phase sèche, les fentes de retrait sont favorables à un début d'infiltration et de lessivage des sols.

Les invasions marines successives du Quaternaire ont engendré une salinité résiduelle dans le delta en général, qui s'est manifestée dans la cuvette du Djoudj par refoulement des eaux estuariennes dans les marigots de vidange. Les zones où la durée de submersion est élevée sont les plus affectées par ce phénomène. Dans le secteur du grand lac, par exemple, la concentration en sels est de 33g/l contre 8g/l pour la dépression centrale (Sarr, 1992).

(Diop, 1992) détermine dans la cuvette du Djoudj, trois zones distinctes sur le plan hydrologique (fig. 49) :

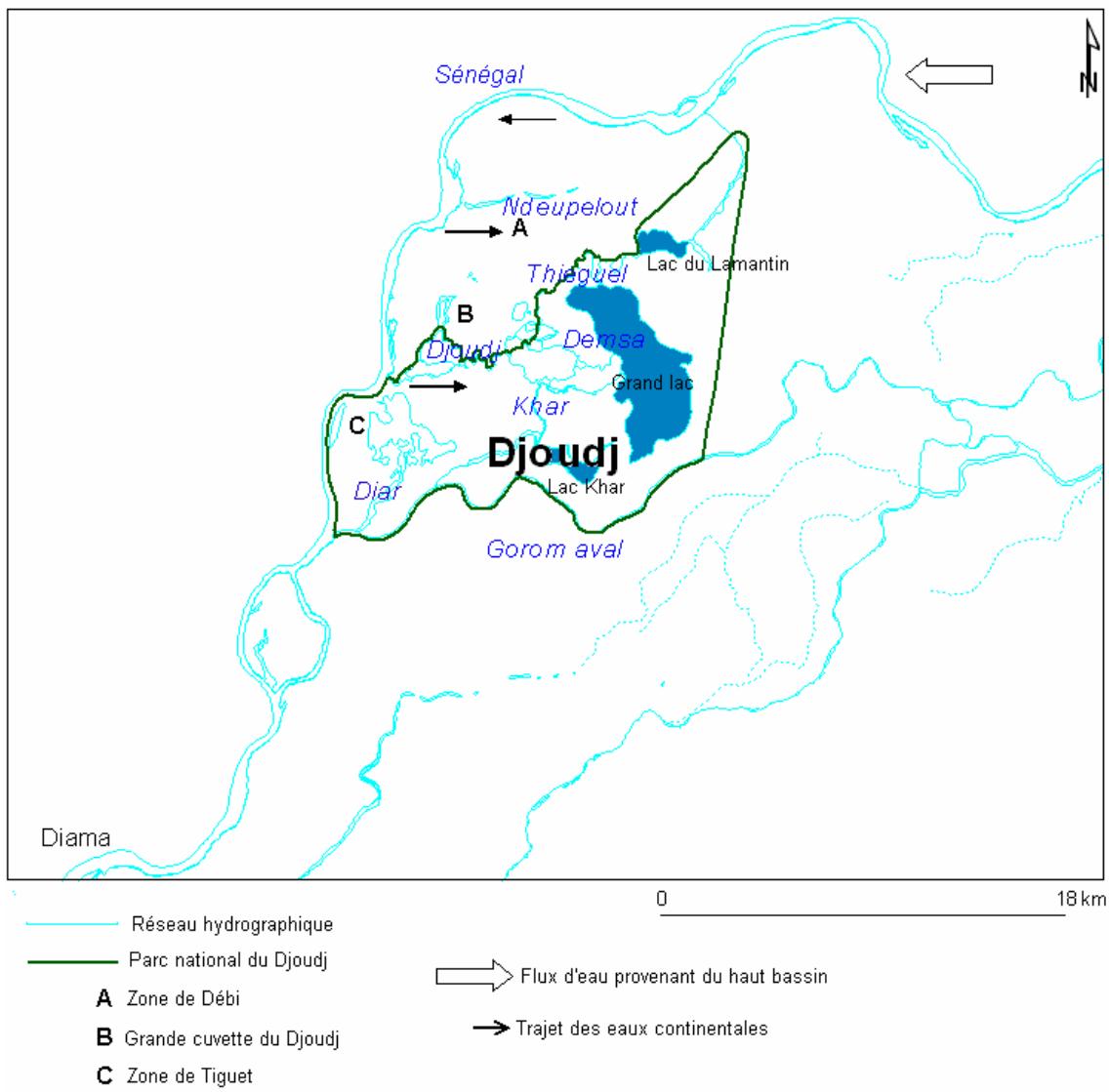


Figure 49 : Le système d'alimentation en eau de la cuvette du Djoudj dans les conditions naturelles

M. Sall (2006)

- la zone de Tiguet, drainée par le marigot de Diar, qui couvre environ 3 000 ha ;
- la zone de Débi ou petite cuvette du Djoudj, drainée par le marigot de Ndeupelout, qui occupe environ 2 000 ha ;
- la grande cuvette du Djoudj qui est drainée par le marigot du Djoudj et ses défluents.

La pente, inférieure à 5% dans la cuvette est faible (Diop, 1992), engendrant un écoulement fluvial ouest-est lent, permettant le dépôt des sédiments.

3.4.2. Le Ndial

La cuvette du Ndial est située entre 16°10' et 16°18' de latitude Nord et 16° et 16°07' de longitude Est. Elle couvre une superficie de 46 550 ha et se trouve à environ 60 km au nord-est de Saint-Louis (fig. 50).

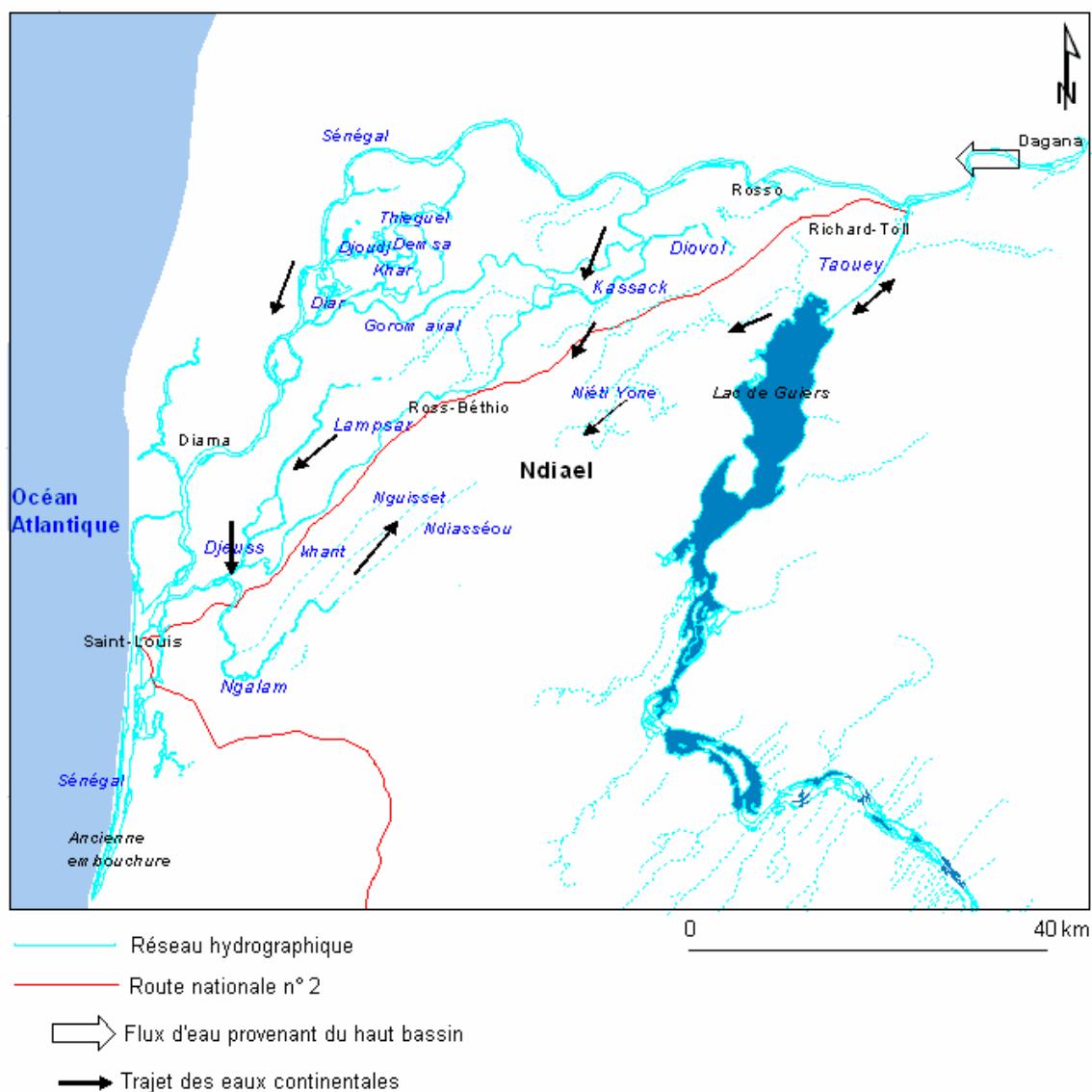


Figure 50 : Le système d'alimentation en eau de la cuvette du Ndial dans les conditions hydrologiques naturelles, M. Sall (2006)

C'est une dépression complexe qui peut comporter des cotes très basses (-1,15 m), suite à un creusement lié à l'écoulement mais aussi à la déflation éolienne (Mietton et Humbert, 1992, 1994).

Selon la Direction des Eaux Forêts Chasses et de la Conservation des Sols (DEFCCS, 1998), le Ndial peut être schématiquement divisé en deux parties :

- une partie sud qui constitue le prolongement des trois marigots : c'est une zone accidentée, parcourue par de nombreux marigots alimentés en partie par les eaux de pluies, qui entretiennent une végétation servant de pâturage aux troupeaux ;
- une partie nord de 10 000 ha, sèche, sursalée, dépourvue de végétation, qui reçoit les eaux de drainage du casier rizicole de Kassak.

Les trois marigots (Khant, Nguisset, Ndiasséou) sont situés dans une zone de relief plus accentué ; ils se présentent sous forme de trois marais allongés dans des dépressions parallèles séparées par des cordons dunaires. Ces marais sont longs de 15 à 20 km et larges de 600 à 800 m. Auparavant (dans les années 1950), avec les conditions hydrologiques naturelles du delta, le Ndialé était correctement approvisionné en eau à partir des trois sources suivantes (DEFCCS, 1998) :

- le *Niéti Yone* : c'est un marigot de 28 km de long qui assurait principalement le remplissage de la cuvette du Ndialé jusqu'aux années 1950 ; depuis 1956, des bouchons sableux l'ont isolé du nord de la cuvette ;
- le *marigot de Bonbol* : c'est le prolongement du marigot de Telel, bras du Lampsar, situé à 3,5 km du Ndialé ; depuis le début des années 1960, il est coupé de la cuvette par la route nationale n° 2 ;
- le *trop plein des trois marigots* : le marigot de Menguèye qui est un prolongement du marigot de Diasséou (le troisième), alimentait le Ndialé par le nord-ouest ; les trois marigots étaient alimentés à partir du Djeuss qui est relié au fleuve Sénégal au niveau de Dakar-Bango ; l'eau provenant ainsi du Djeuss, passe par le Ngalam (à travers le pont barrage de Ndiawdoune) qui alimentait les premier et deuxième marigot ; le deuxième marigot alimentait à son tour le troisième qui se jetait dans le Ndialé ; cette possibilité n'était réalisée que lors des années de forte crue ; généralement le marigot de Menguèye servait à évacuer les eaux parvenues au Ndialé à partir du Niéti Yone.

La surface inondable du Ndialé variait entre 10 000 et 30 000 ha (De Naurois, *in* Mietton et Humbert, 1992). La cuvette du Ndialé était ainsi une zone humide à forte biodiversité qui lui valut d'être classée Réserve Spéciale de Faune en 1965 par décret présidentiel. Plus tard, elle fut reconnue comme zone humide d'importance internationale pour l'avifaune et érigée en site Ramsar en 1977.

Conclusion

Dans le delta du fleuve Sénégal, le réseau de cours d'eau défluents du fleuve, joue un rôle important dans le drainage des eaux de crue vers les dépressions naturelles qui renferment une forte biodiversité. Ce système harmonieux, pouvait ainsi réduire le surplus d'eau qui se déversait vers les localités côtières comme Saint-Louis.

3.5. Les échanges fleuve-nappe

Les données hydrogéologiques sont collectées à travers un dispositif de suivi, créé par l'OMVS, dans le cadre du projet « Eaux souterraines », mené en partenariat avec l'USAID, de janvier 1985 à juin 1990. L'objectif était de doter l'OMVS d'un système de gestion des eaux (souterraines et de surface), à la suite de la réalisation des barrages de Diama (1985) et de Manantali (1988). Ce réseau, mis en place en 1986-1987 (Dieng, 1997), comprend :

- 569 piézomètres et 582 puits villageois installés dans la plaine alluviale (vallée et delta);
- 20 piézomètres et 3 forages localisés dans le haut bassin aux environs de Manantali.

Ces piézomètres atteignent une profondeur maximale de 65 m mais la majorité capte les nappes, principalement du Quaternaire et du Continental Terminal, entre 10 et 50 m.

Les fluctuations du niveau piézométrique des nappes d'eau souterraine sont fonction de la nature des échanges avec les plans d'eau de surface (fleuve, marigots, lacs, périphériques irrigués, etc.) ainsi que des apports des eaux pluviales. L'efficacité de ces échanges peut être influencée par le caractère libre ou captif des nappes ainsi que par la nature des relations entre les différentes nappes.

A partir des données des essais de pompage de longue durée (au moins 48 h) réalisés par l'OMVS, Touzi (1998) a déterminé une continuité hydraulique entre les formations sableuses du Quaternaire et du Maastrichtien : c'est un aquifère multicouche. Ce même constat est fait entre les formations maastrichtiennes, les calcaires éocènes et les formations alluviales.

Par ailleurs, les analyses isotopiques (Deuterium, Tritium, Oxygène ¹⁸) effectuées sur des échantillons d'eaux souterraines, de pluies et du fleuve par Illy (1973) et Diagana (1994), confirment l'alimentation de la nappe à partir du fleuve et des eaux de pluies.

Ainsi, à l'image de la relation classique entre fleuve et aquifère, le Sénégal alimente la nappe alluviale superficielle du Quaternaire, en période de hautes eaux (à travers son lit majeur) et la draîne en période d'étiage.

Ces échanges entre eaux souterraines et eaux de surface peuvent être quantitativement modifiés de manière sensible si le régime hydrologique du fleuve change sous l'effet de :

- facteurs naturels comme la sécheresse ou l'abondance prolongée des pluies ;
- facteurs anthropiques tels que la régularisation des crues et des étiages.

Ces échanges peuvent également être modifiés de manière significative en fonction de la distance par rapport au fleuve et au niveau des périmètres irrigués où la percolation vers la nappe est importante (tabl. 16).

Tableau 16 : Amplitude des fluctuations de la nappe en fonction de différents paramètres (d'après Dieng, 1997)

Paramètres	Variations annuelles du niveau piézométrique (m)				
	Dagana	Podor	Kaédi	Matam	Sélibabi
Hors périmètres et loin des cours d'eau	0,2 à 0,3	0,5 à 0,8	0,2 à 0,5	0,5 à 1,2	0,4 à 1
A proximité des cours d'eau	1	0,8 à 1,85	0,6 à 2,5	1,6 à 3	-
A l'intérieur des périmètres	1,9	0,8 à 1,5	1 à 2	-	1
Dans périmètres et à proximité des cours d'eau	-	1,5 à 2	2,7	-	3

Dans la zone de Dagana (delta), la proximité des cours d'eau peut faire varier de 1 m le niveau piézométrique ; cette valeur peut être 3 à 5 fois plus faible si l'on s'éloigne des cours d'eau. Toutefois, l'influence des cours d'eau s'élargit en période de crue avec la submersion du lit majeur et l'inondation de la plaine alluviale.

Les travaux de Illy (1973) montrent qu'en 1971 et 1972, l'influence des cours d'eau sur les nappes d'eaux souterraines était perceptible sur les piézomètres à une distance de 3 à 3,5 km ; l'amplitude moyenne de la fluctuation du niveau piézométrique, engendrée par la proximité des cours d'eau pouvait atteindre 2,3 m.

L'alimentation de la nappe est très importante au niveau des périmètres irrigués. La submersion quasi permanente favorise l'infiltration continue vers les aquifères ; dans la zone de Dagana, cet apport peut être deux fois supérieur à celui mesuré sur des piézomètres situés à proximité des cours d'eau.

Dans ces conditions, un périmètre irrigué à proximité des cours d'eau, accentue davantage l'alimentation des aquifères.

Dieng (1997) estime le volume annuel de recharge de la nappe dans la moyenne vallée, au niveau des deux rives, à 330.10^6 m^3 , sur la période 1986-1991, à partir d'une loi ajustée de fluctuation du niveau de la nappe en fonction de la distance par rapport au fleuve. Touzi (1998) tient également compte de l'apport des cuvettes et a établi, pour plusieurs hypothèses,

un modèle de simulation de la recharge de la nappe à partir des données recueillies sur 119 piézomètres, entre 1987 et 1992, dans la moyenne vallée (tabl. 17).

Tableau 17 : Volume de recharge de la nappe en fonction de la superficie des cuvettes pour une année hydrologique humide (d'après Touzi, 1998)

Mode d'alimentation	Volume apporté par le fleuve (m^3/an) V_F	Volume apporté par la cuvette (m^3/an) V_C	Volume total apporté à la nappe (m^3/an) V_T	V_T/V_F	V_C/V_T
Fleuve + Cuvette de $1 km^2$	287 021	238 515	525 536	1,36	0,45
Fleuve + Cuvette de $2 km^2$	189 216	472 883	662 098	1,71	0,66
Fleuve + Cuvette de $3 km^2$	151 612	710 873	862 485	2,23	0,80

Ainsi, la contribution des cuvettes à l'alimentation des nappes souterraines augmente avec leur superficie.

Conclusion

Le fonctionnement du système hydrologique naturel du delta du fleuve Sénégal, s'articule autour d'un dense réseau de marigots dans la plaine alluviale, interconnecté à un ensemble de cuvettes, lacs et vallées qui se disséminent dans le domaine continental (Ferlo). A l'aval, ce système est sous l'influence de la dynamique marine qui se manifeste par les marées, les houles, les courants, etc. (fig. 51).

L'artère principale du fleuve Sénégal qui achemine les flux provenant du haut bassin, donne naissance, dans le delta, à une dizaine de marigots reliés entre eux. C'est par leur intermédiaire que le fleuve approvisionne en eau les nombreuses cuvettes du delta, en particulier celles du Djoudj (20 000 ha) et du Ndial (46 550 ha), qui renferment une forte biodiversité. C'est également par ce système (par l'intermédiaire de la Taouey) que le fleuve alimente le lac de Guiers qui couvre en moyenne $240 km^2$ et qui constitue une réserve d'eau douce, essentiellement pour la culture irriguée de la canne à sucre et pour l'alimentation partielle en eau de la ville de Dakar. A son tour, ce lac dessert un vaste réseau de vallées qui traversent latéralement le Ferlo pour rejoindre la vallée au niveau de Bakel à 600 km du delta. A travers le marigot du Niéti yone, le lac de Guiers alimente également par le nord-ouest, la cuvette du Ndial. Cette dernière reçoit aussi, par le sud, l'eau des trois marigots qui sont alimentés par le marigot du Djeuss à travers le Ngalam. Vers l'ouest, l'artère principale qui est rejointe par les marigots déflents, achemine une partie des flux vers l'embouchure avec plusieurs milliers de mètres cubes de sédiments fins. Le fleuve alimente au passage la nappe

superficielle le long de son parcours à travers la vallée et le delta ; ce passage des eaux de surface en profondeur est plus important à proximité du cours d'eau.

En saison sèche, avant la mise en place du barrage de Diama (1985), l'influence de l'Océan Atlantique se faisait sentir jusqu'à 450 km de l'embouchure par l'intermédiaire de la marée. Mais l'interface eau fluviale-eau marine est également sous l'influence des courants marins, de la dérive littorale, des vagues, des vents, etc. Pendant la saison sèche, le courant des Canaries refroidit les eaux marines sur la côte saint-louisienne provoquant, en interaction avec les alizés du nord-ouest, les phénomènes d'upwellings qui ont tendance à abaisser le niveau de la mer. En saison des pluies, le courant équatorial réchauffe les eaux marines qui ont tendance, en plus de l'action de la mousson, à éléver le niveau de la mer sur les côtes saint-louisiennes. La dérive littorale dépose des milliers de tonnes de sédiments qui allongent la Langue de Barbarie, augmentant le temps de transit des eaux de crue vers l'embouchure ainsi que le risque d'inondation des localités côtières.

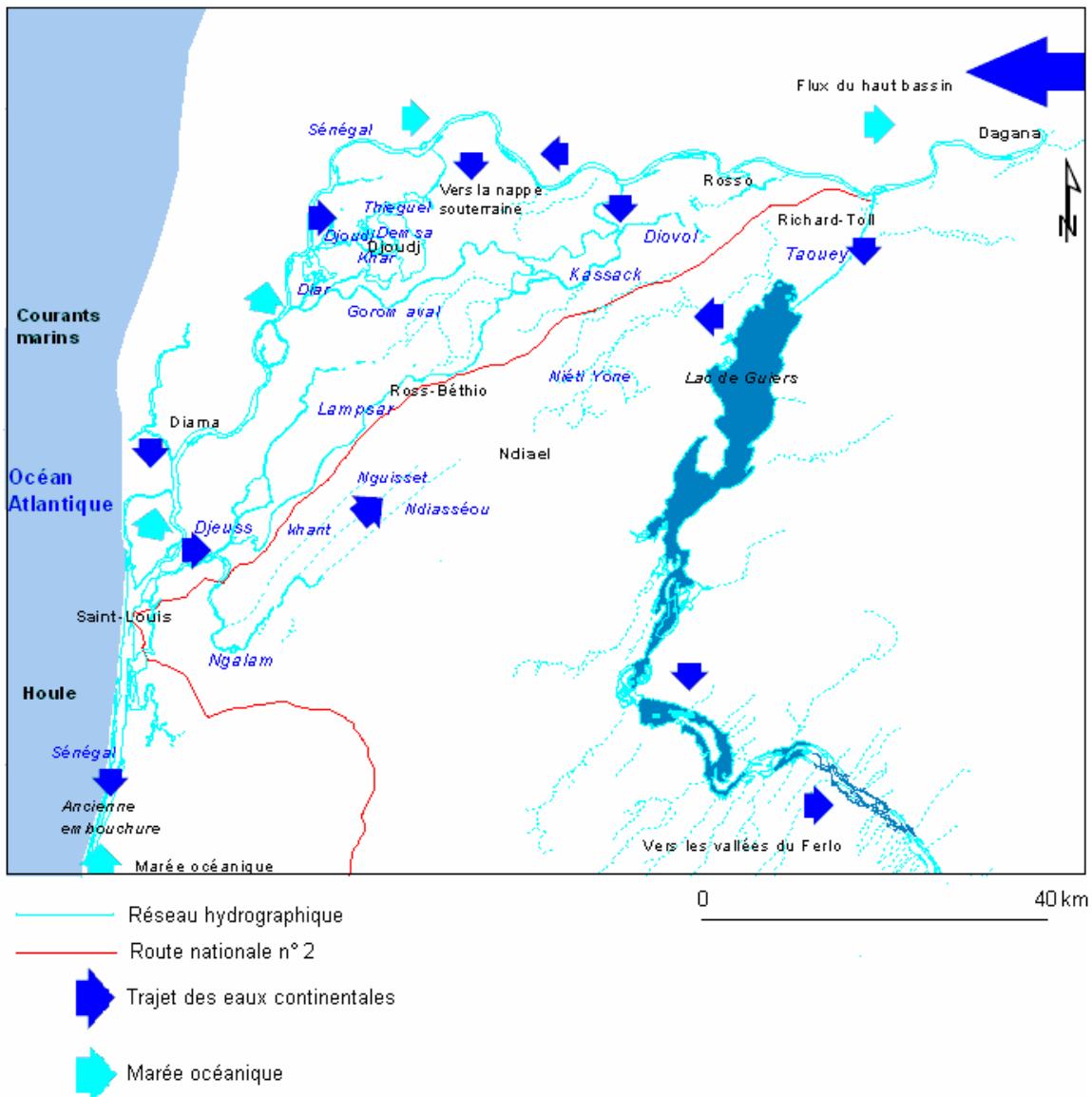


Figure 51 : Esquisse du fonctionnement du système hydrologique naturel du delta du fleuve Sénegal

M. Sall (2006)

II. L'artificialisation du système

Dans le système hydrologique naturel du delta, la remontée de la langue salée et la rareté des ressources en eau, en période de basses eaux, constituaient des contraintes de taille à l'exploitation agricole des terres. Les premières tentatives de mise en valeur de la zone, remontent au 19^{ème} siècle, à l'époque de la colonisation française. Plusieurs auteurs comme Becker et al. (1983), Kane (1984, 1997), Dia (1986), Cecchi (1992), Gac et al. (1993), ont largement développé la chronologie et la nature des expérimentations menées dans le secteur. Cette tendance s'est poursuivie après l'indépendance en 1960, à travers la mise en place

d'organismes de gestion et avec une sophistication progressive des outils d'intervention comme les digues et les barrages.

1. L'évolution du processus

Dans le **système de production traditionnel**, les terres du bassin inférieur du fleuve Sénégal étaient judicieusement exploitées en fonction des saisons par :

- les agriculteurs sédentaires ouolofs dans le delta et toucouleurs dans la vallée qui cultivaient les terres du Oualo (plaine alluviale) libérées par la décrue en saison sèche, les bourrelets de berge et les pentes du Diéri en saison des pluies ;
- les éleveurs transhumants peuls et maures qui utilisaient les parcours naturels du Diéri (dunes sableuses) en saison des pluies et les pâturages du Oualo exondé en saison sèche.

La faible densité humaine (1 habitant/km² : Kane, 1997) facilitait la coexistence entre les communautés qui exploitaient différemment le même espace.

1.1. Les premières tentatives

La **période coloniale** marque le début d'un long processus de mise en valeur du bassin inférieur du fleuve Sénégal. Un plan de colonisation agricole (1818-1824) de ces terres est mis en place et le baron Roger (gouverneur du Sénégal de 1822 à 1827) expérimente la culture irriguée à Richard-Toll. En 1854, le gouverneur Faidherbe oriente la stratégie d'exploitation des ressources en introduisant la politique de colonisation directe à la place de celle des comptoirs qui ne s'était pas révélée concluante.

Malgré tout, ces tentatives de mise en valeur agricoles du bassin inférieur du Sénégal, se soldèrent par des échecs. C'est ainsi qu'une nouvelle étape se met en place, à partir de 1934, avec la création d'organismes chargés de réaliser les études de bases nécessaires. La Mission d'Etudes du Fleuve Sénégal (M.E.F.S.) fut créée en 1935 puis la Mission d'Aménagement du Sénégal (M.A.S.) en 1938. Cette dernière, sur la base des résultats des études hydrologiques et pédologiques, entreprit en 1945 l'aménagement de 50 000 ha destinés à la riziculture. C'est la période des grands travaux qui commence avec le développement de périmètres irrigués et des infrastructures hydrauliques qui vont s'étendre de Saint-Louis à Bakel.

Par ailleurs, les besoins d'alimentation en eau douce de la ville de Saint-Louis ont été également à l'origine de la construction de divers ouvrages sur les axes hydrauliques du delta. En 1865-1866, un pont barrage est réalisé sur le marigot du kassack pour constituer une réserve d'eau douce de 8,5 millions de m³ (Kane, 1997). Un dispositif de pompage, installé au village de Lampsar, à une vingtaine de km de Saint-Louis, permettait d'alimenter la ville à travers des citernes. Cette prise d'eau fut ensuite transférée à Makhana en 1869, à une dizaine de km de Saint-Louis.

La construction des ponts barrages de Dakar-Bango (1939-1940) et de Ndiawdoune (1940) déplaça ce point de blocage de la langue salée à une dizaine de km au nord-est de Saint-Louis. En 1950, une station de pompage d'environ 800 m³/h fut installée à Dakar-Bango d'où l'eau est acheminée par un canal à ciel ouvert jusqu'à la station de traitement de khor. Actuellement, l'eau transite par un système de canalisation entièrement enterré.

Dans le haut delta, un pont barrage fut réalisé, en 1947, à Richard-Toll, sur la Taouey, à une centaine de mètres de la confluence avec le fleuve Sénégal. L'ouvrage était doté de 8 vannes de 5 m de large et 7 m de haut ; il permettait le remplissage du lac en période de hautes eaux et sa fermeture pendant l'étiage empêchait l'entrée de l'eau salée. En 1956, la digue de Keur Momar Sarr, munie d'un pont barrage a été construite au sud du lac pour éviter les pertes d'eau vers la vallée du Bounoum. En même temps, le Niéti Yone est fermé pour bloquer les écoulements vers la dépression du Ndial.

1.2. Les réalisations plus récentes

Après l'indépendance en 1960, l'Etat du Sénégal continua sur la même lancée avec la création de sociétés nationales chargées de la mise en valeur du bassin du fleuve Sénégal. L'Organisation Autonome du Delta (O.A.D.) est créée en 1960 et assure l'aménagement de 3 000 ha. Dans le même temps, dans la vallée, la même tâche de mise en place d'une riziculture villageoise est confiée à l'Organisation Autonome de la Vallée (O.A.V.). La mise en valeur du casier rizicole de Richard-Toll est confiée à la Société de Développement Rizicole du Sénégal (S.D.R.S.) qui sera relayée en 1970 par la Compagnie Sucrière Sénégalaise (C.S.S.) qui s'adonne désormais à la culture irriguée de la canne à sucre.

La Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta (S.A.E.D.) fut créée en 1965 avec comme objectif principal, le développement de l'agriculture dans le delta et dans les vallées du Sénégal et de la Falémé. Le développement de la culture irriguée du riz vise :

- d'une part à produire un surplus de riz commercialisable afin de réduire les importations ; c'est la raison de la mise en place des grands périmètres ;
- d'autre part, à assurer la couverture des besoins alimentaires des populations touchées par la sécheresse à travers l'exploitation de petits périmètres villageois.

Les activités de la société tournent autour de trois axes : aménagement, exploitation et encadrement, commercialisation et transformation.

Plusieurs auteurs comme Dia (1986), Cecchi (1992), Faye (1996), Philippe (1993), Kane (1997) décrivent quatre phases de mise en place de techniques d'aménagement de plus en plus complexes visant la maîtrise de l'eau (fig. 52) :

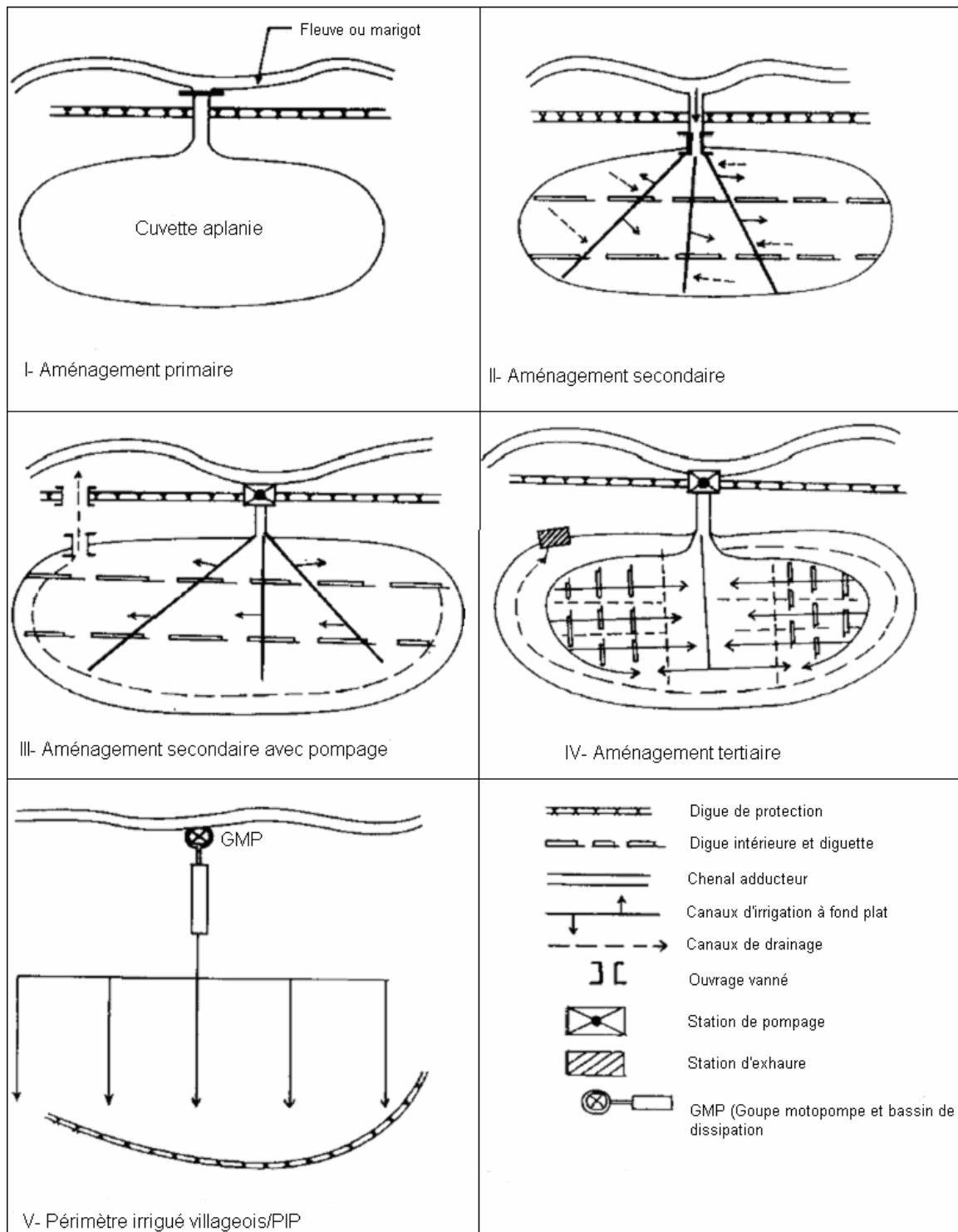


Figure 52 : Evolution des techniques d'aménagement hydro-agricoles dans le bassin du fleuve Sénégal (d'après Faye, 1996, *in* Kane, 1997)

- 1961-1965 : c'est la période des aménagements primaires avec l'édification de la digue de rive gauche qui s'étend sur 85 km, entre Saint-Louis et Richard-Toll ; elle permet d'éliminer les connexions hydrauliques non

désirées entre la plaine alluviale et le réseau hydrographique interne du delta; des ouvrages vannés contrôlent l'entrée de l'eau en fonction des besoins ; en période de hautes eaux, la digue empêche la submersion incontrôlée des cuvettes adjacentes ; en période de basses eaux, elle protège le réseau interne du delta de la remontée de la langue salée et évite la vidange des marigots pendant l'étiage ; un vaste réservoir d'eau douce est ainsi créé mais la variabilité interannuelle des pluies et des crues demeurent des facteurs limitants ;

- 1965-1968 : les aménagements secondaires gravitaires se mettent en place ; ils se caractérisent par la construction de diguettes et le creusement de canaux à fond plat pour l'irrigation et le drainage ; le système est amélioré mais dépend toujours de la crue annuelle ;
- 1968-1972 : les aménagements secondaires sont couplés au pompage pour se départir des effets des crues déficitaires; une station de pompage installée sur le fleuve est jointe à l'ouvrage de prise des aménagements secondaires de sorte à assurer l'irrigation contrôlée des parcelles ;
- depuis 1972 : c'est la mise en place des aménagements tertiaires ; ils permettent une plus grande maîtrise de l'eau grâce aux stations de pompage ou aux groupes motopompes qui alimentent un réseau de canaux internes ; ces derniers desservent des parcelles (remplissage, vidange) qui ont au préalable fait l'objet d'un planage.

Dans le haut delta, le cours de la Taouey est rectifié en 1974-1975, avec le creusement d'un canal rectiligne de 17 km qui réduit la distance fleuve-lac et limite les pertes de charge (fig. 53). En 1980, un second pont barrage a été construit sur la Taouey, à 500 m en aval du premier ; il permettait de prolonger la durée du temps de pompage dans le fleuve avant l'arrivée de la langue salée.

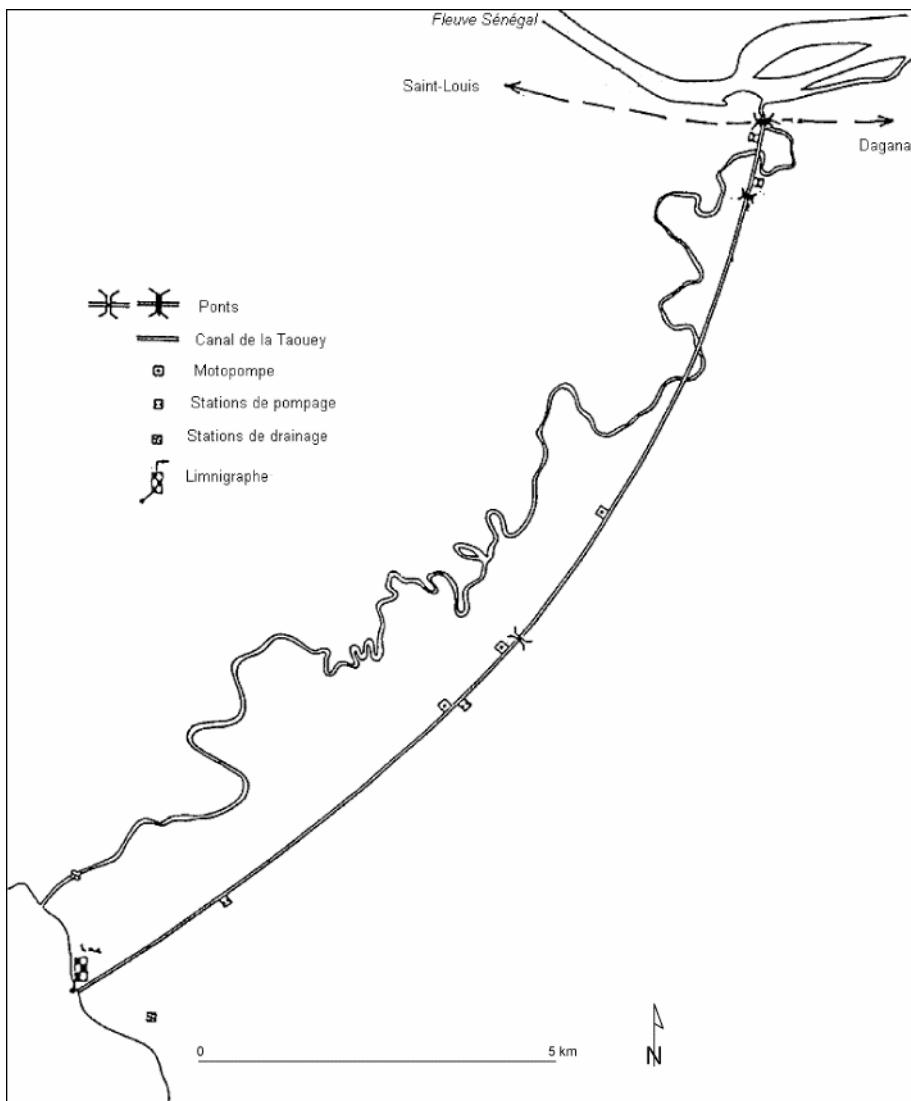


Figure 53 : Modification du cours de la Taouey, ouvrages sur la jonction fleuve-lac
d'après Lamagat et al., (1990) in Coly, (1996)

Cependant, l'ampleur de la crue annuelle reste toujours déterminante dans l'irrigation correcte des parcelles. Ainsi le déficit d'écoulement de 1983-1984 s'avérait catastrophique pour les cultures irriguées et l'approvisionnement en eau douce des agglomérations. L'Etat du Sénégal édifia, en novembre 1983, un barrage en terre sur le fleuve, à hauteur du village de Kheune, à 111 km de l'embouchure, pour créer une retenue capable de satisfaire ces besoins. Il s'étend sur 307 m de long et entre 30 m de large à la crête et 200 m à la base. L'ouvrage a joué pleinement son rôle et a dû être reconstruit à deux reprises, en 1984 et 1985, suite à sa destruction par les crues.

Mais la maîtrise parfaite des écoulements dans le bassin du fleuve Sénégal nécessite des actions coordonnées, à l'échelle sous régionale, entre les pays riverains. Les états

nouvellement indépendants de la Guinée, du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal, qui partagent ce bassin, avaient déjà compris cet enjeu. En 1963, fut créé le Comité Inter-Etats pour l'Aménagement du Bassin du fleuve Sénégal et dès 1964 les grands principes de l'élaboration d'un programme de développement intégré étaient énoncés. En 1968, l'Organisation des Etats Riverains du Sénégal (O.E.R.S.) prit le relais en élargissant sa vocation de renforcer la coopération entre les différents Etats, au-delà des limites du bassin du fleuve. La Conférence des Chefs d'Etat est instituée pour symboliser cette volonté politique. En 1972, l'Organisation pour la Mise en Valeur du bassin du fleuve Sénégal (O.M.V.S.), qui ne compte plus la Guinée, remplace l'O.E.R.S. et revient à la vocation initiale qui consiste essentiellement à étudier et promouvoir le programme de développement intégré du bassin. La Guinée ne rejoindra à nouveau l'organisation que tout récemment en juin 2005.

L'OMVS est chargée entre autres de :

- la promotion et de la coordination des études et des travaux de mise en valeur des ressources du bassin du fleuve Sénégal sur les territoires nationaux des Etats membres ;
- toute mission technique et économique que les Etats membres lui confieront.

Les objectifs à long terme de l'organisation s'établissent comme suit :

- sécuriser et accroître les revenus des populations du bassin ;
- assurer l'équilibre des écosystèmes dans le bassin ;
- rendre les économies des Etats membres moins vulnérables aux conditions climatiques et aux facteurs extérieurs ;
- accélérer le développement économique des Etats membres à travers la promotion de la coopération régionale.

Ces objectifs ont fait l'objet de dix années d'études de factibilité qui ont permis d'établir le plan d'action suivant :

- la planification du développement du bassin du fleuve Sénégal ;
- l'identification des éléments d'un programme régional d'infrastructure correspondant à la première étape de l'aménagement ;
- l'harmonisation de ce programme régional avec les objectifs nationaux de développement des Etats membres ;
- la coordination des actions sectorielles dans les domaines de l'agriculture, l'élevage, les agro-industries, les industries minières et les transports ;
- l'étude, la réalisation et la gestion des ouvrages communs.

Sur cette base, l'OMVS a mené de nombreuses études qui ont permis d'évaluer les potentialités de développement du bassin du fleuve Sénégalo et d'élaborer un programme de mise en valeur basé sur la régularisation du débit du cours d'eau en deux étapes. Il comporte la réalisation des travaux suivants :

- la construction du barrage hydro-électrique de Manantali sur le Bafing au Mali (fig. 54) ;
- la construction du barrage anti sel de Diama ;
- la construction du port fluvio-maritime de Saint-Louis, du port fluvial de Kayes et d'une dizaine d'escales intermédiaires ;
- l'aménagement du chenal pour la navigation en toute saison sur 930 km entre Kayes et Saint-Louis, pour désenclaver le Mali.

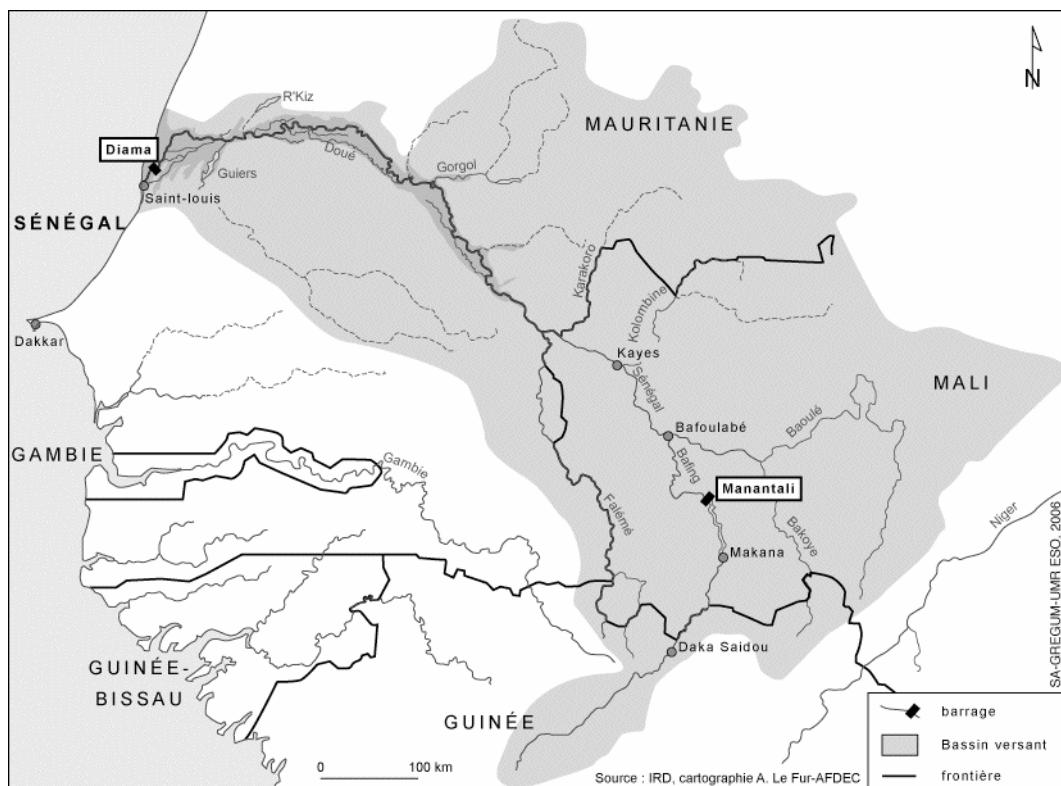


Figure 54 : Localisation des barrages de Diama et de Manantali

Le barrage de Manantali, achevé en 1988, est localisé sur le Bafing à 90 km au sud-est de Bafoulabé au Mali et à environ 1000 km de l'ancienne embouchure (photo 1).



Photo 1 : Vue du barrage de Manantali (photo, OMVS)

Au départ, il devrait permettre de réguler, à $300 \text{ m}^3/\text{s}$, les débits du fleuve à Bakel dans le but de :

- contribuer efficacement au développement de la culture irriguée en rendant possible l'exploitation permanente de 375 000 ha entre Bafoulabé et Saint-Louis ;
- rendre le fleuve Sénégal navigable toute l'année en améliorant le chenal de Kayes (Mali) à Saint-Louis (Sénégal) ;
- produire environ 800 GWH d'énergie par an.

Le barrage de Manantali permet de réguler progressivement le cours du fleuve ; il constitue l'ouvrage clé du programme de l'OMVS.

L'ouvrage consiste en une digue de 1 460 m de long pour une hauteur de 65 m. Il est constitué d'une structure hydraulique centrale en béton et de deux digues de prolongement. La structure centrale comprend 8 passes de 9 m et 7 pertuis de 3,8 m x 4,8 m équipés de vannes segments. L'ouvrage compte également cinq prises d'eau de 14 m x 15 m. La chute d'eau moyenne est de 40 m.

Le barrage de Diama, opérationnel depuis novembre 1985 est situé dans le delta à 23 km de Saint-Louis et à 54 km de l'ancienne embouchure (photo 2).



Photo 2 : Vue du barrage de Diama à partir de l'amont du fleuve (photo, OMVS)

Il permet de répondre à trois objectifs :

- arrêter la remontée de la langue salée pendant la période des basses eaux pour protéger les prises d'eau d'irrigation et d'alimentation en eau existantes ou prévues en amont ;
- créer une réserve qui permettra l'irrigation en double culture de 50 000 ha à la cote 1,50 m IGN et de 100 000 ha à la cote 2,50 m IGN ;
- améliorer le remplissage des lacs de Guiers et de R'Kiz ainsi que de la dépression de l'Aftout es sahéli (fig. 55).

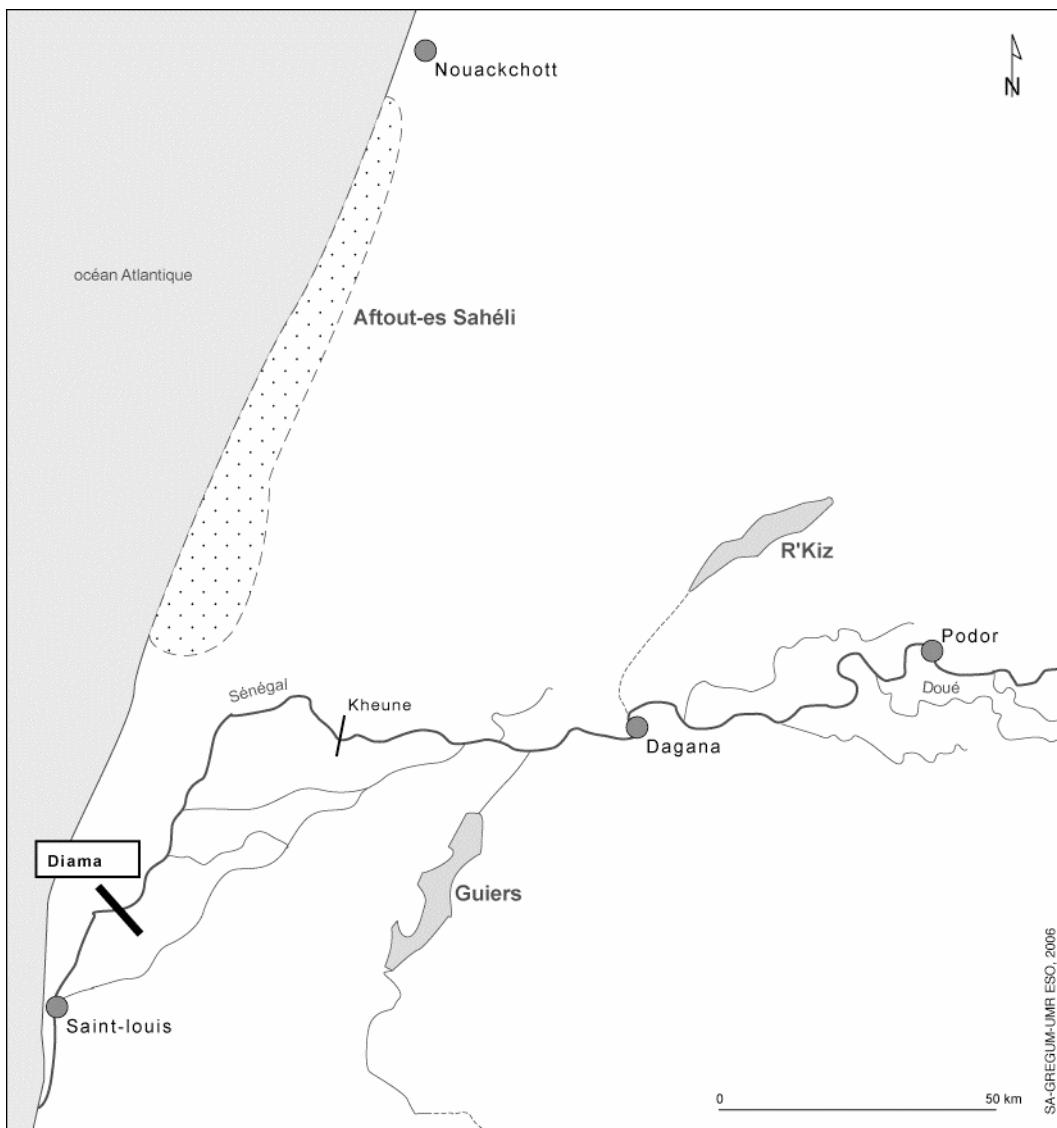


Figure 55 : Localisation des lacs de Guiers, de R'Kiz et de la dépression de l'Aftout es Sahéli

d'après Lavieren et al. (1990)

Il s'avère ainsi un complément indispensable du barrage de Manantali. Ses caractéristiques se présentent comme suit :

- un ouvrage principal, consistant en un barrage mobile composé de sept passes large de 20 m et équipées de vannes segment, permettant le réglage de la cote de la retenue à 1,50 m IGN en première phase et à 2,50 m IGN en phase ultérieure, ainsi que le passage des crues exceptionnelles centennales ; les vannes comportent 23 paliers d'ouverture (palier 0 : vannes fermées ; palier 23 : vannes complètement ouvertes) ;
- une écluse de navigation de dimensions 25 x 190 m accolée en rive gauche, permettant un trafic lourd et intense ;

- une digue de bouchure du lit du fleuve, le barrage et l'écluse étant réalisés à l'intérieur de la courbe que décrit le lit mineur ;
- les endiguements en rive droite et gauche nécessaires pour contenir la retenue d'une capacité de 250 millions de m³ à la cote 1,50 m IGN et de 585 millions de m³ à la cote 2,5 m IGN.

La digue de rive droite, achevée en 1992, est longue de 76 km et comprend plusieurs ouvrages hydrauliques le long de son parcours (Cheyal, Aftout es Sahéli, etc.). Elle se situe à la cote de 2 m IGN. La digue de rive gauche qui date de 1964 a dû être réfectionnée et rehaussée sur certains tronçons défectueux.

2. Les impacts du système hydrologique artificialisé

La maîtrise du régime du fleuve Sénégal, se traduit essentiellement par rapport au système naturel par :

- la réduction des superficies inondées en période de crue ;
- le maintien prolongé du niveau du fleuve à une cote élevée en période d'étiage (1,5 m à Diama);
- l'arrêt de la remontée de la langue salée à 54 km de l'embouchure.

2.1. Les impacts sur les cuvettes

Les effets combinés des différents ouvrages vont imposer au milieu une nouvelle physionomie. La digue de rive gauche réduit considérablement les superficies inondées naturellement dans le delta (fig. 56). Désormais, le système des vannes permet de submerger, de manière contrôlée, la cuvette du Djoudj et la dépression des trois marigots tandis que le Ndiael est pratiquement isolé du lac de Guiers.

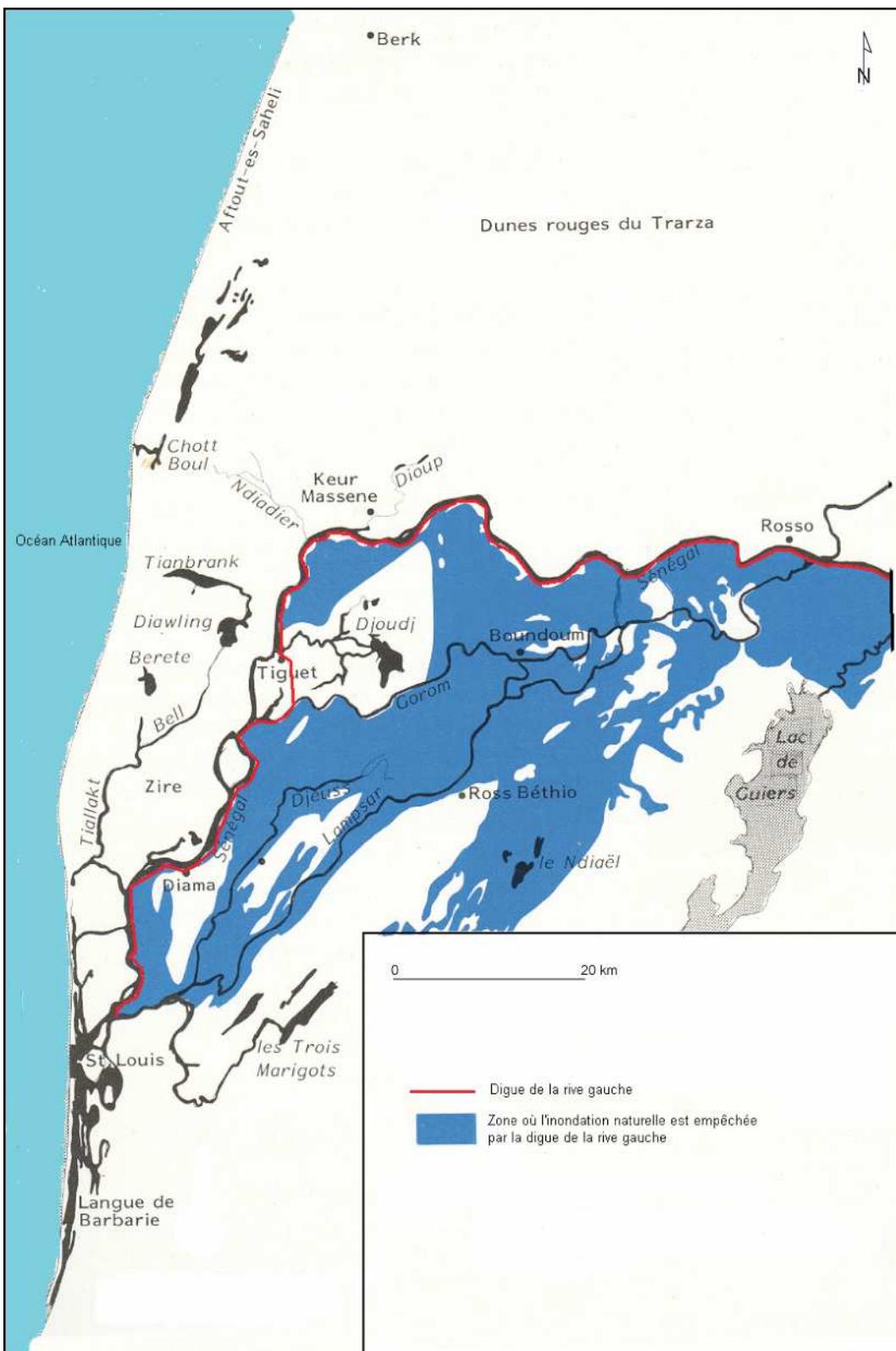


Figure 56 : Réduction des zones d'inondation naturelle par la digue de la rive gauche

(d'après Lavieren et al., 1990)

La cuvette du **Djoudj** dont les conditions hydrologiques sont largement dépendantes de celles qui règnent dans le delta, a connu des modifications notables. La digue de rive gauche édifiée

en 1964, l'îsole du fleuve Sénégal. Elle est désormais inondée à travers les ouvrages du Djoudj (vannes) et du canal du Crocodile qui sont actionnés en fonction des hauteurs d'eau affichées de part et d'autre sur les limnigraphes (fig. 57).

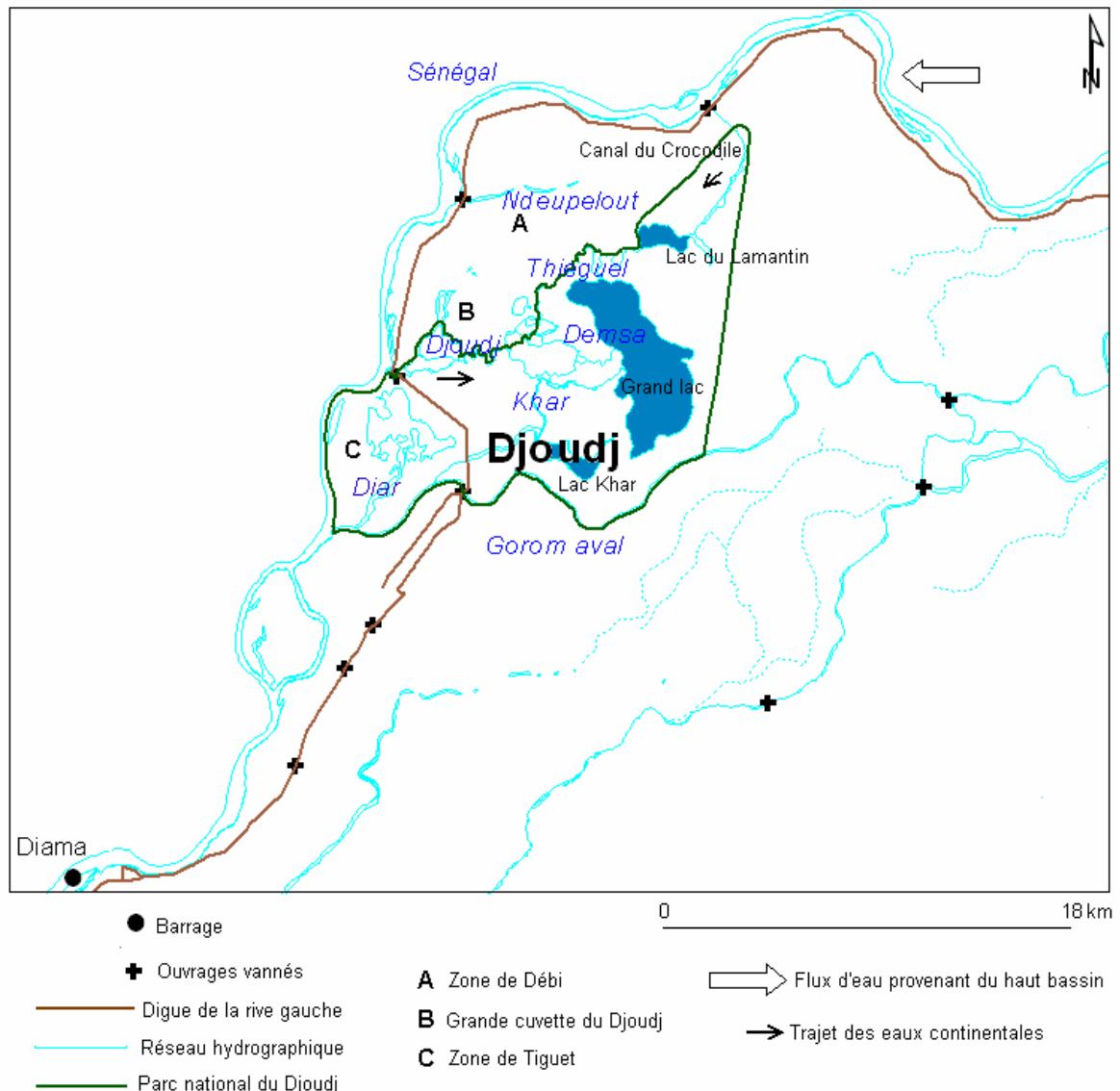


Figure 57 : L'alimentation en eau de la cuvette du Djoudj dans les conditions d'artificialisation du système hydrologique, M. Sall (2006)

(Diop, 1992) a déterminé une vitesse de remplissage de 0,92 cm/jour et calculé les volumes d'eau écoulés en 1991 au niveau des deux ouvrages (tabl. 18).

Tableau 18 : Volumes d'eau écoulés à travers les ouvrages du Djoudj et du Crocodile en 1991
(d'après Diop, 1992).

Ouvrages	Débit moyen (m^3/s)	Volume moyen (m^3)	Volume total (m^3)
Djoudj	59,19	4 943 780	148 313 403
Crocodile	121	10 159 418	406 376 730

L'inondation est contrôlée dans la zone endiguée tandis qu'en dehors (zone de Tiguet par exemple), il ya une submersion quasi permanente des terres.

La cuvette du **Ndiael** n'est plus inondée par les eaux de crues du fleuve Sénégal. Ceci a conduit progressivement à son aridification. Actuellement, les apports se font de deux manières (DEFCCS, 1998) :

- les eaux de pluies accumulées dans des dépressions au sud de la cuvette ; ces dernières qui sont de faible profondeur (30 à 40 cm) s'assèchent très vite ;
- les eaux de vidange provenant des 2 250 ha de rizières du Kassack, de Grande digue et de Télél à travers un canal creusé dans le lit de l'ancien marigot de Télél, au nord de Ross Béthio ; ce canal passe sous la route nationale n° 2 et se jette dans une cuvette d'une centaine d'hectares ; une partie de cette cuvette est colonisée par la végétation herbacée tandis que l'autre partie, très salée, ne comprend que quelques plantes halophiles.

Les voies naturelles de transit de l'eau du lac de Guiers (à travers le Niéti Yone) pour alimenter la cuvette du Ndiael et même les trois marigots, en période de crue, ont été éliminées pour assurer les besoins en eau de la CSS (fig. 58).

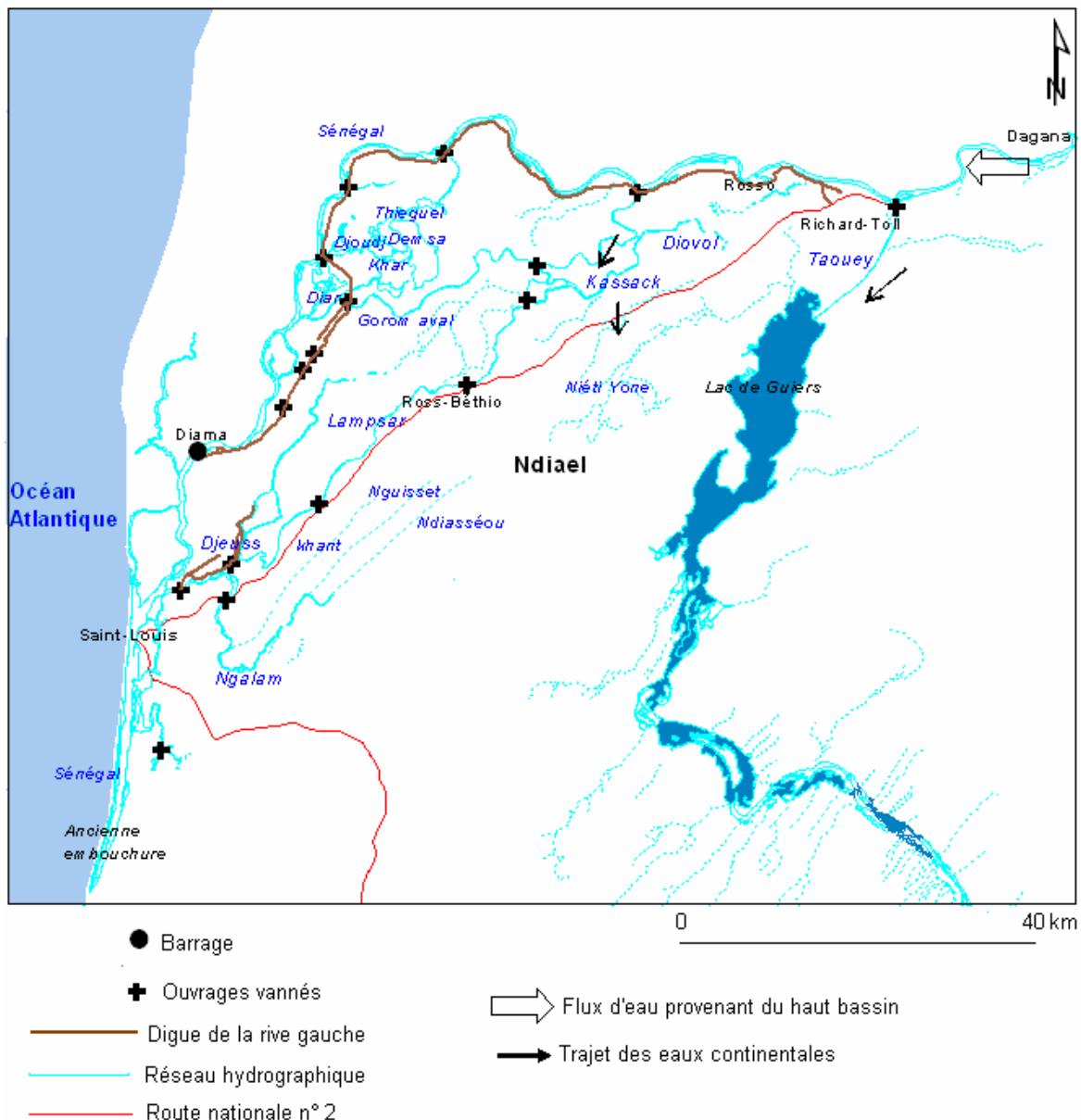


Figure 58 : L'alimentation en eau de la cuvette du Ndial dans les conditions d'artificialisation du système hydrologique, M. Sall (2006)

Ces apports sont insuffisants pour inonder convenablement la cuvette qui s'est progressivement asséchée avec une forte réduction de sa diversité biologique. Ceci, à tel point que la Conférence des Parties Contractantes à la Convention de Ramsar, tenue en 1987, a décidé de placer le Ndial dans la liste des 29 sites Ramsar les plus menacés au monde.

2.2. Les autres impacts

Nappe souterraine : l'inondation des cuvettes joue un rôle important dans la recharge des nappes ; ainsi la réduction des surfaces submergées peut se traduire, au moins dans certains endroits, par une baisse des apports d'eau à la nappe.

Par contre, le maintien de la cote du fleuve à un niveau élevé, en période de basses eaux, réduit le drainage des nappes par le cours d'eau. Kane (2000) estime que le relèvement généralisé du niveau d'eau du fleuve a provoqué l'élévation de 50 cm en moyenne du toit de la nappe alluviale qui se sature désormais très rapidement.

Végétation et faune : l'arrêt de la remontée de la langue salée par le barrage de Diama, porte préjudice à la diversité biologique. La réduction des zones d'inondation diminue les apports en éléments nutritifs ainsi que les aires de reproduction des poissons ; ceci s'est traduit par une raréfaction des ressources halieutiques et une léthargie de la pêche continentale.

De même, l'adoucissement définitif de l'eau à l'amont de Diama, favorise la prolifération de plantes d'eau douce qui colonisent le plan d'eau, gênant même la pratique de certaines activités traditionnelles comme la pêche. L'exemple le plus frappant, à ce jour, reste celui de *Salvinia molesta* à cause de sa grande vitesse de dissémination mais même *Typha australis* et *Pistia stratiotes* se sont considérablement développées dans le delta.

Santé humaine : les moustiques et les mollusques, vecteurs du paludisme et hôtes intermédiaires de la schistosomiase, prolifèrent avec la présence d'importantes quantités d'eau douce pendant toute l'année. Le paludisme est la première cause de morbidité dans la région : en 2002, il représentait presque 38% des affections diagnostiquées dans les centres de santé contre 42% en 2001 (SRPS, 2003). C'est également la première cause de mortalité avec plus de 44% des cas surtout à Richard-Toll et Dagana.

Les bilharzioses représentent près de 4% des maladies décelées chez les populations de la région ; elles sont tout de même plus fréquentes à Richard-Toll avec plus de 11% des cas contre à peu près 5% des cas à Dagana.

La **culture traditionnelle de décrue** est affectée par la réduction de l'ampleur des crues. Dans le département de Dagana, seuls 8% des ménages ruraux s'y adonnent contre 38% pour les cultures irriguées et 35% pour les cultures pluviales (SRPS, 2003).

Par contre, la **culture irriguée** se développe avec une meilleure disponibilité de l'eau en toute saison.

L'élevage traditionnel des bovins et des petits ruminants est l'une des activités les plus marginalisées par les aménagements hydro-agricoles. Les parcours de saison sèche, jadis

disséminés dans la plaine alluviale, ont disparu ; même l'accès aux points d'eau est devenu difficile pour le bétail.

Conclusion

L'artificialisation progressive du système hydrologique du delta a profondément modifié son fonctionnement naturel. La digue de la rive gauche, longue de 85 km pour une altitude d'environ 2 m, construite en 1964, est le précurseur des ouvrages hydrauliques qui vont changer les mécanismes des mouvements d'eau dans le delta. Elle borde le fleuve Sénégal pratiquement entre Dakar-Bango et Richard-Toll, empêchant l'inondation naturelle des cuvettes et autres zones basses du delta. Son action est renforcée par les nombreux ouvrages vannés qui permettent de contrôler les transferts d'eau entre le fleuve, les marigots, les cuvettes, les lacs et les vallées. Le système d'évacuation des eaux de crue, essentiellement basé sur cette interconnection des eaux de surface entre elles et avec les zones dépressionnaires, est ainsi fortement perturbé (fig. 59). L'eau qui ne peut plus transiter normalement par ces voies naturelles, va se déverser plus massivement vers l'embouchure, augmentant les risques d'inondation des localités côtières comme Saint-Louis. L'avénement des barrages antisel de Diama (1985) et hydroélectrique de Manantali (1988) renforce ce processus. En effet, les pertes sont réduites avec l'objectif de réguler le débit du fleuve à 300 m³/s à Bakel : les quantités d'eau qui pénètrent dans le delta peuvent ainsi être plus importantes. Comme les possibilités d'évacuation du surplus par le système marigots-lacs-cuvettes-vallées sont fortement réduites, l'eau peut pénétrer plus massivement dans l'estuaire et accroître les risques d'inondation des localités côtières comme Saint-Louis. Ceci d'autant plus que le barrage de Diama qui doit maintenir la cote à 1,5 m IGN en amont, laissera passer le surplus dans l'estuaire. La présence continue de millions de mètres cubes d'eau dans le réservoir du barrage de Diama augmente les quantités qui percolent vers la nappe phréatique. Ceci peut contribuer à favoriser le mécanisme de remontée en surface des eaux souterraines qui accentue les inondations des localités côtières surtout dans les parties constituées d'anciennes vasières.

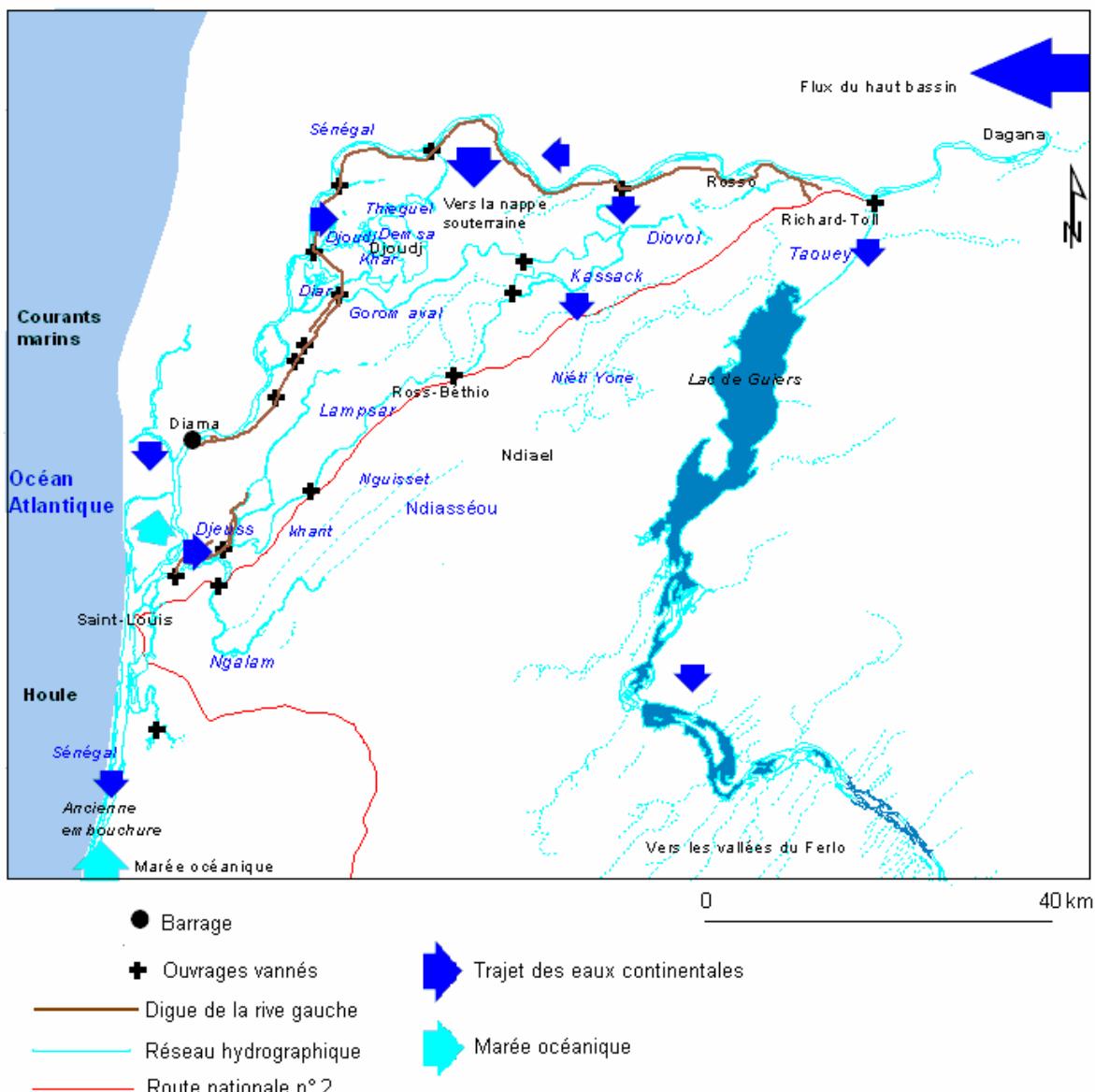


Figure 59 : Esquisse du fonctionnement du système hydrologique du delta du fleuve Sénegal dans les conditions d'artificialisation du système hydrologique, M. Sall (2006)

III. Les apports en eau du haut bassin

Dans ce chapitre, nous envisageons d'analyser les volumes d'eau qui transitent du haut bassin du fleuve Sénegal vers le delta. Pour ce faire, nous utiliserons les débits moyens annuels collectés à la station de Bakel entre 1904 et 2004. En effet, cette station est représentative des flux provenant du bassin supérieur parce que le Sénegal est déjà rejoint par l'ensemble de ses affluents. En même temps, nous tiendrons compte des fluctuations de ces apports dues à la sécheresse qui est notée dans la zone soudanienne sud à partir de 1968 ; nous tenterons également de déceler l'impact du barrage de Manantali édifié en 1988, avec l'objectif de

réguler le cours du fleuve à 300 m³/s à Bakel. Les données collectées à la station de Dagana permettront de calculer les flux qui parviennent au delta.

Le dispositif de collecte des données hydrologiques a été progressivement mis en place dans le bassin versant du fleuve Sénégal, avec des stations hydrométriques de plus en plus complexes. Les premières stations, dans le bassin du fleuve Sénégal, ont été installées pendant l'époque coloniale, à Kayes en 1892, Bakel en 1901, Galougo, Bafoulabé, Toukoto en 1904 et Ambidédi en 1909 (Sow, 1984). De nombreuses échelles limnimétriques ont vu le jour entre 1950 et 1960, sous l'impulsion de l'Union Hydroélectrique Africaine (U.H.E.A.) : Kidira, Fadougou, Dakka-Saïdou ; celles de Bakel, Kayes, Galougo ont été réinstallées. Plusieurs structures de mise en place et de gestion de ce réseau se sont succédées : l'Union Hydroélectrique Africaine (U.H.E.A.), la Mission d'Aménagement du Sénégal (M.A.S.), le Dakar-Niger (D.N.), la Mission d'Etudes du Fleuve Sénégal (M.E.F.S.).

Après l'indépendance, les services nationaux responsables du secteur de l'hydraulique ont pris le relais.

A partir de 1988, l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) a mis en place un système autonome de collecte de données avec :

- 9 limnigraphes télétransmetteurs ;
- 1 station de réception satellitaire (système ARGOS) ;
- 7 radios BLU couplées à la liaison satellitaire.

Les données collectées (hauteurs d'eau, débits) au niveau des stations, sont gérées au Service Régional de l'Hydraulique à Saint-Louis. Dans le cadre de ce travail, nous utiliserons les données des stations de Bakel, représentative des flux provenant du haut bassin, Dagana, caractéristique de la situation à l'entrée du delta et Saint-Louis, primordiale dans la détermination des niveaux d'eau critiques pour la ville (fig. 60).

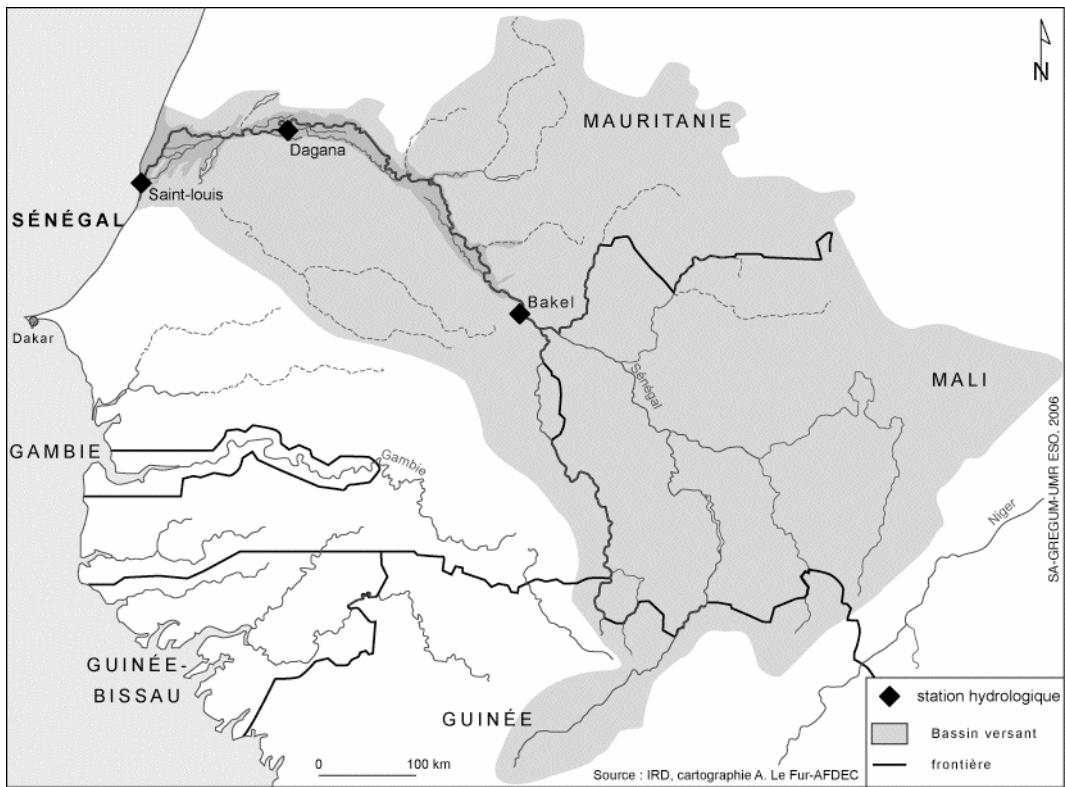


Figure 60 : Stations hydrologiques utilisées

1. Les flux à Bakel

Les débits mesurés à la station de Bakel, entre 1904 et 2004, donnent un module de $826 \text{ m}^3/\text{s}$ qui engendre un écoulement moyen annuel de plus de **26 milliards de m³**. Mais ces quantités d'eau varient de manière saisonnière, en relation avec l'alternance saison sèche-saison humide. Les variations du débit moyen mensuel sur cette période par rapport au module, déterminent le régime moyen du fleuve ainsi que les saisons de hautes et de basses eaux (tabl. 19, fig. 61).

Tableau 19 : Débit moyen mensuel à Bakel sur la période 1904-2004.

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Station/mois	Mai	Juin	JUIL.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	DÉC.	Janv.	Fev.	Mars	Avr.
Bakel	45	139	601	2047	2765	1279	494	253	153	102	76	53

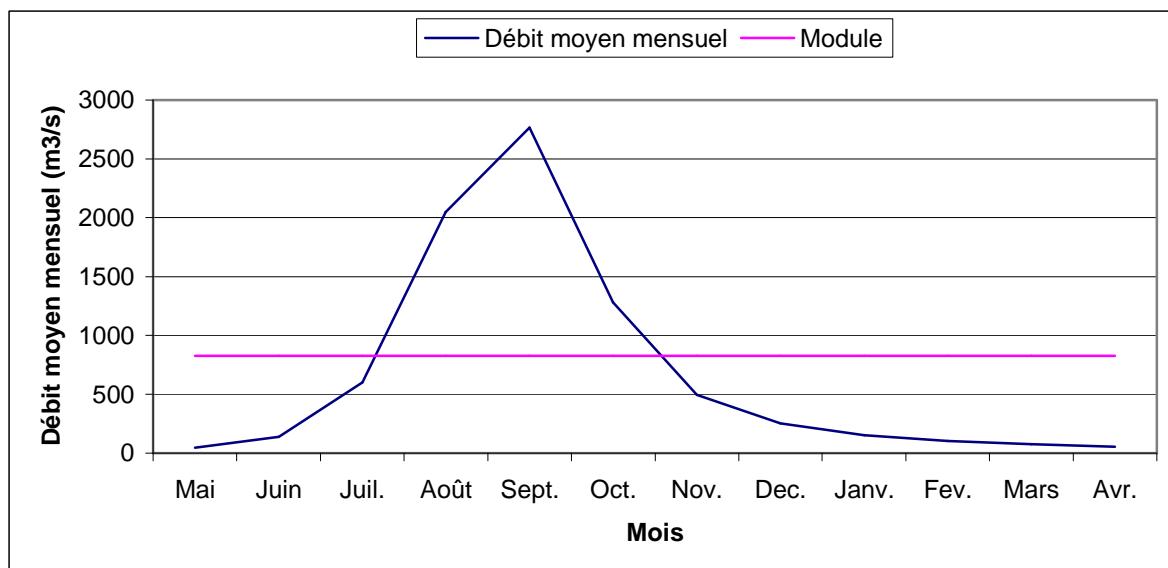


Figure 61 : Débit moyen mensuel à Bakel (1904-2004), M. Sall (2006)

La saison des hautes eaux dure environ trois mois (août, septembre, octobre). Le reste de l'année, le débit moyen mensuel est inférieur au module : c'est la période des basses eaux qui affiche un minimum de $45 \text{ m}^3/\text{s}$ au mois de mai correspondant à l'étiage.

A Bakel, la pointe de la crue est atteinte en septembre ($2\ 765 \text{ m}^3/\text{s}$), un mois après les quantités maximales de pluies enregistrées en août dans l'ensemble du bassin. En ce moment, les pertes d'eau par évaporation sont les plus faibles particulièrement dans le haut bassin.

L'analyse des débits moyens annuels à Bakel, sur cette période, montre une grande fluctuation interannuelle autour de ce module, déterminant ainsi des périodes d'abondance et de déficit hydrologiques.

Globalement, trois phases hydrologiques peuvent être distinguées à partir des débits moyens annuels enregistrés à Bakel, entre 1904 et 2004 (Annexe I, tabl. 11, fig. 62).

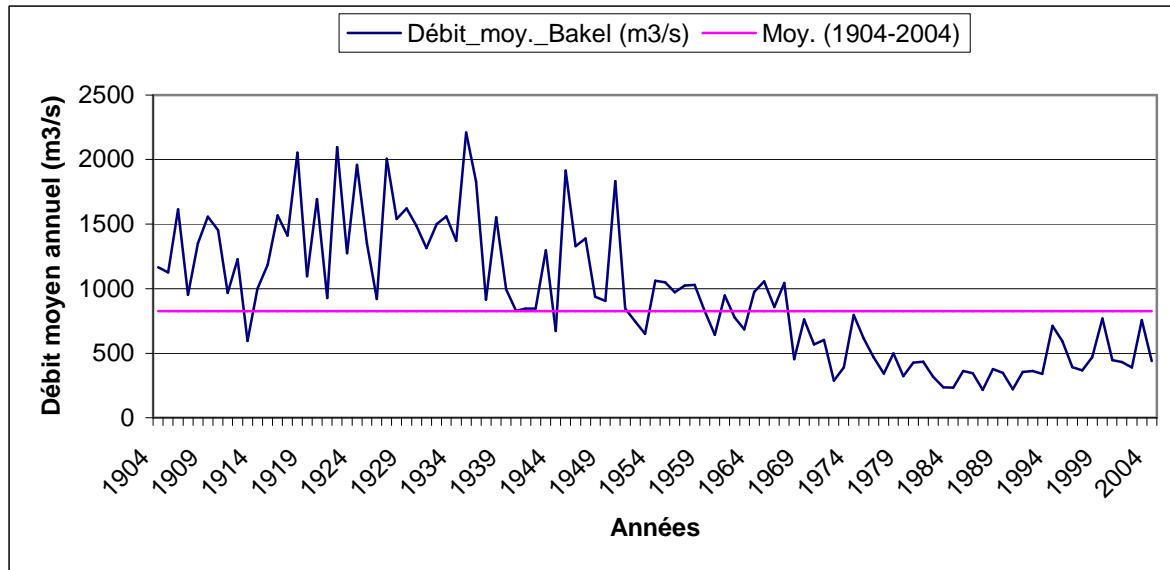


Figure 62 : Variations du débit moyen annuel à Bakel (1904-2004), M. Sall (2006)

Une **phase d'abondance** (1904-1950) qui affiche un débit moyen annuel de 1 356 m³/s, nettement supérieur au module noté entre 1904 et 2004 (826 m³/s). Dans cette phase, l'écoulement moyen annuel mesuré à la station de Bakel, s'élève à près de **43 milliards de m³**. Un débit moyen maximal de 2 208 m³/s est noté en 1935.

Une phase **intermédiaire** (1951-1967) qui annonce la sécheresse ; le débit moyen annuel de 893 m³/s diminue sensiblement par rapport à la première période. L'écoulement moyen annuel mesuré à la station de Bakel, pendant cette phase est d'environ **28 milliards de m³**, légèrement supérieur au volume moyen fournit par le bassin supérieur entre 1904 et 2004 (26 milliards de m³). Cette phase présente un déficit d'écoulement d'environ 34% par rapport à la première période.

Une phase **déficitaire** (1968-2004) qui se met en place avec la sécheresse qui s'installe dans la zone soudanienne sud du bassin du fleuve Sénégal. Dans cette période, les débits présentent une moyenne annuelle de 445 m³/s, largement inférieure au module de 1904-2004 (826 m³/s), même si une tendance à la hausse est notée dans les années 1990. Ce débit ne fournit plus qu'un écoulement moyen annuel de **14 milliards de m³** à Bakel. Ceci correspond environ seulement au 1/3 de l'écoulement moyen annuel enregistré au cours de la phase d'abondance et à la moitié de celui de la phase intermédiaire, soit un déficit respectif de 67% et de 50%. Mais les années 1994 (712 m³/s), 1999 (768 m³/s) et 2003 (757 m³/s) ont enregistré des débits importants, largement supérieurs à la moyenne de la période déficitaire ; ces débits ont provoqué l'inondation de la commune de Saint-Louis située dans le delta ; en 2003, un canal

de délestage a été ouvert sur la Langue de Barbarie pour préserver la ville du débordement des eaux du fleuve.

Mais la période déficitaire 1968-2004 englobe également la phase d'installation du barrage de Manantali censé réguler le cours du fleuve à 300 m³/s à Bakel et soutenir la crue en période de basses eaux. Nous considérons ainsi la période 1968-1988 et celle de 1989-2004 afin de mieux distinguer l'impact de la sécheresse de celui du barrage de Manantali. Entre 1968 et 1988, le débit moyen annuel est de 432 m³/s et fournit un écoulement moyen annuel d'environ **13,6 milliards de m³**. Dans la phase de mise en place du barrage de Manantali (1989-2004), le débit moyen annuel est de 462 m³/s correspondant à un écoulement de **14,5 milliards de m³** soit une augmentation de 6,5% par rapport à la période 1968-1988. Cette hausse pourrait s'expliquer par le soutien de crue apporté par le barrage de Manantali en période de basses eaux en vue de subvenir aux besoins en eau de la culture irriguée. Mais ceci interfère également avec la pluviométrie annuelle plus importante, enregistrée à partir des années 1990 dans la zone soudanienne sud, montrant que cette donnée aléatoire reste encore prépondérante dans le bassin du fleuve Sénégal.

Il ressort de l'analyse des débits enregistrés de 1904 à 2004 à la station de Bakel, représentative des quantités d'eau apportées par le haut bassin, que l'écoulement moyen annuel a évolué progressivement vers la baisse. D'une période d'abondance hydrologique, entre 1904 et 1950, qui fournit en moyenne 43 milliards de m³/an, succède une phase intermédiaire (1951-1967) qui n'apporte plus que 28 milliards de m³/an, présentant un déficit d'écoulement de 34% par rapport à la première période. La sécheresse qui s'installe dans le domaine soudanien sud du bassin du fleuve Sénégal à partir de 1968, marque la mise en place d'une phase déficitaire qui engendre le plus faible écoulement moyen de 14 milliards de m³ présentant respectivement un déficit de 67% et 50% par rapport aux première et deuxième périodes (tabl. 20).

Tableau 20 : Ecoulement moyen annuel à la station de Bakel en fonction de différentes phases hydrologiques

Période	Phases hydrologiques	Débit moyen annuel (m ³ /s)	Ecoulement moyen annuel (m ³)
1904-2004	Globale	826	26 048 736 000
1904-1950	Abondance	1356	42 762 816 000
1951-1967	Intermédiaire	893	28 161 648 000
1968-2004	Déficitaire	445	14 033 520 000
1968-1988	Sécheresse	432	13 623 552 000
1989-2004	Barrage de Manantali	462	14 569 632 000

Mais cette phase correspond également au fonctionnement du barrage de Manantali qui régule le cours du fleuve à 300 m³/s à Bakel, à partir de 1988, et apporte une crue de soutien en période de basses eaux, pour satisfaire les besoins de la culture irriguée ; l'effet de la sécheresse se superpose ainsi à celui de la gestion optimisée du barrage. La période 1968-1988 représente mieux l'impact de la sécheresse : elle est marquée par un débit moyen annuel de 432 m³/s pour un écoulement de 13,6 milliards de m³. Par contre, la période 1989-2004, correspondant au fonctionnement du barrage et fournit 14,5 milliards de m³/an pour un débit moyen annuel de 462 m³/s. Le barrage aurait amélioré l'écoulement moyen annuel de 6,5% par rapport à la phase 1968-1988, à travers le soutien apporté en période de basses eaux.

Conclusion

Ces écoulements qui vont transiter vers le delta peuvent jouer un rôle important dans les inondations des localités côtières de cette zone. Les périodes d'abondance hydrologique sont les plus critiques. L'année 1950 par exemple marque la mémoire collective par la forte inondation de la ville de Saint-Louis et des terres du delta. Mais la période déficitaire 1968-2004 est caractérisée par des inondations des localités côtières du delta en 1994 et 1999. En 2003, l'ouverture du canal de délestage a sauvé la commune de Saint-Louis des eaux. Si l'excès d'eau pouvait expliquer en grande partie, les débordements du fleuve dans la période d'abondance hydrologique, d'autres facteurs entrent en jeu dans les inondations de la phase déficitaire. Ces facteurs sont liés en partie aux modifications du système hydrologique naturel qui réduit les possibilités d'évacuation des eaux de crue à travers le réseau de marigots défluents du fleuve, les cuvettes, les lacs et les vallées.

2. Les flux à Dagana, l'entrée du delta

Les flux d'eau mesurés dans le haut bassin transitent vers le delta. Les débits enregistrés entre 1903 et 1989 à la station de Dagana, située à l'entrée du delta, donne un module de 606 m³/s qui fournit environ **19 milliards de m³**. Les fluctuations des débits annuels autour du module sont très grandes (Annexe I, tabl. 12, fig. 63).

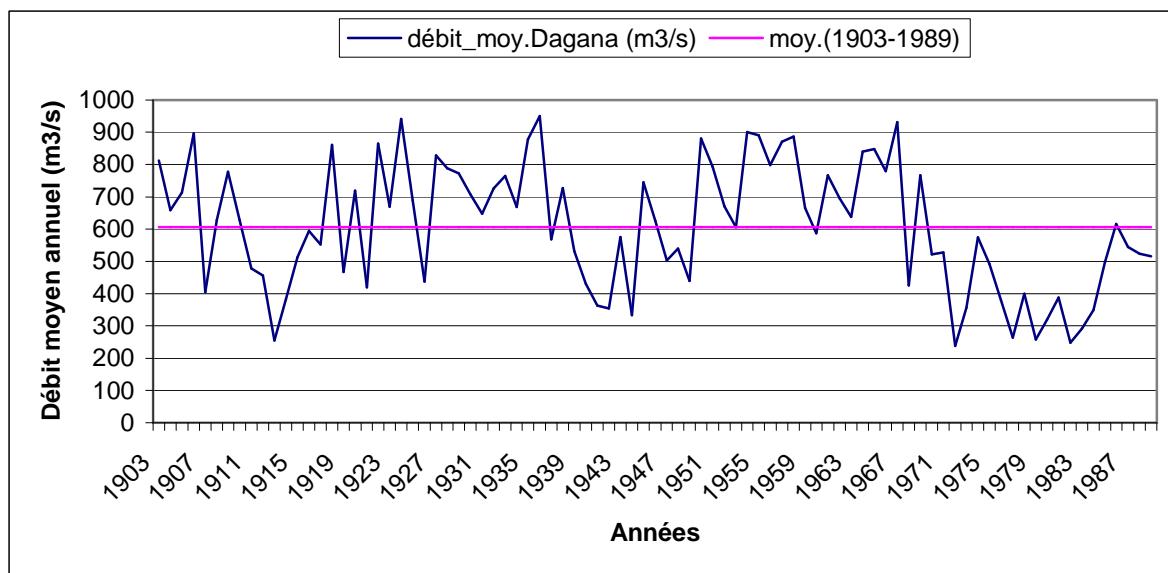


Figure 63 : Variations du débit moyen annuel à Dagana (1903-1989), M. Sall (2006)

Globalement, quatre phases hydrologiques peuvent être distinguées. Deux phases hydrologiques abondantes notées en 1903-1936 et 1950-1967 et deux phases déficitaires en 1937-1949 et 1968-1989.

La **phase d'abondance** 1903-1936 est caractérisée par un débit moyen annuel de $662 \text{ m}^3/\text{s}$ qui fournit presque **21 milliards de m}^3**. Cette phase correspond globalement à la phase d'abondance hydrologique notée à Bakel entre 1904 et 1950 qui a engendré 43 milliards de m^3 . De ce fait, seule environ la moitié des flux mesurés à Bakel, dans cette période, est parvenue au delta (51%). Les pertes ont été très importantes.

La **phase déficitaire** 1937-1949 est marquée par un débit moyen annuel de $518 \text{ m}^3/\text{s}$ qui ne fournit plus que **16 milliards de m}^3**. Cette phase qui intervient dans le delta au moment où le haut bassin est encore dans une période d'abondance confirme l'importance des pertes.

La **deuxième phase d'abondance** intervient entre 1950 et 1967 avec un débit moyen annuel de $781 \text{ m}^3/\text{s}$ qui engendre près de **25 milliards de m}^3**. Elle correspond à la phase intermédiaire de Bakel (1951-1967) où 28 milliards de m^3 sont enregistrés. L'écart des flux entre les deux stations s'est considérablement atténué : seul 11% environ de l'écoulement moyen noté à Bakel ne parvient pas à Dagana contre 51% dans la première période.

Enfin, la **deuxième phase déficitaire** notée entre 1968 et 1989 est caractérisée par un débit moyen annuel de $432 \text{ m}^3/\text{s}$ qui fournit le plus faible écoulement de **13,6 milliards de m}^3**. Cette phase correspond à celle également déficitaire à Bakel (1968-1988) qui fournit le même volume moyen annuel de 13,6 milliards de m^3 . Les pertes sont réduites au minimum (tabl. 21).

Tableau 21 : Ecoulement moyen annuel à la station de Dagana en fonction de différentes phases hydrologiques

Période	Phases hydrologiques	Débit moyen annuel (m ³ /s)	Ecoulement moyen annuel (m ³)
1903-1989	Globale	606	19 110 816 000
1903-1936	Abondance	662	20 876 832 000
1937-1949	Déficitaire	518	16 335 648 000
1950-1967	Abondance	781	24 629 616 000
1968-1989	Déficitaire	432	13 623 552 000

Lorsque les flux d'eau sont très importants dans le haut bassin, le fleuve déborde de son lit mineur et inonde la plaine alluviale. Le lit majeur du fleuve, entre Bakel et Dagana couvre 8 000 km² et la plaine alluviale peut atteindre une largeur de 10 à 15 km (Lavieren et al. 1990). Cette surface couverte d'eau en période de forte crue peut correspondre à plusieurs milliards de m³ d'eau. Ces quantités d'eau ne seront jamais enregistrées à Dagana, à l'entrée du delta, représentant les pertes entre les deux stations. Par contre, si les flux à Bakel sont faibles, déficitaires ou contrôlés, le débordement du fleuve est limité et l'écart entre les quantités mesurées au niveau des deux stations est réduit. C'est cela qui explique, entre autres, l'objectif de réguler le débit du fleuve à Bakel à 300 m³/s.

Conclusion

Entre Dagana et l'embouchure, le lit majeur du fleuve s'étend sur 4 000 km². Pendant les phases d'abondance hydrologique et avant la mise en place de la digue sur la rive gauche du fleuve en 1964, la crue inondait la plaine alluviale alimentant les cuvettes et autres dépressions. Actuellement, en plus du barrage de Manantali qui régule le débit du fleuve à 300 m³/s à Bakel, la digue empêche les débordements du cours d'eau et augmente ainsi les quantités d'eau qui pénètrent dans l'estuaire ; en outre, les nombreux marigots défluents du fleuve dans le delta, utiles dans l'évacuation de la crue, sont parsemés d'ouvrages vannés qui contrôlent les flux. De même, le réseau de vallées qui se ramifie dans le Ferlo en prolongement du lac de Guiers et de la vallée du Bounoum, s'est fossilisé. En d'autres termes, le dysfonctionnement du système fleuve-cuvettes-lacs-vallées, amplifie les flux d'eau qui pénètrent dans l'estuaire, en réduisant les espaces de drainage. C'est ce qui s'est passé en 1994, 1999 et 2003 avec l'arrivée massive des eaux dans l'estuaire, étant donné que le barrage de Diama n'est pas en mesure et n'a pas d'ailleurs pour objectif de laminer les crues pour protéger les localités côtières des inondations.

IV. Les variations saisonnières des niveaux d'eau dans le delta

Dans ce chapitre, nous envisageons d'analyser les fluctuations du niveau des eaux dans le delta du fleuve Sénégal à partir des données de hauteur d'eau mesurées à Dagana (située en amont à l'entrée du delta) et à Saint-Louis (située en aval, à une trentaine de kilomètres de l'ancienne embouchure). L'objectif est de mieux cerner les modalités de submersion des localités côtières comme Saint-Louis. Nous tiendrons en compte la mise en place des barrages de Diama (1985) et de Manantali (1988) en vue de déceler leur éventuelle influence sur le niveau des eaux. Ces niveaux d'eau varient de manière saisonnière et à l'échelle interannuelle en rapport avec l'écoulement provenant du haut bassin. Les fluctuations des débits moyens mensuels à Dagana autour du module de $606 \text{ m}^3/\text{s}$ sur la période 1903-1989, déterminent la période des hautes et des basses eaux dans le delta (tabl. 22, fig. 64).

Tableau 22 : Débit moyen mensuel à Dagana sur la période 1903-1989.

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Station/mois	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avr.
Dagana	26	84	359	1081	1807	2007	1234	345	143	72	45	28

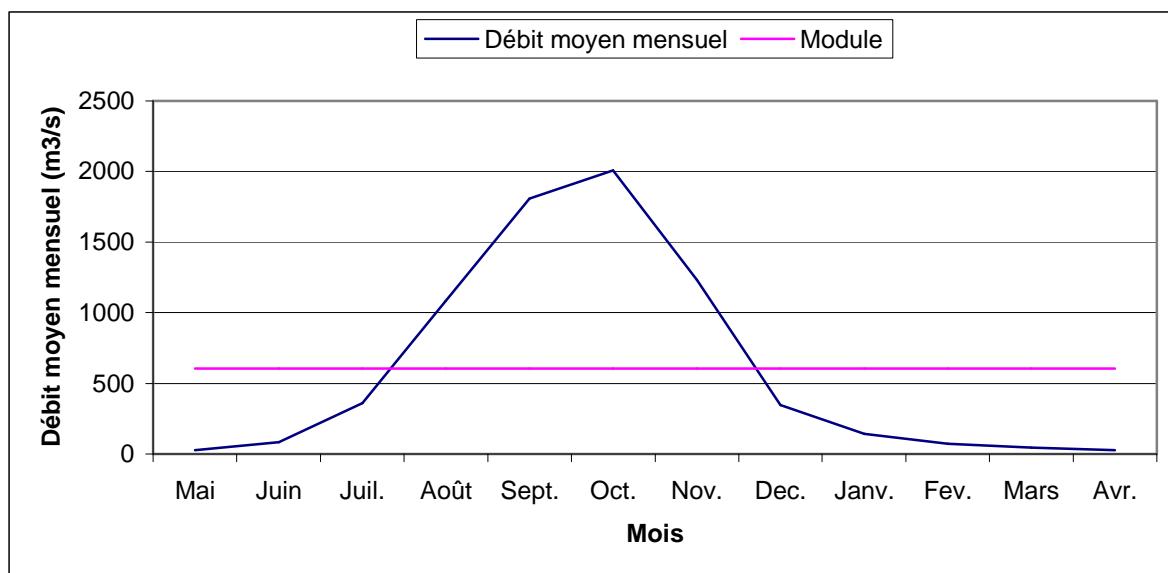


Figure 64 : Variations du débit moyen mensuel autour du module à Dagana (1903-1989), M. Sall (2006)

Contrairement, à Bakel, dans le haut bassin où elle dure trois mois (août, septembre, octobre), la période des hautes eaux s'étale sur 4 mois (août à novembre) à Dagana. L'eau semble ainsi stagner plus longtemps dans le delta augmentant ainsi le risque d'inondation des localités côtières. A Dagana, la pointe de la crue de $2\ 007 \text{ m}^3/\text{s}$, est notée en octobre un mois après son

passage à Bakel (septembre) et deux mois après les quantités maximales de pluie enregistrées dans le bassin (août).

1. La période des hautes eaux

C'est la période la plus intéressante à analyser par rapport à la problématique des inondations des localités côtières.

A Dagana, la cote moyenne journalière sur la période 1903-2004 est de 167 cm IGN. Les variations des hauteurs d'eau moyennes annuelles autour de cette cote, permettent d'identifier les années qui présentent des risques d'inondation (Annexe I, tabl. 13, fig. 65).

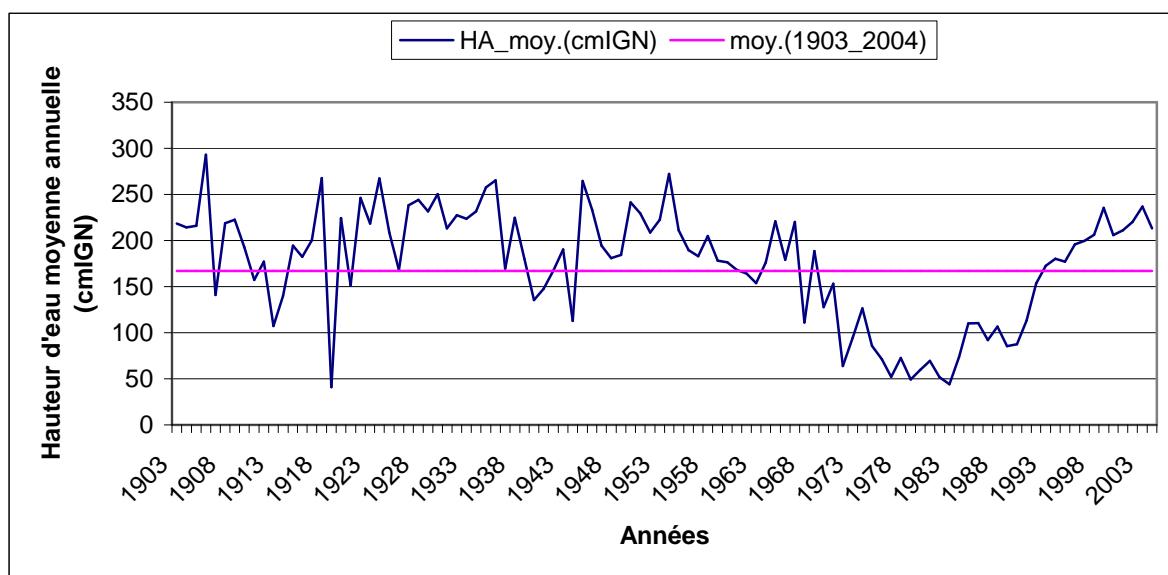


Figure 65 : Variations de la cote moyenne annuelle à Dagana (1903-2004), M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Globalement, avant la sécheresse des années 1970 dans la zone sahélienne et en rapport avec la phase d'abondance hydrologique dans le haut bassin, les hauteurs d'eau moyennes annuelles sont importantes à Dagana. La moyenne sur la période 1903-1969 (avant la sécheresse) est de 203 cm IGN. Elle tombe à 132 cm IGN entre 1970 et 2004 avec l'installation de la sécheresse dans le sahel et l'avènement de la phase hydrologique déficitaire dans le haut bassin. Les inondations sont ainsi normalement plus fréquentes dans le delta avant 1970 ; en effet, elles ont pratiquement rythmé l'histoire de la ville de Saint-Louis. Des années de grandes crues comme 1827, 1841, 1843, 1853 ont été répertoriées (Kane, 2000). D'autres pics sont atteints en 1906 (4,31 m IGN), 1922 (4,45 m IGN), 1924 (4,21 m IGN), 1935 (4,19 m IGN), 1936 (4,50 m IGN), 1965 (4,22 m IGN) et 1967 (4,21 m IGN).

Après 1970, les niveaux d'eau baissent sensiblement à Dagana, jusqu'en 1993 où la hauteur moyenne annuelle de 172 cm IGN est pour la première fois (depuis le début de la sécheresse) supérieure à la moyenne 1903-2004 (167 cm IGN). A partir de cette année d'ailleurs jusqu'en 2004, la hauteur d'eau moyenne annuelle à Dagana est constamment au dessus de la moyenne 1903-2004, révélant de meilleures conditions hydrologiques mais également l'augmentation des risques d'inondation. Ces risques se sont avérés avec la recrudescence des inondations de la commune de Saint-Louis en 1994 (180 cm IGN), 1998 (206 cm IGN) et 1999 (235 cm IGN) ; en 2003 (237 cm IGN), une forte menace de débordement des eaux du fleuve sur la commune de Saint-Louis a précipité l'ouverture du canal de délestage des eaux de crue sur la Langue de Barbarie.

L'analyse de l'évolution de la crue montre que la lenteur de l'évacuation des eaux vers l'embouchure augmente les risques de débordement du cours d'eau (fig. 66).

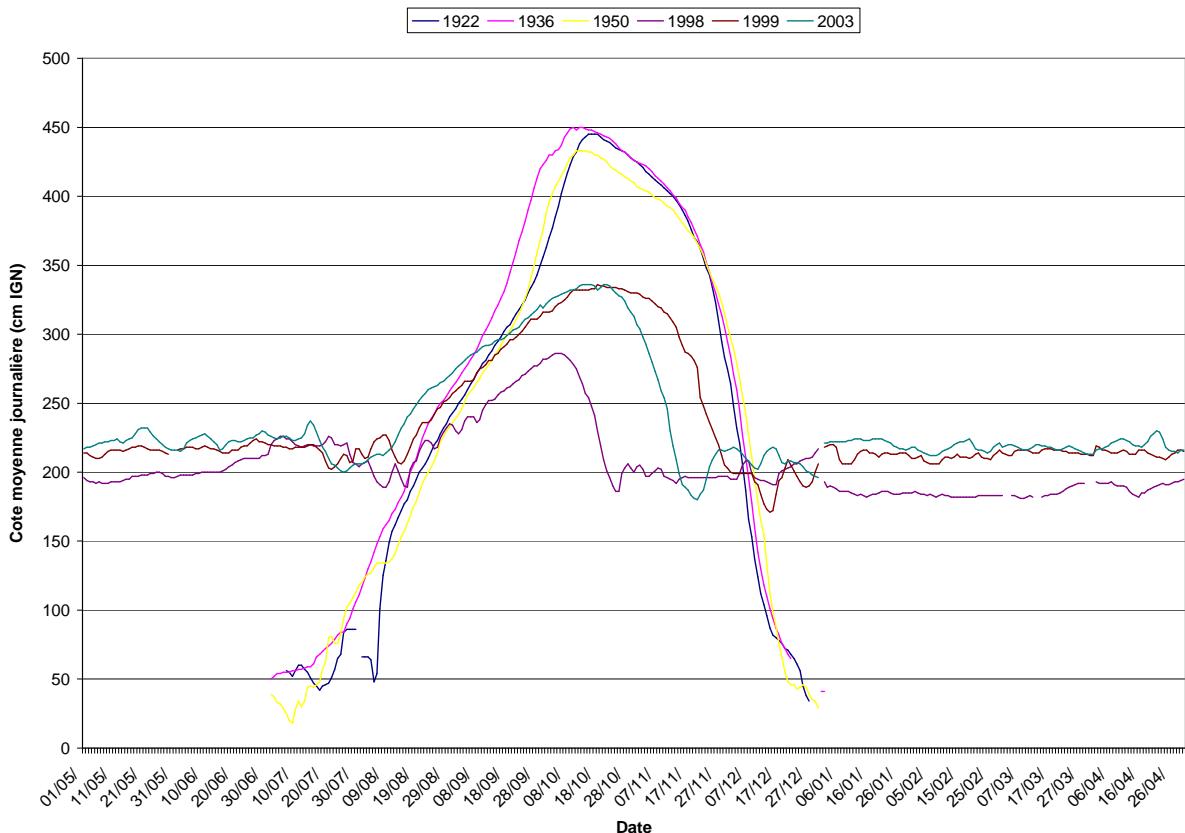


Figure 66 : Variations de la cote moyenne journalière à Dagana, M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

En 1922, la cote maximale de 4,45 m IGN est atteinte à Dagana, du 15/10 au 18/10 ; mais le niveau d'eau est resté supérieur à 4 m IGN du 06/10 au 12/11 soit pendant 37 jours. En 1936, la cote la plus élevée de 4,5 m IGN est notée le 10/10 mais pendant 46 jours, du 27/09 au

12/11, le niveau d'eau est resté supérieur à 4 m IGN. Cette durée de stagnation de la crue dans le delta est de 33 jours à Dagana en 1950, avec des cotes qui sont restées supérieures à 4 m IGN du 03/10 au 05/11. Dans la mémoire collective, cette année est liée à une inondation spectaculaire de la ville de Saint-Louis et des terres basses du delta.

Les périodes d'inondation plus récentes comme 1999 et 2003 reflètent également ce phénomène même si les hauteurs d'eau sont plus faibles. En effet, en 1999, la cote maximale de 3,36 m IGN est enregistrée le 18/10 à Dagana mais le niveau d'eau du fleuve est resté au dessus de 3 m IGN pendant 52 jours, du 22/09 au 13/11. De même pour 2003, où cette durée est de 42 jours, du 19/09 au 01/11 avec un maximum de 3,36 m IGN noté du 20 au 21/10. Cette durée de stagnation des eaux de crue dans le delta, est effectivement élevée en comparaison à celle de 1998 où la cote maximale de 2,86 m IGN à Dagana est atteinte du 04/10 au 06/10 ; mais les hauteurs d'eau du fleuve sont restées supérieures à 2,80 m IGN seulement pendant 10 jours, du 30/09 au 09/10. L'évacuation de la crue a été rapide : cette année là, la ville de Saint-Louis a été plutôt affectée par les eaux de pluies.

L'influence des barrages sur les niveaux des eaux en période de crue est difficile à mettre en exergue dans la mesure où leur mise en place correspond à une phase de déficit hydrologique dans le haut bassin et dans la zone sahélienne. De ce fait les hauteurs d'eau plus faibles en période de hautes eaux dans les années 1990-2000 sont difficilement attribuables uniquement à l'action de régulation du cours d'eau par le barrage de Manantali. Par contre, leur influence est nettement plus visible en période de basses eaux.

A **Saint-Louis**, située à environ 130 km en aval de Dagana, à une trentaine de km de l'embouchure naturelle, la hauteur d'eau moyenne du fleuve sur la période 1964-2003 est de 43 cm IGN. Les fluctuations des cotes moyennes annuelles autour de cette valeur, montrent des niveaux d'eau du fleuve élevés jusqu'en 1971 (Annexe I, tabl. 14, fig. 67).

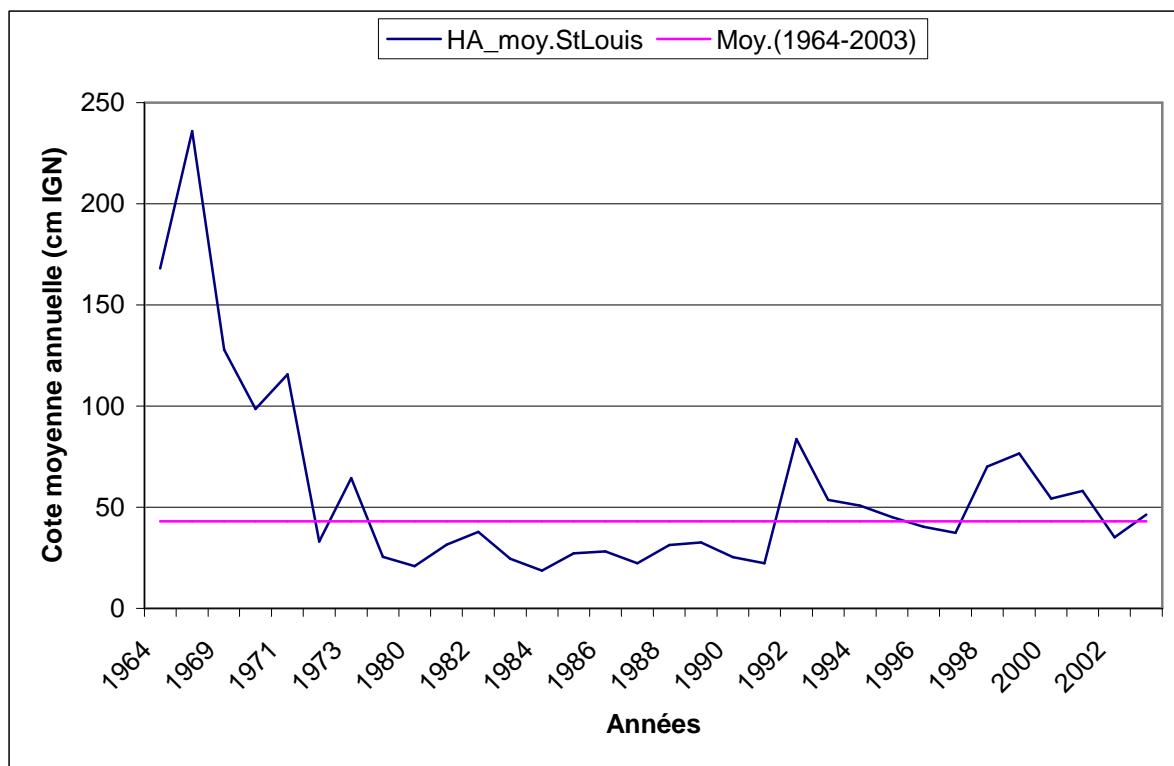


Figure 67 : Variations des cotes moyennes annuelles à Saint-Louis (1964-2003), M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Durant cette période qui précède l'installation de la sécheresse dans la zone sahélienne et qui coïncide également avec une phase d'abondance hydrologique dans le haut bassin, la cote moyenne annuelle à Saint-Louis est de 130 cm IGN. Les risques d'inondation devraient ainsi être plus élevés entre 1964 et 1971. Entre 1972 et 2003, la cote moyenne de 37 cm IGN est inférieure à celle de la période 1964-2003. C'est l'installation de la sécheresse dans la zone sahélienne et la phase de déficit hydrologique dans le bassin supérieur. Mais ces côtes restent faibles, surtout entre 1972 et 1991 où la moyenne est de 28 cm IGN. A partir de 1992 (84 cm IGN) ces valeurs redeviennent supérieures à la moyenne 1964-2003 avec 1998 qui atteint 70 cm IGN, 1999 (76 cm IGN), 2000 (54 cm IGN), 2001 (58 cm IGN) et 2003 (46 cm IGN). En moyenne sur la période 1992-2003, les niveaux d'eau avoisinent 50 cm IGN.

L'analyse des cotes maximales annuelles du fleuve à Saint-Louis, en rapport avec la cote d'alerte (niveau à partir duquel le fleuve commence à déborder : 140 cm IGN), permet de mieux appréhender la problématique des inondations de la commune (Annexe I, tabl. 14, fig. 68).

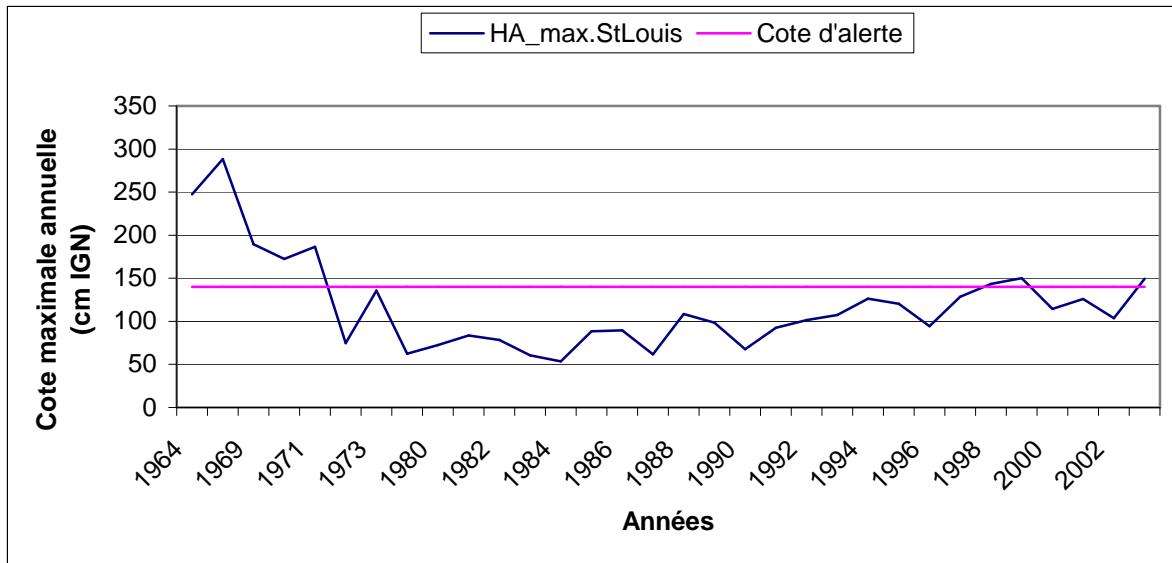


Figure 68 : Variations des cotes maximales annuelles à Saint-Louis par rapport à la cote d'alerte, M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Les inondations intervenues en 1999 et en 2003 à Saint-Louis et dans quelques localités côtières, sont en relation avec les niveaux très élevés du fleuve (150 cm IGN), qui ont dépassé la cote d'alerte. Par contre, en 1994 où sont notées les premières inondations de cette dernière décennie, la cote maximale n'est que de 127 cm IGN (inférieure à la cote d'alerte) ; le débordement du fleuve s'explique dans ce cas par l'absence des mesures de protection actuelles (digues, relèvement des quais, etc.) mises en place à partir de 1995, justement à la suite des inondations de 1994. Néanmoins, dans l'ensemble, les hauteurs maximales d'eau à Saint-Louis affichent une tendance globale à la hausse depuis le début des années 1990 augmentant ainsi le risque d'inondation (fig. 69).

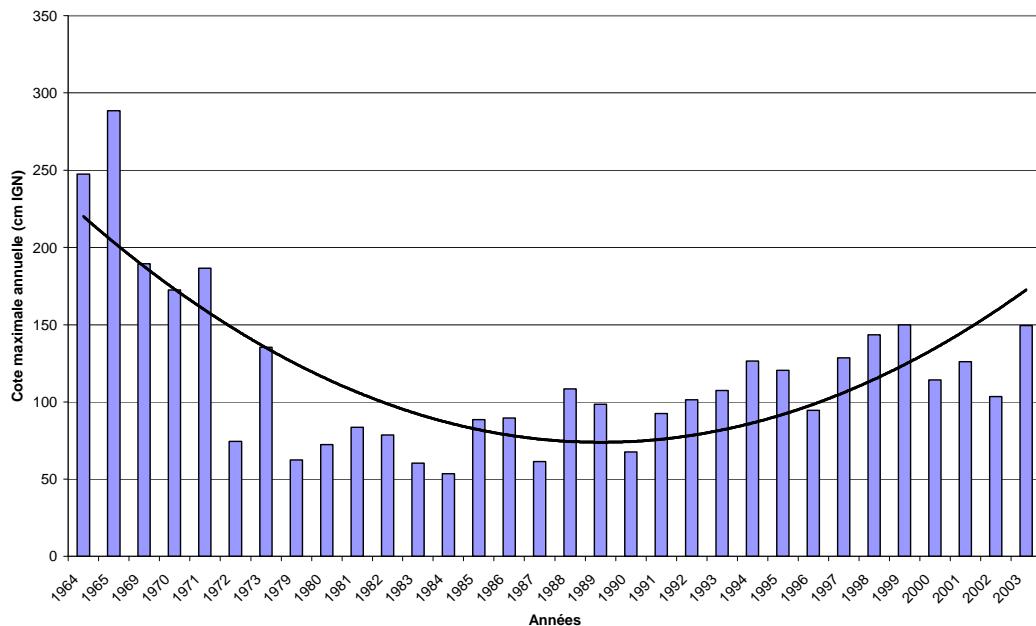


Figure 69 :

Tendance des cotes maximales annuelles à Saint-louis (1964-2003), M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Globalement, jusqu'en 1990, la tendance des cotes maximales annuelles à Saint-Louis est à la baisse ; c'est d'ailleurs en 1984 que la plus faible valeur de 0,54 m IGN est enregistrée. Mais les années 1983 (0,61 m IGN), 1979 (0,63 m IGN), 1987 (0,62 m IGN), 1990 (0,65 m IGN), 1980 (0,73 m IGN), 1972 (0,75 m IGN) présentent également de faibles cotes annuelles.

Par contre, ces valeurs sont élevées en 1998 (1,43 m IGN), 1999 et 2003 (1,50 m IGN).

Entre ces deux extrêmes, il existe des années intermédiaires, comme 1997 qui affiche une valeur maximale de hauteur d'eau de 1,28 m ; 1994 (1,27 m IGN), 1995 (1,21 m IGN), 2001(1,26 m IGN). Les années 1993 (1,08 m IGN), 1988 (1,09 m IGN) et 2002 (1,03 m IGN) peuvent également être rattachées à cette catégorie.

La longue durée d'évacuation des eaux de crue dans l'estuaire est également une source d'inondation des localités côtières comme Saint-Louis. Pendant les années 1970 jusqu'au début des années 1980, l'onde de crue était évacuée assez rapidement à Saint-Louis comme le montre la partie descendante des courbes (fig. 70).

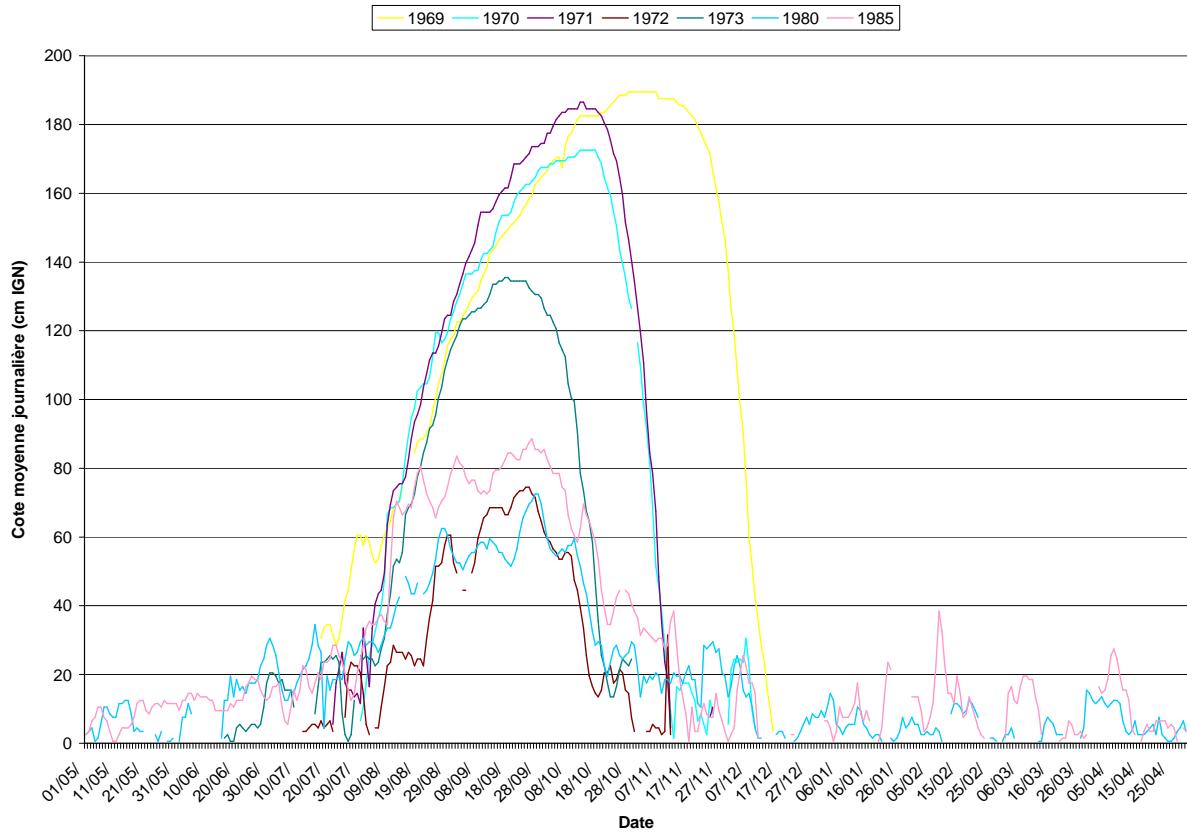


Figure 70 : Variations de la cote moyenne journalière à Saint-Louis dans les années 1970-1980, M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

En 1972, la hauteur maximale de crue de 0,75 m IGN, atteinte le 25/09 à la station de Saint-Louis, est tombée à 0,16 m IGN le 19/10 tandis qu'en 1973, la hauteur d'eau est passée de 1,35 m IGN le 24/09 à 0,14 m IGN le 23/10. En 1980, la cote maximale de 72,5 cm IGN atteinte le 28/09 passe à 19,5 cm IGN le 21/10 (tabl. 23).

Tableau 23 : Rythme d'évacuation des eaux de crue dans les années 1970-1980

Années	Hauteur maximale (m IGN)	Date	Hauteur après décrue (m IGN)	Date	Durée (jours)	Dénivelée (m)	Vitesse (cm/jour)
1969	1,90	06/11	0,77	06/12	30	1,13	3,77
1970	1,73	16/10	0,03	23/11	38	1,70	4,47
1971	1,87	13/10	-0,15	28/11	46	2,02	4,39
1972	0,75	25/09	0,16	19/10	24	0,59	2,46
1973	1,35	24/09	0,14	23/10	29	1,21	4,17
1979	0,63	08/09	0,24	16/10	38	0,39	1,07
1980	0,73	28/09	0,20	21/10	23	0,53	2,30
1981	0,80	16/09	0,28	05/11	50	0,52	1,04
1982	0,78	19/09	0,19	28/10	39	0,59	1,51
1983	0,59	28/09	0,23	16/11	49	0,36	0,73
1984	0,54	28/09	0,20	12/11	45	0,34	0,76
1985	0,89	26/09	0,35	22/10	0,54	26	2,08

En moyenne, sur cette période, les eaux de crue sont évacuées, au rythme de 2,38 cm/jour. Cette vitesse est relativement rapide et peut expliquer, en partie, l'absence de débordements du fleuve sur la ville de Saint-Louis par rapport aux années 1990-2000.

En effet, la représentation graphique de l'évolution des cotes moyennes journalières à Saint-Louis en fonction du temps, montre une évacuation très lente des eaux en 1994 et 1999 (fig. 71).

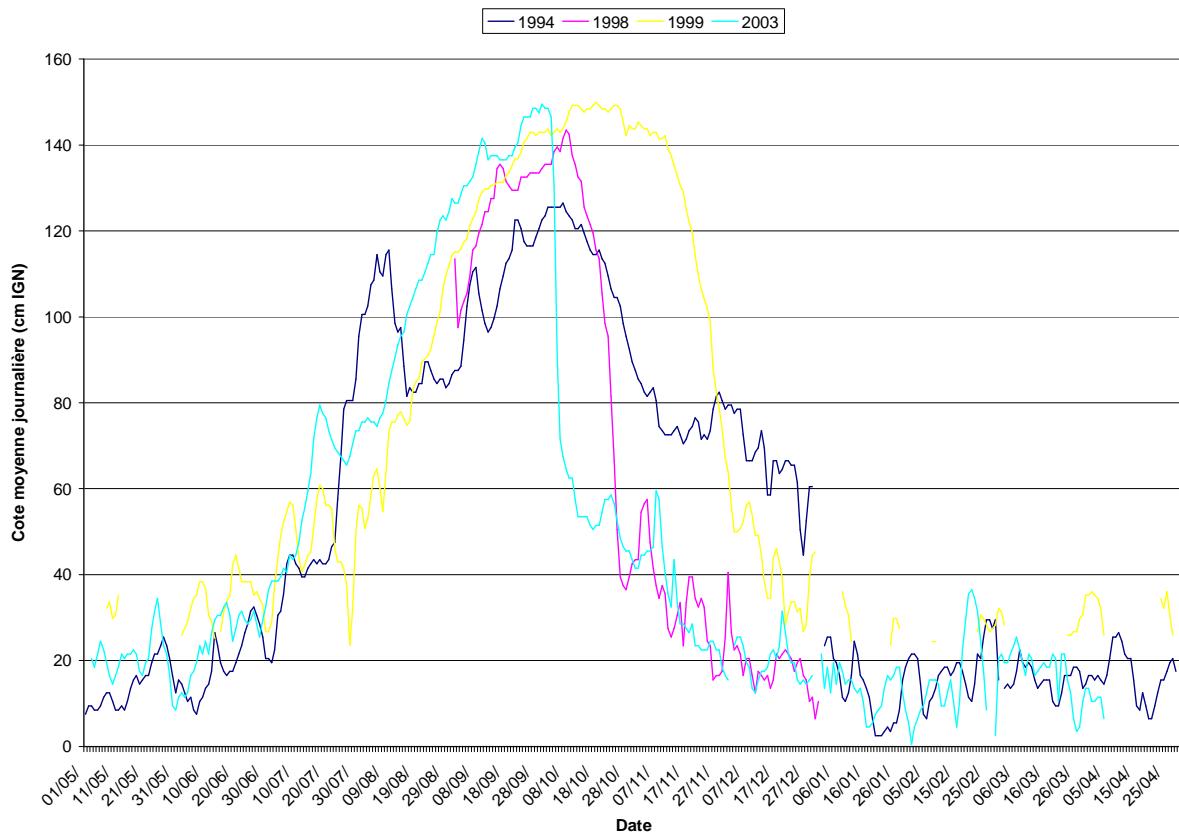


Figure 71 : Variations de la cote moyenne journalière à Saint-Louis dans les années 1990-2000, M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

En 1994, pour une hauteur d'eau maximale de 1,27 m IGN enregistrée le 07/10 à Saint-Louis, le niveau de l'eau était encore à 0,83 m IGN le 28/11. En 1999, après le pic de 1,50 m IGN enregistré le 19/10, le niveau de l'eau était à 1,25 m IGN un mois plus tard, le 19/11.

Il s'avère ainsi que le rythme d'évacuation des eaux de crue est plus lent durant cette période de recrudescence des inondations (tabl. 24).

Tableau 24 : Rythme d'évacuation des eaux de crue dans les années 1990-2000

Années	Hauteur maximale (m IGN)	Date	Hauteur après décrue (m IGN)	Date	Durée (jours)	Dénivelée (m)	Vitesse (cm/jour)
1986	0,90	03/10	0,45	05/11	32	0,45	1,41
1987	0,62	08/10	0,20	10/11	32	0,42	1,31
1988	1,09	27/09	0,19	30/11	63	0,90	1,43
1989	0,99	18/09	0,41	20/11	62	0,58	0,94
1990	0,65	03/10	0,24	05/11	32	0,41	1,28
1993	1,07	30/09	0,37	25/10	37	0,70	1,89
1994	1,27	07/10	0,83	28/11	51	0,44	0,86
1995	1,21	08/10	0,26	20/11	42	0,95	2,26
1996	0,95	13/09	0,36	21/10	38	0,59	1,55
1997	1,28	21/09	0,64	29/10	38	0,64	1,68
1998	1,43	09/10	0,67	24/10	15	0,76	5,07
1999	1,50	19/10	1,25	19/11	30	0,25	0,83
2001	1,26	22/09	0,52	27/10	35	0,74	2,11
2002	1,03	26/09	0,43	04/11	39	0,60	1,54

Le rythme moyen de retrait des eaux est de 1,72 cm/jour soit presque une fois et demi plus lentement que pendant les années 1970-1980. Cependant, pendant cette période, l'évacuation des eaux au rythme de 5,07 cm/jour, a été très rapide en 1998. C'est le cas également pour des années comme 1997 et 2001. C'est pourquoi, il est difficile de mettre en cause les barrages qui ont été mis en place pendant cette période. Toutefois, l'insuffisance de l'évacuation des eaux de crue (0,86 cm/j en 1994) semble être un début d'explication des inondations récentes de la ville de Saint-Louis : les eaux stagnent plus longtemps dans l'estuaire.

En période de crue, le réseau anastomosé de cours d'eau défluents du fleuve dans le delta, permettait d'évacuer les eaux vers les cuvettes, à l'intérieur de la plaine alluviale, engendrant, par exemple, le développement d'écosystèmes très variés dans le Djoudj, le Ndial ou dans la zone des trois marigots. Actuellement, cette possibilité est fortement entravée par l'artificialisation de plus en plus poussée des voies d'écoulement des eaux.

Ce ralentissement peut également s'expliquer par l'extension progressive de la Langue de Barbarie vers le sud, qui augmente la durée de transit de l'eau vers l'embouchure. En effet, l'extrémité de la flèche littorale qui sépare le fleuve de la mer, à partir de Saint-Louis jusqu'à l'embouchure, est très mobile (Annexe I, tabl. 15, fig. 72).

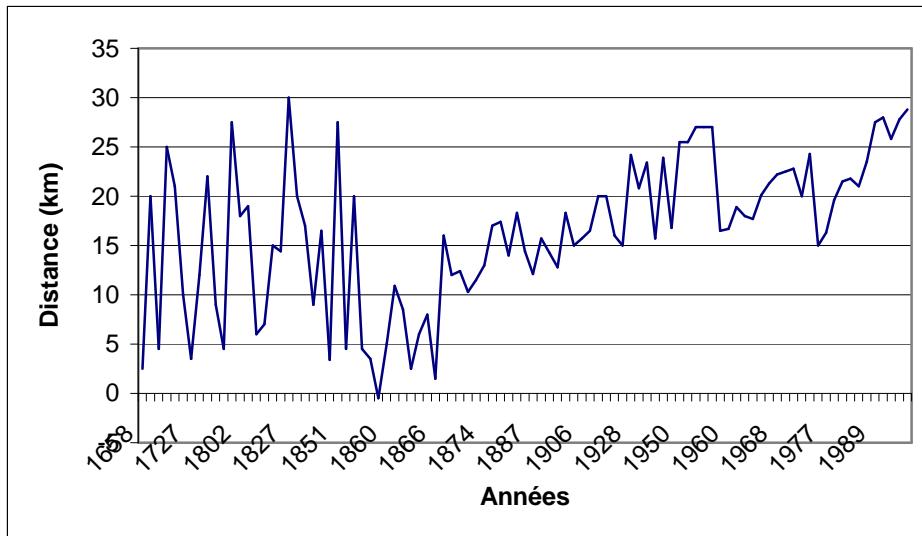


Figure 72 : Migrations de l'embouchure du fleuve Sénégal dans le temps, M. Sall (2006)

Source des données : Dia (2000)

Ces dernières années, la tendance à l'avancée vers le sud a été la plus forte. Le volume de sable déposé sur l'extrémité sud de la Langue de Barbarie est estimé à 600 000 m³/an (Kane, 1997).

Par ailleurs, les études bathymétriques réalisées à partir du pont Faidherbe (Lamagat, 2000), montrent que la profondeur et la largeur du fleuve diminuent au fur et à mesure qu'on s'approche de l'embouchure ; la profondeur maximale ne dépasse pas 10 m (Diakhaté, 1988). Il semble se dessiner une obstruction progressive de l'embouchure qui, combinée avec la marée haute, provoque un ralentissement de l'évacuation des eaux de l'estuaire. La diminution de la profondeur du fleuve peut être liée à une sédimentation accrue ou à un défaut de transport de sédiments dans l'estuaire.

Les premiers débordements du fleuve de cette dernière décennie datent de la saison 1994/1995 avec des inondations qui ont entraîné le déplacement de 120 000 personnes et la submersion de terres cultivables (Kane, 2000). Durant cette saison, le débit maximal observé à Bakel pendant la crue (le 01/09) a été de 4 160 m³/s, une valeur qui n'avait jamais été dépassée depuis 1975 (4 800 m³/s). Cependant, des débits plus importants ont été notés comme en septembre 1967 à Bakel où une valeur de 6 740 m³/s a été enregistrée.

Les villages traditionnels de pêcheurs situés le long du fleuve, ne sont également pas épargnés par la montée des eaux. A la suite de la crue de 1999, Keur Barka, par exemple, situé à environ 5 km au sud-ouest de Saint-Louis, dans le Gadiolais, a été abandonné par ses habitants suite à la montée des eaux (photo 3).



Photo 3 : Village de Keur Barka abandonné par ses habitants lors de la crue de 1999

(Photos : M. Sall, janvier 2004)

Selon les témoignages des habitants qui se sont déplacés vers la localité voisine, du même nom, située plus en hauteur, la crue a régulièrement envahi le village mais a atteint des proportions majeures en 1999 où l'eau se retrouvait dans les chambres.

Ces inondations revêtent plusieurs formes en fonction des facteurs qui concourent à leur apparition :

- les *inondations provoquées par le débordement du fleuve* en période de crue ; elles résultent de l'interaction entre les eaux provenant de l'amont, les courants générés par la dynamique marine (marées), la montée saisonnière du niveau de la mer et l'obstruction du chenal menant vers l'embouchure par les importants dépôts de sédiments fins ; tous ces facteurs concourent à allonger la durée d'évacuation des eaux de crue et favorisent l'augmentation du niveau du fleuve dans l'estuaire ;
- les *inondations pluviales combinées à une remontée de la nappe* ; les eaux de pluie s'infiltrent difficilement dans les sols constitués par d'anciennes vasières notamment dans la ville de saint-Louis ; de plus, la nappe phréatique est peu profonde (1 à 2 m) et remonte souvent en surface dès les premières pluies ; les eaux stagnent ainsi pendant plusieurs mois, soumises uniquement à l'évaporation (photo 4).



Photo 4 : Stagnation prolongée des eaux de pluies et remontée de la nappe phréatique ; quartier de Khor (nord-est de Saint-Louis), Photo M. Sall, novembre 2003.

A cela s'ajoutent les éléments suivants (Kane, 2000) :

- la Falémé (affluent du Sénégal) et le Bakoye (cours d'eau à l'origine de la formation du Sénégal par sa jonction avec le Bafing) ne sont pas dotés d'ouvrages de régulation ;
- l'habitat se développe de plus en plus dans des zones basses occupées normalement par les eaux en saison pluvieuse (photo 5);



Photo 5 : Occupation des zones basses dans le quartier de Médina Course à Saint-Louis
(Photo : M. Sall, novembre 2004)

Conclusion

La période des hautes eaux intervient dans le delta entre les mois d'août et de novembre. Les flux provenant du haut bassin augmentent les niveaux d'eau du fleuve qui constituent ainsi un risque de submersion des localités côtières, dont la plus importante est la commune de Saint-Louis. Ce risque est accentué par le niveau de la mer qui augmente également pendant cette période du fait de l'arrivée des eaux tropicales chaudes sur les côtes saint-louisiennes et de la mousson. Les niveaux d'eau du fleuve en période de hautes eaux sont variables selon les phases hydrologiques qui sont en rapport avec les fluctuations des conditions climatiques dans le bassin du fleuve Sénégal. Ainsi, le niveau moyen annuel du fleuve entre 1903 et 1969, pendant la phase d'abondance hydrologique notée dans le haut bassin, est de 203 cm IGN à Dagana, supérieure à celle de la période globale 1903-2004 qui est de 167 cm IGN. Entre 1970 et 2004, correspondant à la phase hydrologique déficitaire dans le haut bassin et à la sécheresse dans la zone sahélienne, le niveau moyen annuel du fleuve n'est plus que de 132 cm IGN. La cote moyenne mensuelle la plus élevée de 271 cm IGN est enregistrée au mois d'août : c'est la crue. Par contre la valeur moyenne mensuelle la plus faible de 77 cm IGN est notée en juin : c'est l'étiage.

A Saint-Louis, à 130 km en aval de Dagana, dans l'estuaire, la cote moyenne du fleuve sur la période 1964-2003 est de 43 cm IGN. Entre 1964 et 1971, pendant la phase d'abondance hydrologique du bassin supérieur, cette cote est de 130 cm IGN. Avec l'installation de la sécheresse dans la zone sahélienne et la phase hydrologique déficitaire du haut bassin, entre 1972 et 2003, la cote moyenne du fleuve à Saint-Louis, n'est plus que de 37 cm IGN. Cependant, cette baisse est essentiellement notée de 1972 à 1991 où la moyenne est de 28 cm IGN. Entre 1992 et 2003 cette valeur est de 50 cm IGN, reflétant de meilleures conditions hydrologiques dans le bassin du fleuve Sénégal (tabl. 25).

Tableau 25 : Synthèse des valeurs des cotes moyennes à Dagana et Saint-Louis pour différentes périodes

Hauteur d'eau (cm IGN)	Phase hydrologique	Stations		Mois	Années
		Dagana	Saint-Louis		
Cote moyenne 1903-2004	globale	167			
Cote moyenne 1903-1969	abondance	203			
Cote moyenne 1970-2004	déficitaire	132			
Cote moyenne 1963-2003	globale		43		
Cote moyenne 1964-1971	abondance		130		
Cote moyenne 1972-2003	déficitaire		37		
Cote moyenne 1972-1991			28		
Cote moyenne 1992-2003			50		
Cote maximale annuelle		450			1936
			289		1965
Cote moyenne maximale annuelle		293			1906
			236		1965
Cote moyenne mensuelle maximale	Crue	271		Août	1903-2004
			94	Sept.	1963-2003
Cote moyenne mensuelle minimale	Etiage	77		Juin	1903-2004
			13	Avril	1963-2003
Vitesse d'évacuation de la crue (cm/jour)			2,38		1970-1980
			1,72		1990-2000

C'est pourquoi, au courant de cette dernière période, les localités côtières du delta, en particulier la commune de Saint-Louis connaissent une recrudescence des inondations, notamment en 1994 (127 cm IGN), 1998 (143 cm IGN), 1999 (150 cm IGN), 2003 (150 cm

IGN). Ces niveaux d'eau sont globalement supérieurs à la cote d'alerte à Saint-Louis qui est de 140 cm IGN. En 1994, la cote d'alerte n'est pas atteinte mais les mesures de protection de certains quartiers (digues, relèvement des quais, etc.) n'existaient pas : elles ne sont réalisées qu'en 1995. Par ailleurs, la recrudescence des inondations de la commune de Saint-Louis au cours de cette dernière décennie, relève également de la lenteur de la vitesse d'évacuation des eaux de crue vers l'embouchure. Dans les années 1970-1980, cette vitesse était en moyenne de 2,38 cm/jour contre seulement 1,72 cm/jour pour les années 1990-2000. Ceci peut être attribué à un colmatage progressif du chenal menant vers l'embouchure suite aux milliers de tonnes de sédiments fins déposés par les eaux continentales mais aussi à l'allongement de la Langue de Barbarie par les dépôts de sédiments marins provoqués par la dérive littorale. Le rôle des barrages dans ce processus est difficile à déterminer.

2. La période des basses eaux

La période des basses eaux s'étale sur huit mois, de décembre à juillet (tabl. 26, fig. 73).

Tableau 26 : Cote moyenne mensuelle à Dagana (1903-1904)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Mois	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avr.
Cote moyenne mensuelle (cm IGN)	104	77	89	164	247	271	199	99	104	117	121	122

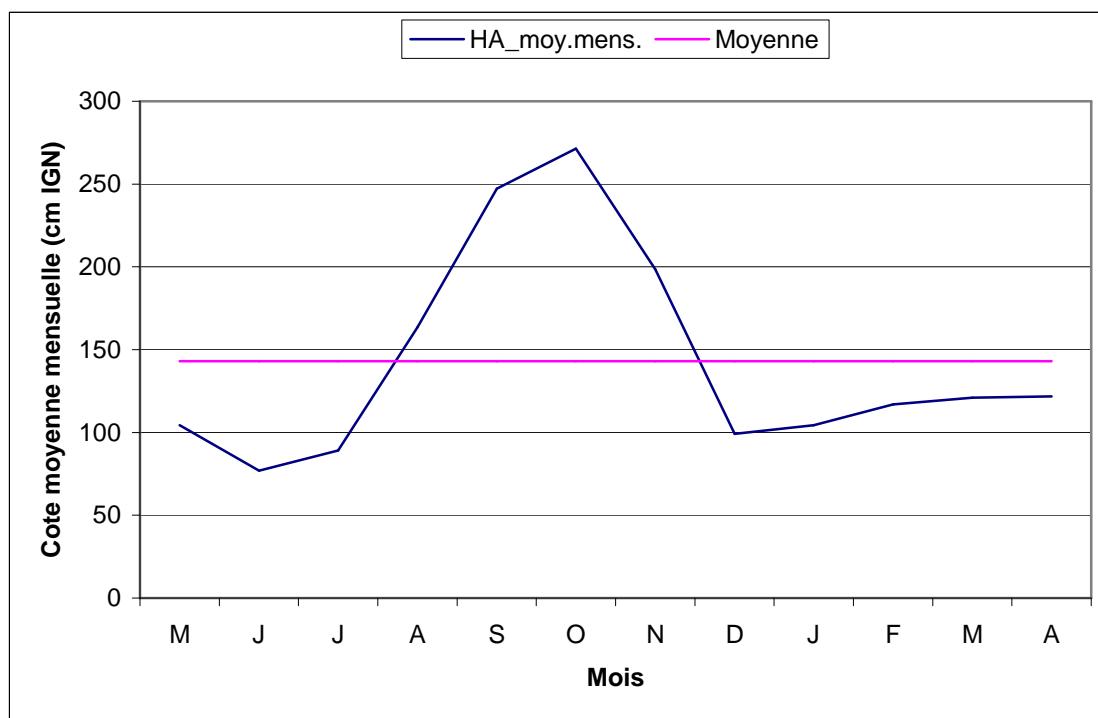


Figure 73 : Variations de la cote moyenne mensuelle à Dagana, M. Sall (2006)

A Dagana, le niveau moyen d'eau le plus faible dans la saison, 77 cm IGN, est enregistré au mois de juin : c'est l'étiage. Mais dans l'ensemble, les cotes moyennes mensuelles les plus faibles se situent entre 100 et 120 cm IGN.

L'analyse des cotes minimales annuelles sur la période 1903-2004 permet de mieux déceler l'influence des barrages de Diama (1985) et de Manantali (1988) sur les niveaux du fleuve (Annexe I, tabl. 16, fig. 74).

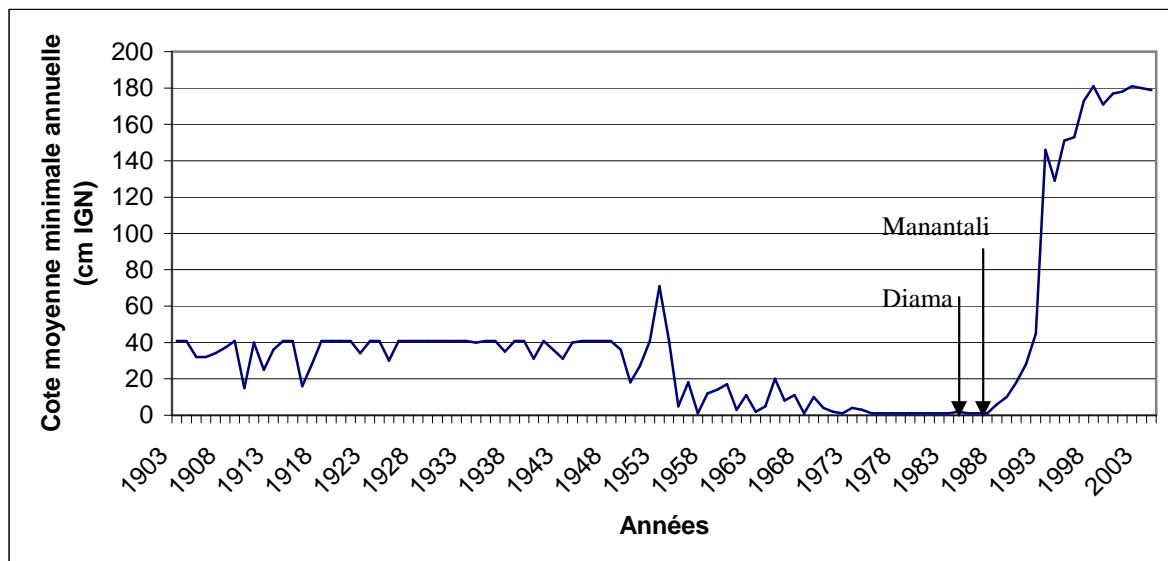


Figure 74 : Variations du niveau moyen minimal du fleuve à Dagana (1903-2004), M. Sall (2006)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

De 1903 à 1955, globalement pendant la phase d'abondance hydrologique du haut bassin, les cotes moyennes minimales à Dagana se situent autour de 40 cm IGN. Entre 1956 et 1969, dans la phase hydrologique intermédiaire, les niveaux d'eau moyens minimaux sont en dessous de 20 cm IGN. De 1970 à 1988, avec la phase hydrologique déficitaire dans le haut bassin et la sécheresse qui s'installe dans la zone sahélienne, les cotes moyennes minimales à Dagana sont très faibles. A partir de 1989, avec la construction du barrage de Manantali, ces valeurs augmentent régulièrement pour se stabiliser globalement entre 1,50 m et 1,80 m IGN; ceci, à partir de 1993, seulement 8 ans après la construction du barrage de Diama et 5 ans après celle de Manantali. C'est ce qui explique d'ailleurs que les cotes moyennes annuelles à Dagana sont depuis 1993, supérieures à la moyenne de 167 cm IGN sur la période 1903-2004. La comparaison des variations saisonnières des cotes moyennes journalières avant et après la mise en place des barrages permet de mettre en évidence l'impact des barrages sur le niveau du fleuve en période de basses eaux (fig. 75).

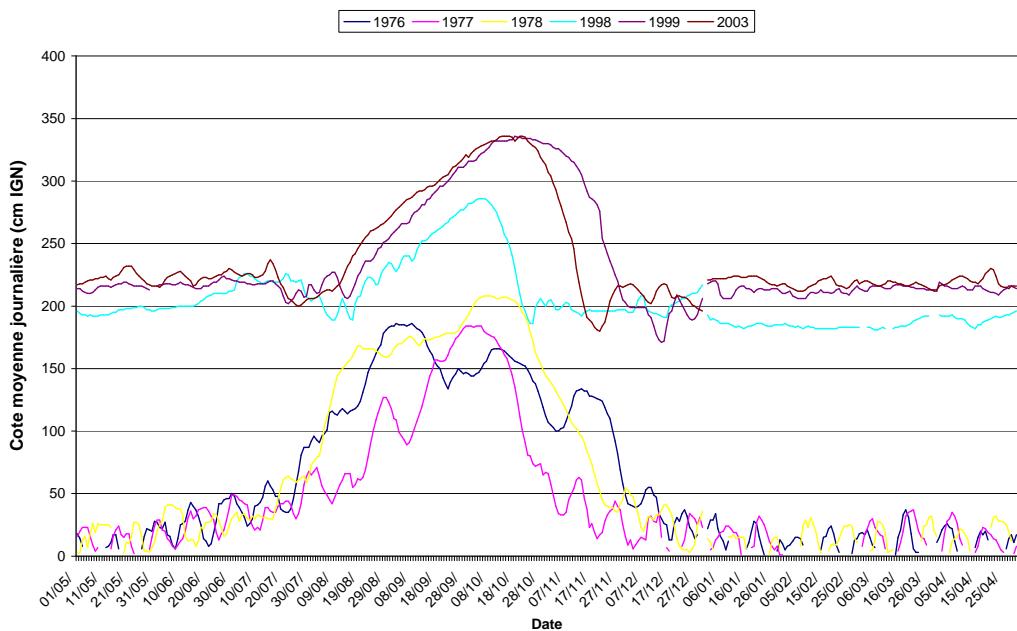


Figure 75 : Variations des cotes moyennes journalières à Dagana avant et après la mise en place des barrages

M. Sall (2006) Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

En effet, sur ce graphique, en 1998, 1999 et 2003, le niveau du fleuve reste constamment autour de 2 m IGN en saison de basses eaux, du fait des lâchers d'eau à partir de Manantali combinés à la fermeture du barrage de Diama. Par contre, sur les années d'avant la mise en place des barrages (1976, 1977, 1978), le niveau des basses eaux se situe en deçà de 50 cm IGN.

A **Saint-Louis**, les cotes moyennes mensuelles caractéristiques des basses eaux sont inférieures à 37 cm IGN (la cote moyenne sur la période 1964-2003). La valeur la plus faible de 13 cm IGN est enregistrée en avril qui correspond à l'étiage (tabl. 27, fig. 76).

Tableau 27 : Cote moyenne mensuelle à Saint-Louis (1964-2003)

Source des données : Service régional de l'hydraulique à Saint-Louis

Mois	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avr.
Cote moyenne mensuelle (cm IGN)	15	21	33	61	94	82	51	23	17	17	16	13

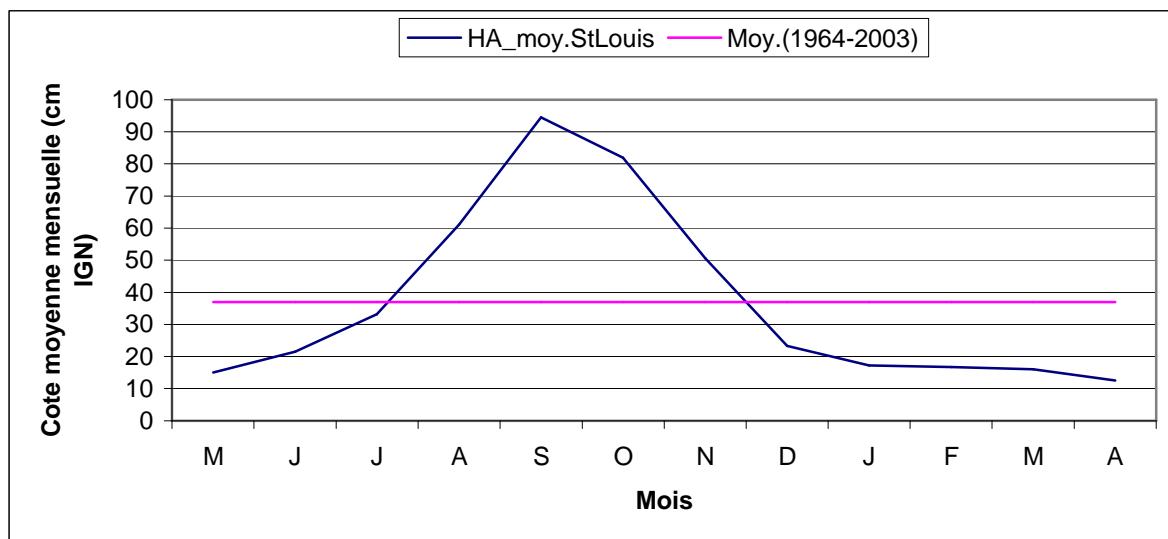


Figure 76 : Variations de la cote moyenne mensuelle à Saint-Louis, M. Sall (2006)

L'influence des barrages sur les niveaux du fleuve à Saint-Louis, en période de basses eaux, est difficile à cerner. La comparaison des cotes moyennes journalières enregistrées en 1983 et 1984 (avant la mise en place des barrages) et 1995 et 1996 (après la mise en place des barrages) montre des valeurs très hétérogènes (fig. 77).

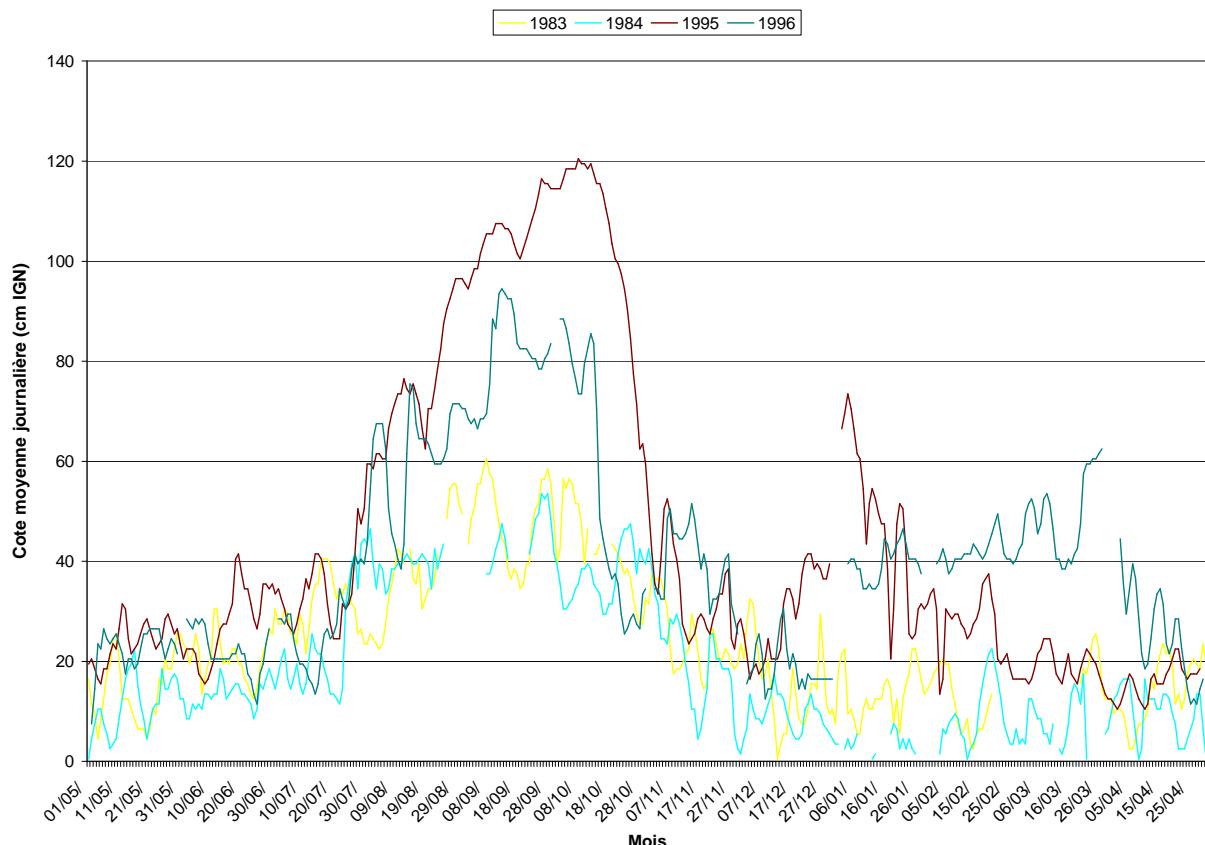


Figure 77 : Comparaison des cotes moyennes journalières avant et après la mise en place des barrages

M. Sall (2006)

En 1983 et 1984, les cotes moyennes journalières à Saint-Louis se situent autour de 20 cm IGN. Par contre, ces valeurs peuvent avoisiner 80 cm IGN en 1995. Dans la première décennie du mois de janvier 1995, le niveau du fleuve est resté à plus de 60 cm IGN avec un maximum de 73,5 cm IGN le 04 janvier. En 1996, le niveau du fleuve est resté élevé et a atteint 62,5 cm IGN le 27/03. Cette grande fluctuation des niveaux du fleuve en période de basses eaux à Saint-Louis, dans les années 1990, est liée à l'ouverture périodique du barrage de Diama pour respecter la cote de 1,5 m IGN en amont de l'ouvrage. Ces lâchers peuvent temporairement rehausser le niveau du fleuve en aval.

Conclusion

En période de basses eaux, le niveau du fleuve ne peut constituer une source d'inondation des localités côtières. D'autant plus qu'en cette période également, le niveau de la mer est en baisse avec la présence des upwellings, du courant froid des Canaries et des alizés du nord-ouest. Avant la mise en place des barrages, en période d'abondance hydrologique (1903-1955), les cotes moyennes minimales annuelles à Dagana avoisinent 40 cm IGN ; elles diminuent considérablement pendant la phase intermédiaire (1956-1969) pour se situer en dessous de 20 cm IGN. Cette baisse des cotes minimales s'accentue pendant la phase hydrologique déficitaire du haut bassin et l'installation de la sécheresse dans la zone sahélienne (1970-1988). Après la mise en place du barrage de Manantali en 1988, la cote moyenne minimale annuelle à Dagana, augmente régulièrement pour se stabiliser entre 1,50 et 1,80 m IGN à partir de 1993. Les cotes moyennes journalières en période de basses eaux avoisinent 2 m IGN à Dagana ; le stock d'eau est réalisé pour permettre la culture irriguée en toute saison hydrologique.

L'impact des barrages sur les niveaux d'eau à Saint-Louis est plus difficile à cerner. Cependant, les lâchers effectués à partir de Diama contribuent à rehausser les cotes moyennes journalières qui peuvent atteindre 80 cm IGN tandis qu'elles se situaient globalement en dessous de 50 cm IGN avant les barrages.

V. La localisation des zones d'inondation dans le delta

La cartographie de l'occupation/utilisation du sol, pour deux saisons hydrologiques différentes (hautes et basses eaux) va permettre, entre autres, d'identifier les zones et les superficies inondables dans le delta. La localisation des principales zones d'inondation permettra de focaliser les analyses de différents scénarios de montée des eaux sur ces secteurs.

1. Le traitement des images satellitales

La cartographie est réalisée à partir de deux images satellitaires Landsat ETM+ prises en deux saisons hydrologiques différentes : hautes et basses eaux (tabl. 28).

Tableau 28 : Quelques caractéristiques des images satellitaires utilisées

Images Landsat ETM+	Date de prise de vue	Résolution spatiale (m)	Période
Image 1	03 Octobre 1999	30 m	Hautes eaux
Image 2	21 Juin 2002	30 m	Basses eaux

Le traitement de ces images comprend plusieurs étapes. En ce qui concerne la ***correction géométrique***, nous avons utilisé la méthode « image à image » ; l'image de référence est une scène Landsat ETM+ de novembre 1999 couvrant le delta et déjà géoréférencée ; le principe consiste à repérer dans les deux images, des points de contrôle au sol ou « Ground Control Points (GCP) ». Pour ce faire, les intersections de routes ou pistes sont des repères privilégiés ; nous avons créé un fichier GCP d'une quarantaine de points. La précision recherchée est égale au $\frac{1}{2}$ pixel (15 m). La déformation des scènes à corriger n'étant pas grande, nous nous sommes limité au polynôme du premier ordre. Cette transformation a permis d'arriver à une précision dont l'écart moyen quadratique est de 14,56 m pour l'image d'octobre 1999 avec une sélection finale de 25 points GCP. L'image de juin 2002 a été corrigée avec un écart quadratique moyen de 11,2 m et avec une sélection finale de 14 points GCP.

Ensuite, nous avons procédé à la ***classification*** des images. Elle consiste à identifier et à regrouper en classes les mêmes types d'occupation/utilisation du sol à partir de leur signature spectrale. Nous avons utilisé la méthode de la classification supervisée avec la technique du « Maximum de Vraisemblance (Maximum Likelihood) ». La démarche consiste à choisir sur l'image des échantillons de chaque type d'occupation du sol (au moins 3 par thème) : ce sont les aires d'entraînement ou « training areas ». Cet exercice de sélection d'échantillons statistiques représentatifs, se base sur une bonne connaissance du milieu étudié. Une fois la sélection effectuée, la commande de classification est lancée.

Le recodage permet de corriger manuellement les erreurs de classification introduite par des reflectances proches pour deux thèmes différents : les classes erronées sont sélectionnées et le code souhaité leur est affecté manuellement. *Le filtrage* est appliqué en vue d'homogénéiser les classes en minimisant celles de petite taille qui sont disséminées dans l'espace étudié.

Nous avons utilisé la technique du « standard convolution » avec une maille (Kernel size) de 5-X-5 pixels.

Toutes ces étapes précédentes sont réalisées avec le logiciel CHIPS sous Windows version 4.7 de l’Institut de Géographie de l’Université de Copenhague (IGUC). L’image classifiée est ensuite exportée sous format TIF, transférée et vectorisée sous Arc View GIS, où la carte est finalisée avec intégration des différentes couches vectorielles, définition de l’échelle, calcul des superficies, etc.

2. Les résultats

Les résultats montrent vingt classes diversement réparties dans la zone d’étude (tabl. 29)

Tableau 29 : Superficie des différentes classes d’occupation/utilisation du sol dans le delta du fleuve Sénégal en 1999 (hautes eaux) et 2002 (basses eaux).

Thèmes	Superficie en 1999 (ha)	Superficie en 2002 (ha)
Plage sableuse	403 917	402 465
Fleuve	19 683	24 591
Océan	46 409	46 383
Mangroves	1 105	818
Végétation aquatique	55 296	44 354
Steppe arbustive	520 065	560 461
Riziculture	45 579	4 050
Canne à sucre	11 236	9 248
Cuvettes	30 277	71 718
Sable dunaire	6 252	5 417
Tannes	107 799	29 270
Culture sous pluie	368 679	-
Sol dénudé	-	323 979
Plantation	991	925
Eau temporaire/vasières nues	50 293	144 675
Savane arbustive	5 678	4 029
Verger	64	105
Lac	25 216	24 799
Vallées/bas fonds	2 884	4 206
Eau d’irrigation ou de drainage	1 484	1 515

Les eaux temporaires (d'inondation) n'ont pas couvert l'ensemble des parties basses de la zone, pendant la crue d'octobre 1999 (fig. 78).

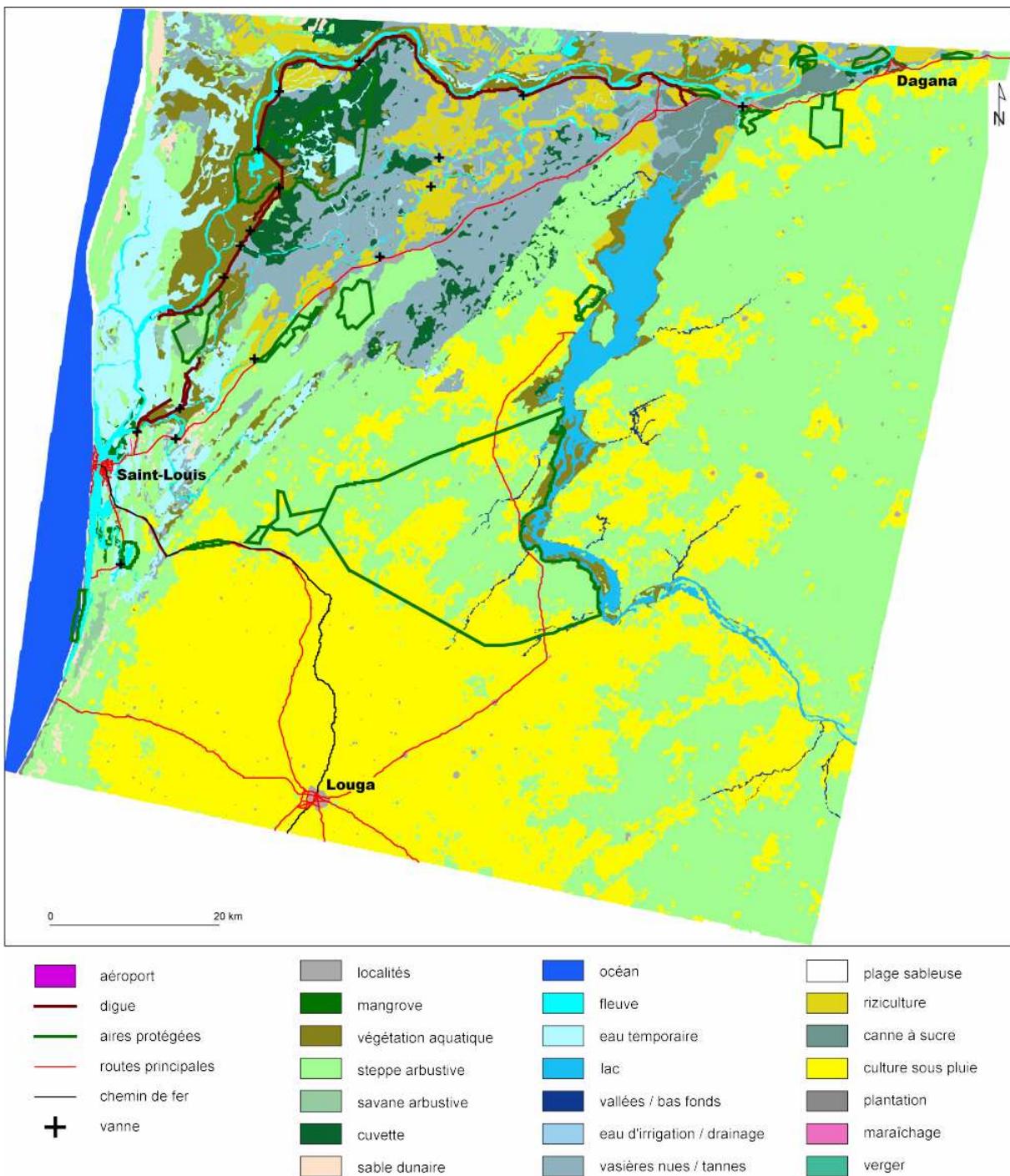


Figure 78 : Occupation/utilisation du sol dans la zone d'étude (Landsat ETM+, octobre 1999), M. Sall (2006)

Les superficies occupées par les vasières nues inondables sont presque trois fois plus importantes en période de basses eaux (juin 2002). Donc, seul le 1/3 des superficies inondables a été submergé pendant la crue de 1999 (fig. 79).

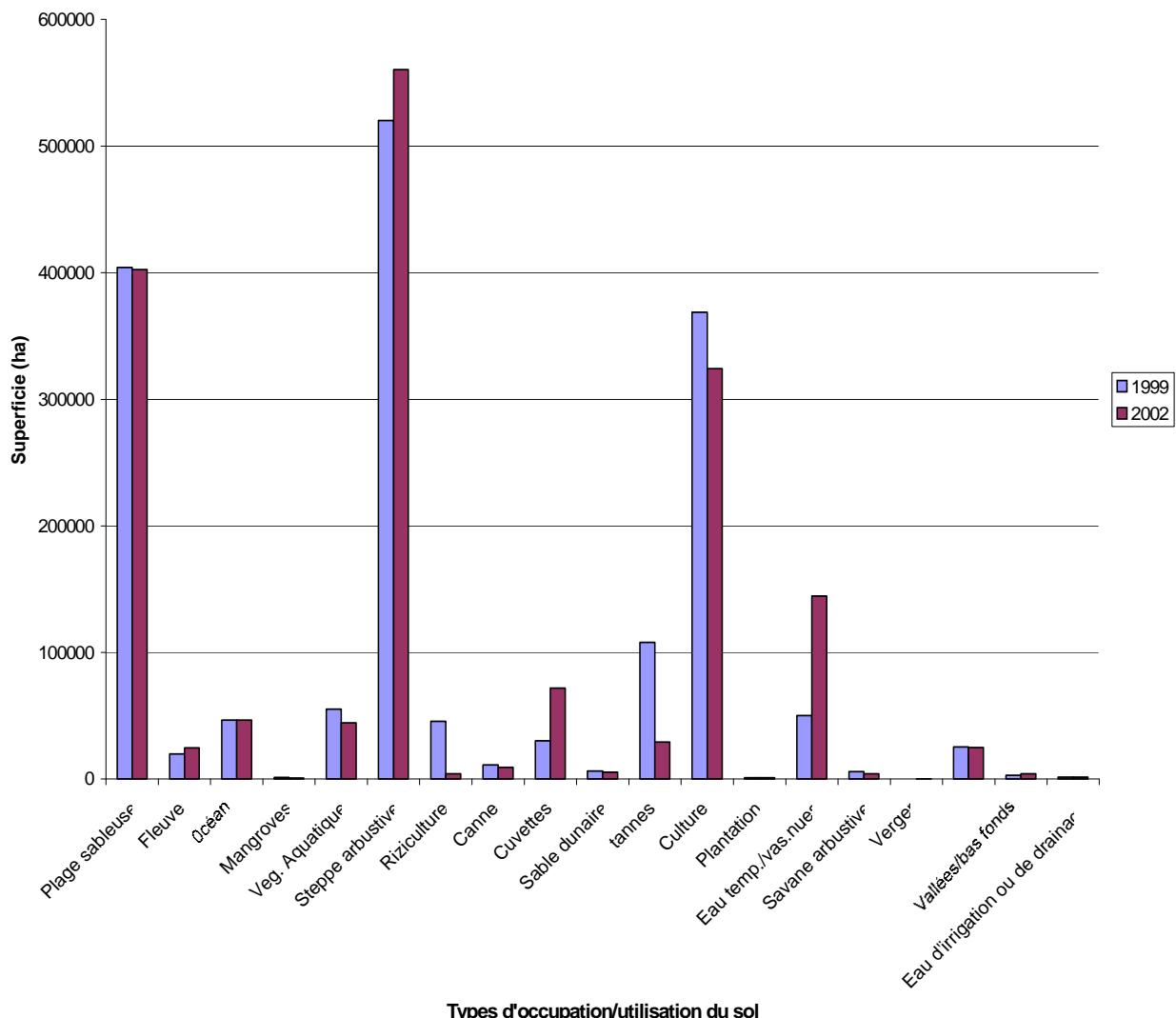


Figure 79 : Représentation graphique des superficies d'occupation/utilisation du sol en 1999 et 2002

M. Sall (2006)

Ceci s'explique par le réseau de digues et d'ouvrages réalisés dans la zone, justement pour contrôler les débordements des cours d'eau. Ainsi, les zones submergées se localisent aux alentours de la ville de Saint-Louis : elles concernent toute la partie basse située au nord de la ville, au sud-ouest de la Mauritanie. Cette zone n'est effectivement pas protégée par la digue de la rive gauche. Sur cette rive, les terres submergées sont localisées au nord-est de Saint-Louis entre le fleuve et la digue qui part de Dakar-Bango ; cette étendue marécageuse pratiquement inhabitée, marquée par la salinité des sols ne présente aucun intérêt pour l'agriculture. Elle subit les balancements de la marée qui entretient une mangrove relique et quelques espèces de plantes halophiles comme *Tamarix senegalensis* (fig. 80).

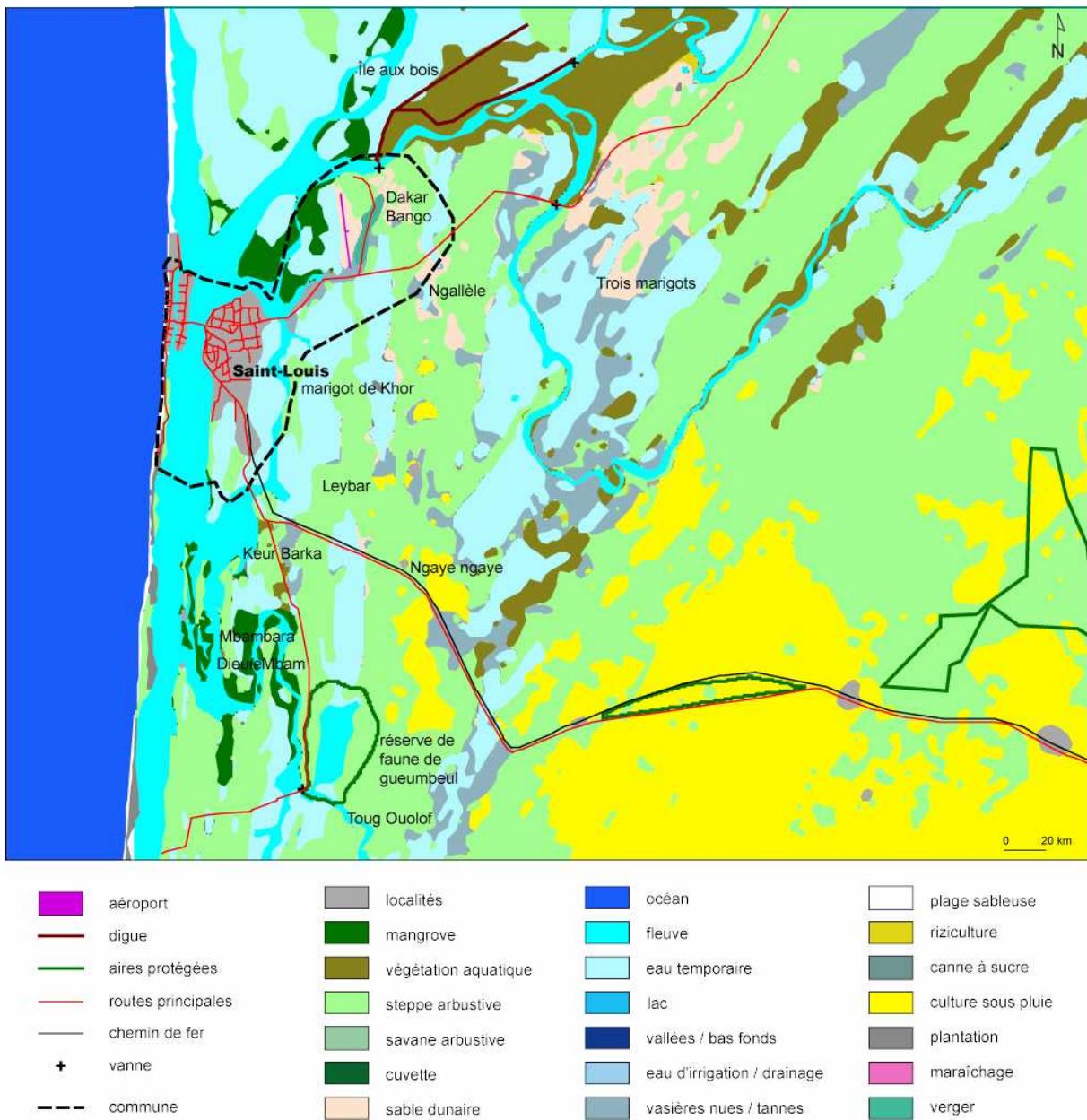


Figure 80 : Vue détaillée des zones d'inondation autour de la ville de Saint-Louis, M. Sall (2006)

La partie Est de la ville de Saint-Louis, de part et d'autre du marigot de Khor, est une zone inondable par les eaux de crue. Les quartiers de Khor, Darou, Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud, Médina Course sont sous l'influence du marigot de khor qui est un exutoire du fleuve Sénégal. Les quartiers de Sor Nord, Diamaguène, Léona et Pikine sont directement menacés par le fleuve Sénégal dont ils sont séparés par la route nationale n° 2. Les quartiers de l'Ile (Haut Nord, Centre Nord et Sud) sont aussi directement sous l'influence des deux bras du fleuve Sénégal. Les quartiers de la Langue de Barbarie (Goxu Mbacc, Haut Ndar Toute, Bas Ndar Toute, Bas Guet Ndar, Haut Guet Ndar) situés entre l'Océan Atlantique et le fleuve Sénégal sont directement sous l'influence des deux masses d'eau. Les villages de Leybar et de

Ngaye Ngaye, dans la communauté rurale de Gandon ne sont également pas à l'abri des inondations. Les quartiers périphériques de Ngallèle et Dakar-Bango peuvent être inondés par les eaux qui proviennent de la branche aval du Djeuss au nord et du Ngalam vers le sud ; ces eaux se rejoignent dans une zone dépressionnaire qui longe les deux quartiers. Les eaux débordant de la branche aval du marigot de Djeuss (au moment où il rejoint le fleuve Sénégal) et de la partie amont du marigot de khor, constituent une menace pour l'aéroport international de Saint-Louis. Le sud de la ville de Saint-Louis, également non endigué, est envahi par les eaux de crue, notamment dans le gandiolais et au niveau des dépressions situées aux alentours de la réserve de faune de Gueumbeul ; les villages localisés dans ce secteur (Keur Barka, Mbambara, DieuleMbam, Doun, Toug ouolof) sont fortement menacés (fig. 80).

La zone des trois marigots constitue aussi un lieu de propagation des eaux. La cuvette du Djoudj et ses différents lacs sont également envahis par les eaux de crue, à travers les marigots défluents du fleuve. Mais cette submersion est contrôlée par l'intermédiaire des ouvrages. Partout ailleurs, la situation est comparable à celle de la période de basses eaux de juin 2002 avec des zones de vasières nues destinées pour l'essentiel à la culture irriguée (fig. 81).

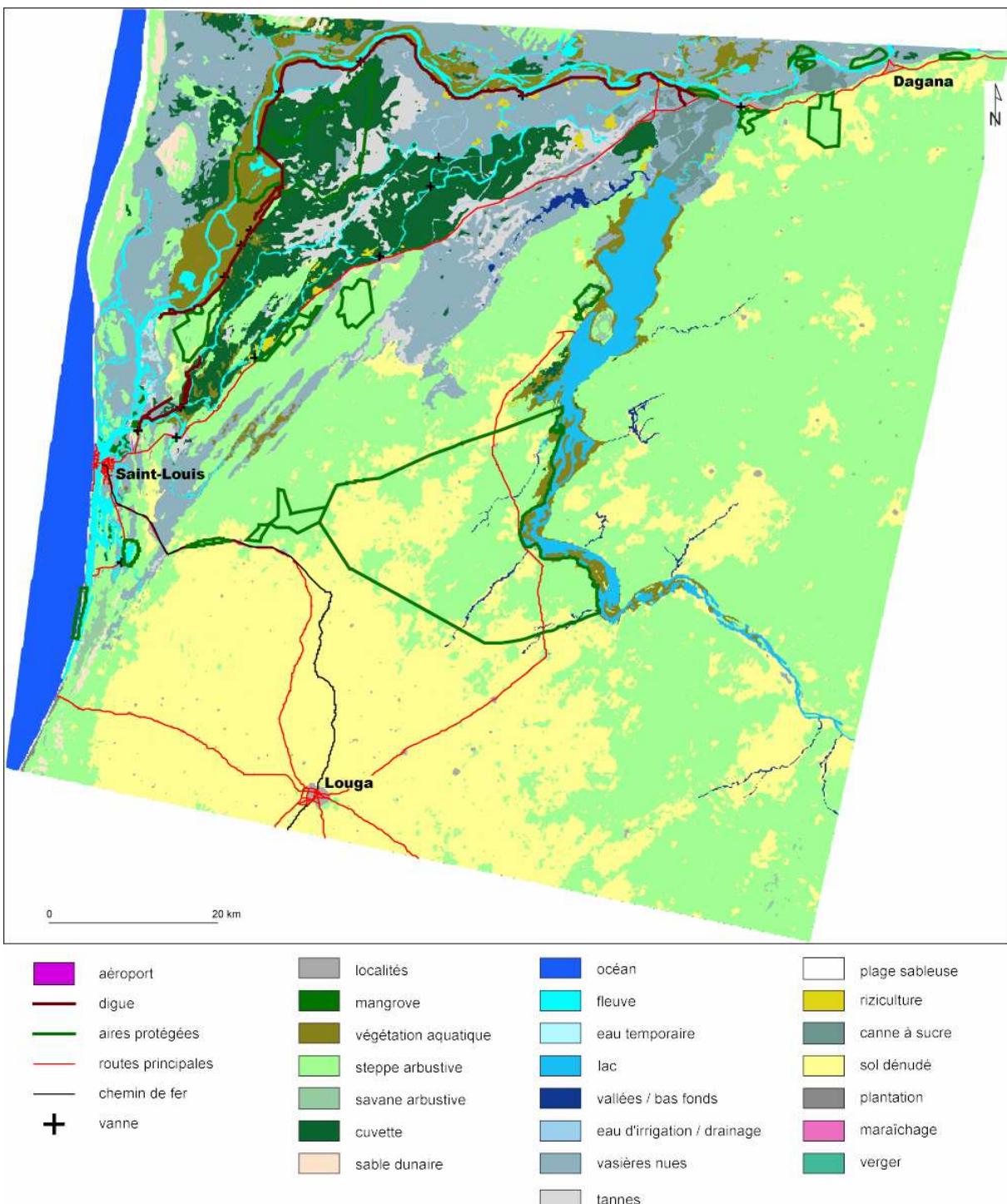


Figure 81 : Occupation/utilisation du sol dans la zone d'étude (Landsat ETM+, juin 2002), M. Sall (2006)

Par ailleurs, la surface occupée par la culture irriguée du riz est onze fois plus importante en période d'abondance des eaux (saison humide) qu'en saison sèche où seuls quelques périmètres sont exploités. Ce qui n'est pas le cas pour la canne à sucre qui conserve à peu près la même superficie sur les deux périodes.

Les cuvettes apparaissent presque deux fois et demi plus importantes en saison sèche qu'en période humide, une bonne partie d'entre elles étant submergée par les eaux de crue et/ou utilisée pour la culture du riz.

Les tannes (sols salés improches à l'agriculture) sont presque quatre fois plus étendus en hivernage qu'en période sèche où ils sont difficilement séparables des vasières nues.

La végétation aquatique s'étend légèrement un peu plus dans les zones d'inondation en période de crue.

La plus grande partie de la zone (plus de 500 000 ha) est occupée par une formation de steppe arbustive essentiellement dans les parties exondées du Diéri, plus propices à l'élevage extensif transhumant des bovins et des petits ruminants.

Les zones de culture sous pluies sont également très étendues, localisées essentiellement dans les terres du Diéri. En saison sèche 2002, elles correspondent surtout à des surfaces dénudées soumises à l'érosion éolienne.

Conclusion

La cartographie de l'occupation/utilisation du sol dans le delta du fleuve Sénégal fait ressortir essentiellement deux types d'espaces :

- ceux qui sont sous l'influence des eaux de crue du fleuve Sénégal ;
- et ceux qui sont en dehors de cette influence.

Les premiers espaces sont diversement répartis dans la zone deltaïque et sont surtout composés des cuvettes et des vasières. Les cuvettes qui sont surtout localisées au nord du delta peuvent occuper jusqu'à plus de 70 000 ha et constituent le lieu de la diversité biologique. Mais leur submersion est de plus en plus contrôlée par les digues et les ouvrages vannés. Par contre, les vasières sont réparties dans tout l'espace deltaïque et peuvent occuper près de 145 000 ha. Cependant, elles sont surtout mises en valeur dans la partie nord du delta à travers la culture irriguée ; dans ce cas, la submersion est surtout contrôlée. Dans la partie sud du delta, aux alentours de la ville de Saint-Louis, ces vasières sont périodiquement inondées par la montée des eaux. Elles se retrouvent également dans la commune et favorisent la stagnation des eaux de pluies. C'est ainsi que l'Est de la commune de Saint-Louis est sous l'influence des crues du fleuve Sénégal par l'intermédiaire de son exutoire, le marigot de khor. Les quartiers de Khor, Darou, Ndiolofène nord, Ndiolofène Sud, Médina Course, qui sont cernés par ce marigot, sont très fragilisés. Les villages de Leybar et de Ngaye ngaye, dans la communauté rurale de Gandon, sont également sous l'influence des eaux d'inondation de ce marigot. Les eaux de crue du fleuve Sénégal qui traverse la ville de Saint-Louis,

menacent directement les quartiers de Sor nord, Diamaguène, Léona et Pikine. Les quartiers de l'île (Haut Nord, Centre Nord, Sud) qui sont entourés par les deux bras du fleuve Sénégal sont directement sous l'influence de la crue. Sur la Langue de Barbarie, les quartiers de Goxu Mbacc, Haut Ndar Toute, Bas Ndar Toute, Bas Guet Ndar, Haut Guet Ndar qui sont situés entre l'Océan Atlantique et le fleuve Sénégal, sont directement sous l'influence de la montée des eaux marines (houle, marée) et de la crue. Les quartiers périphériques de Ngallèle et de Dakar-Bango sont longés par une zone dépressionnaire qui reçoit les eaux débordant de la branche aval du djeuss au nord et du Ngalam vers le sud. L'aéroport international de Saint-Louis est sous l'influence de la partie nord du marigot de Khor et de la branche aval du Djeuss au moment où elle rejoint le fleuve Sénégal. Les villages de Keur Barka, Mbambara, Dieulembam, Doun, Toug Ouolof, situés au sud de la ville de Saint-Louis, le long du fleuve Sénégal ou à proximité d'exutoires, sont également sous la menace des inondations.

Conclusion de la deuxième partie

Le delta est sous l'influence du fleuve Sénégal et de l'Océan Atlantique. L'eau est l'élément principal autour duquel s'articule tout un ensemble d'initiatives de développement ou d'activités génératrices de revenus (cultures irriguées, maraîchage, etc.). Mais c'est également le facteur d'inondation des localités côtières dont la plus importante est la commune de Saint-Louis avec ses 22 quartiers. Schématiquement, les inondations sont provoquées par le surplus d'eau qui ne parvient pas à l'embouchure et qui n'est pas évacué vers les cuvettes ou les vallées par le réseau de marigots défluents du fleuve Sénégal. A l'état naturel, le système hydrologique s'appuie sur ce réseau de marigots qui draine les eaux de crue jusque dans les vallées sillonnant le Ferlo. Une partie de cette eau s'infiltre pour alimenter la nappe phréatique qui se trouve à moins de 3 m de profondeur.

Les flux d'eau enregistrés dans le delta proviennent pour l'essentiel du haut bassin. Mais à l'image de la pluviométrie, ces valeurs sont variables dans le temps et dans l'espace ; on note des périodes d'abondance et de déficit hydrologiques. Le volume moyen mesuré à Bakel, entre 1904 et 2004 s'élève à plus de 26 milliards de mètres cubes. Cependant, au cours de la période d'abondance hydrologique notée entre 1904 et 1950 à Bakel, cette quantité s'élève à près de 43 milliards de mètres cubes. Elle n'est plus que de 14 milliards de mètres cubes à Bakel dans la période déficitaire 1968-2004. A Dagana, entre 1903 et 1989, l'écoulement moyen annuel dépasse 19 milliards de mètres cubes. Mais la période d'abondance

hydrologique 1950-1967 a fourni un écoulement moyen annuel de près de 25 milliards de mètres cubes. Par contre, la phase déficitaire 1968-1989 ne fournit plus que près de 14 milliards de mètres cubes. La période des hautes eaux est le moment critique pour l'inondation des localités côtières comme Saint-Louis. Dans cette ville, le fleuve déborde dans les quartiers dès que la cote d'alerte (140 cm IGN) est atteinte. Ce fut le cas en 1999 et 2003 où les niveaux d'eau ont atteint 150 cm IGN. C'est en ce moment également que les facteurs qui régissent la dynamique marine (courants marins, mousson, etc.) entraînent une élévation du niveau de la mer qui contribue à freiner l'évacuation de la crue et augmente les risques d'inondation de la commune. L'élévation prévue du niveau de la mer d'ici à 2100 va accentuer ce phénomène. Nous aborderons plus en détail cet aspect dans la troisième partie. L'artificialisation du système hydrologique a considérablement modifié les conditions de submersion des terres dans le delta. La digue de la rive gauche construite en 1964, empêche l'inondation naturelle des cuvettes et de la plaine alluviale de manière générale ; des ouvrages vannés placés sur cette digue et au niveau des marigots défluents, contrôlent les transferts d'eau. Les vallées qui prolongeaient le système d'évacuation des eaux vers le Ferlo se sont fossilisées. La mise en place des barrages antisel de Diama en 1985 et hydroélectrique de Manantali en 1988 renforce ce processus. Le lit majeur du fleuve est réduit ainsi que les pertes d'eau en amont. En aval, l'évacuation de la crue est également entravée par l'obstruction progressive du chenal menant vers l'embouchure du fait des milliers de tonnes de sédiments fins qui y sont déposés annuellement. De même, l'extension progressive de la Langue de Barbarie liée à la sédimentation induite par la dérive littorale, augmente le temps de transit des eaux de crue et par conséquent les risques de submersion des localités côtières.

Les zones soumises aux inondations périodiques liées directement au débordement du fleuve Sénégal ou par l'intermédiaire de ces exutoires associé à l'élévation du niveau de la mer, sont localisées dans la commune de Saint-Louis et sa périphérie. Les données d'altitude sont nécessaires pour évaluer les niveaux d'inondation de ces zones en fonction des hauteurs d'eau considérées. Nous n'avons pu en disposer qu'au niveau d'une partie de la commune de Saint-Louis, sa partie sud n'étant pas entièrement couverte. La commune de Saint-Louis qui regroupe 38% de la population est la principale agglomération du delta. Nous analyserons ainsi au niveau de la commune, les superficies inondées, le nombre de personnes affectées ainsi que les impacts des différents niveaux de montée combinée des eaux du fleuve et de l'Océan Atlantique. C'est l'objet de la troisième partie.

Troisième partie

Scénarios d'élévation du niveau des eaux : impacts potentiels sur la ville de Saint-Louis - mesures d'adaptation

Dans cette troisième partie, nous analyserons les impacts de la montée combinée des eaux du fleuve Sénégal et de l’Océan Atlantique dans la commune de Saint-Louis. En effet, la période de crue du fleuve Sénégal correspond à celle d’élévation saisonnière du niveau de la mer. Les eaux du fleuve commencent à déborder sur la ville dès que la cote d’alerte (1,40 m IGN) est atteinte. Mais des niveaux d’eau exceptionnellement élevés peuvent être atteints, de manière périodique, du fait des crues décennale et centennale. Par ailleurs, le niveau de la mer va s’élèver à l’échelle mondiale, d’ici à 2100, en rapport avec le réchauffement global de la planète lié aux changements climatiques. Nous considérerons la cote d’alerte et les crues décennale et centennale à l’état actuel ; puis nous les combinerons aux niveaux d’élévation prévue de la mer dans un pronostic bas, moyen et élevé. Ce qui correspond à douze scénarios d’élévation du niveau des eaux à partir desquels nous déterminerons, à l’aide du modèle numérique de terrain sur la commune et des données démographiques, les superficies inondées, le nombre de concessions affectées et le nombre de personnes sinistrées. Pour ce faire, nous utiliserons les techniques d’analyse spatiale du Système d’Information Géographique (SIG) du logiciel ArcView 3.3. Nous analyserons également les impacts des inondations liés aux équipements et infrastructures des différents quartiers, aborderons leur sensibilité et leur vulnérabilité par rapport à la montée des eaux et proposerons des mesures d’atténuation.

I. Les scénarios d’élévation du niveau des eaux

1. L’élévation du niveau de la mer : les prévisions des modèles

Les modèles climatiques permettent de simuler les réactions du système climatique à différents scénarios concernant l’évolution future des agents de forçage. Ils reposent sur des lois physiques représentées par des équations mathématiques résolues au moyen d’une grille tridimensionnelle couvrant l’ensemble du globe (GIEC, 2001). L’élaboration de modèles fiables requiert ainsi une bonne compréhension des processus physiques, géophysiques, chimiques et biologiques qui régissent le système climatique. Plusieurs facteurs déterminants dans les variations du climat tels que la vapeur d’eau, les nuages, la stratosphère (en particulier les processus radiatifs et dynamiques qui s’y déroulent et les modifications de sa structure), l’océan, la cryosphère, les terres émergées, le cycle du carbone, ont été progressivement intégrés dans les modèles (fig. 82).

Etablissement de modèles climatiques — passé, présent et futur

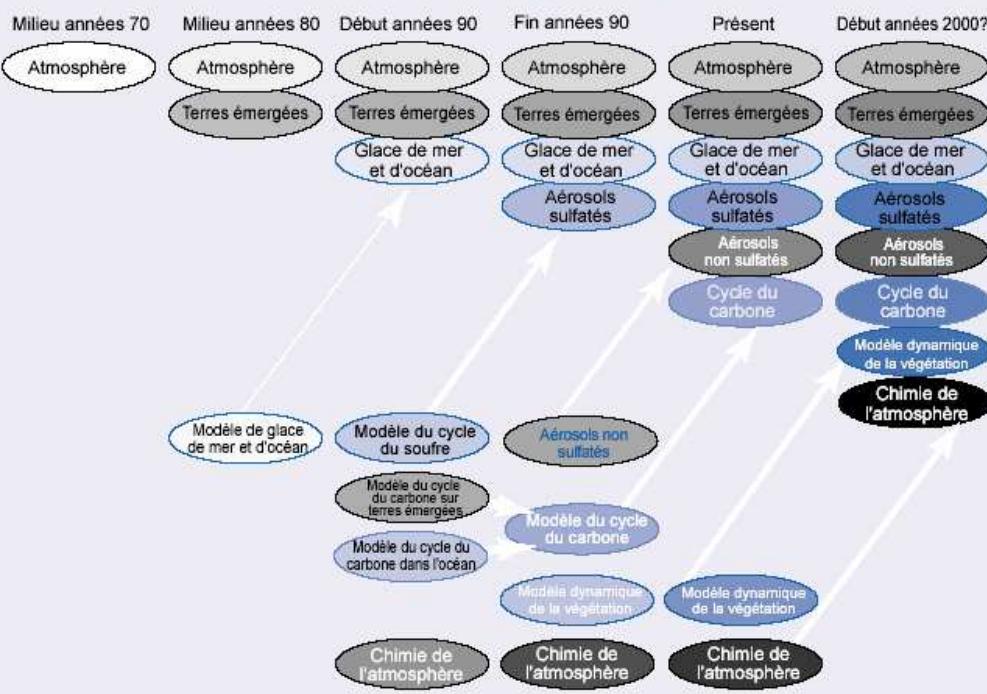


Figure 82 : Elaboration des modèles climatiques au cours des 25 dernières années, montrant comment les différentes composantes ont d'abord été modélisées séparément avant d'être couplées dans des modèles globaux, *in GIEC, 2001*.

Trois catégories de modèles sont élaborées par le GIEC :

- les Modèles de la Circulation Générale couplés Atmosphère-Océan (MCGAO) ; leur résolution est élevée et variable ; les modèles types de la composante atmosphérique ont une résolution de 250 km dans le plan horizontal et d'environ 1 km dans le plan vertical au dessus de la couche limite ; tandis que les modèles types de la composante océanique possèdent une résolution de 200 à 400 m dans le plan vertical et d'environ 125 à 250 km dans le plan horizontal ;
- les Modèles Climatiques Régionaux (MCR) ou modèles à grilles emboîtées ou à domaine limité ;
- les méthodes empiriques-statistiques et statistiques-dynamiques.

Ces différents modèles présentent des avantages et des inconvénients et sont utilisés en fonction des besoins de chaque application. Les MCGAO à faible résolution simulent généralement assez bien les caractéristiques de la circulation générale de l'atmosphère tandis que les performances des MCGA à haute résolution ou à résolution variable s'améliorent à mesure que la résolution augmente. Néanmoins, de nombreux processus physiques liés aux

nuages par exemple et aux convections océaniques se déroulent à des échelles spatiales bien inférieures à la grille des modèles et ne peuvent ainsi être modélisés explicitement.

Les modèles couplés fournissent des simulations plausibles du climat (jusqu'au niveau sous continental) à des échelles de temps allant de la saison à la décennie, constituant ainsi des outils utiles dans la connaissance du climat futur.

La fiabilité des modèles climatiques s'est largement accrue suite aux progrès considérables réalisés aussi bien dans la composante atmosphérique que dans la composante océanique.

Les modèles se basent sur des scénarios d'évolution future des agents de forçage (gaz à effet de serre, aérosols) en vue d'établir un ensemble de projections décrivant les changements futurs du climat. Un scénario est une description vraisemblable, cohérente et intrinsèquement homogène d'un état futur du globe (GIEC, 2001). Les scénarios climatiques qui décrivent le facteur de forçage se distinguent des scénarios non climatiques qui définissent le contexte socio-économique et environnemental dans lequel survient ce forçage.

Quarante scénarios sont décrits dans le rapport spécial du GIEC (sur les scénarios d'émissions), élaboré en 1996 et approuvé en 2000 (Annexe 2); ils remplacent les scénarios IS92 ; trente cinq d'entre eux contiennent des données sur la gamme complète des gaz nécessaires au forçage des modèles climatiques. Ils sont basés sur quatre canevas (A1B, A2, B1, B2) et répartis en six grands groupes (A1B, A1T, A1F1, A2, B1, B2).

Sur la base de ces scénarios, des projections sont faites sur l'évolution future de différents facteurs et éléments de changements du climat (émissions de gaz à effet de serre, température, précipitations, conditions météorologiques extrêmes, élévation du niveau de la mer, etc.).

L'élévation du niveau de la mer restera fortement liée à l'évolution des facteurs qui influencent les fluctuations du climat. Les résultats des modèles qui prennent en compte la gamme complète des 35 scénarios du SRES prévoient une élévation moyenne de 0,09 m à 0,88 m du niveau de la mer entre 1990 et 2100 (fig. 83).

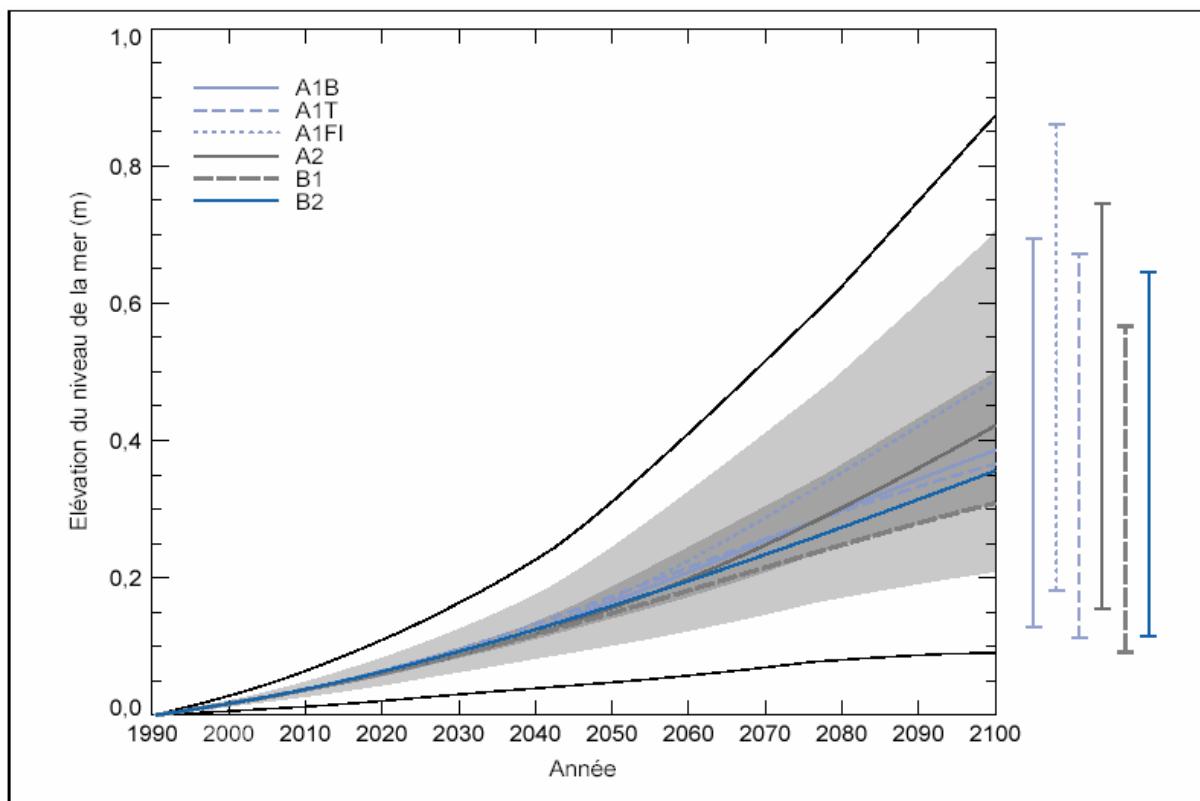


Figure 83 : Elévation moyenne mondiale du niveau de la mer, de 1990 à 2100 pour les scénarios du SRES. D'après GIEC, 2001.

Mais la simulation des MCGAO par groupe de scénarios montre une gamme très variée de résultats allant de **0,11 m** pour les plus faibles prévisions à **0,77 m** pour les plus fortes valeurs. Cette variabilité au niveau des résultats traduit l'incertitude liée à la modélisation. De ce fait, pour bien tenir compte de ce facteur, nous considérerons ces extrêmes pour la suite, avec un niveau intermédiaire de **0,5 m**.

Cette élévation proviendrait essentiellement des facteurs suivants :

- la dilatation thermique qui contribuera pour 0,11 m à 0,43 m et qui va s'accélérer tout le long du 21^{ème} siècle ;
- les glaces qui vont engendrer une élévation de 0,01 m à 0,23 m ;
- le Groenland qui contribuera sur un intervalle de – 0,02 m à + 0,09 m ;
- l'Antarctique qui contribuera sur un intervalle de – 0,17 m à + 0,02 m.

Le taux moyen d'élévation prévu du niveau de la mer est à peu près 2 à 4 fois supérieur à celui observé au cours du 20^{ème} siècle. Cependant, ces prévisions sont légèrement plus faibles par rapport au deuxième rapport du GIEC de 1995 (0,13 m à 0,94 m entre 1990 et 2100) grâce à la meilleure précision des modèles qui prévoient une contribution plus modeste des nappes et calottes glaciaires.

Au-delà du 21^{ème} siècle, l’élévation du niveau de la mer reste fortement liée aux scénarios d’émission. Mais même si les concentrations des gaz à effet de serre se stabilisaient à leur niveau actuel, le niveau de la mer continuerait à augmenter encore pendant des siècles.

2. Analyse fréquentielle des hauteurs d’eau du fleuve à Saint-Louis

Nous envisageons dans ce paragraphe de déterminer, par des méthodes statistiques, la fréquence de dépassement et la période de retour de la cote d’alerte ainsi que les crues décennale et centennale à Saint-Louis qui seront utilisées dans les scénarios de montée des eaux. Les crues décennale et centennale sont calculées à partir des hauteurs d’eau maximales annuelles du fleuve à Saint-Louis entre 1964 et 2003.

2.1. Hypothèse

La variabilité naturelle des conditions climatiques, malgré l’artificialisation de plus en plus poussée des flux dans le bassin du fleuve Sénégal, reste un paramètre essentiel dans les fluctuations du niveau des eaux du fleuve qui, combiné avec l’élévation du niveau de la mer, peut entraîner l’inondation des zones basses. Le niveau des eaux dans le delta prend ainsi une valeur aléatoire suivant l’interaction de plusieurs facteurs naturels et anthropiques. C’est pourquoi, il importe à partir de l’analyse statistique des séries de données hydrologiques, de déterminer des seuils critiques de valeurs qui entraînent des risques de submersion ainsi que leurs fréquences d’apparition. A partir de ce moment, d’autres outils comme le modèle numérique de terrain (MNT) et les données socio-économiques permettent d’identifier les impacts potentiels de ces événements.

L’analyse porte sur les hauteurs d’eau maximales annuelles enregistrées à Saint-Louis entre 1964 et 2003 (tabl. 30).

Tableau 30 : Hauteurs d'eau maximale à Saint-Louis (1964-2003)

Années	Cote maximale (cm IGN)	Date	Années	Cote maximale (cm IGN)	Date	Années	Cote maximale (cm IGN)	Date
1964	247,5	31/10	1983	60,5	08/09	1994	126,5	07/10
1965	288,5	26/10	1984	53,5	26/09	1995	120,5	08/10
1969	189,5	29/10	1985	88,5	26/09	1996	94,5	13/09
1970	172,5	12/10	1986	89,5	03/10	1997	128,5	19/09
1971	186,5	12/10	1987	61,5	07/10	1998	142,5	09/10
1972	74,5	24/10	1988	108,5	25/09	1999	149,17	18/10
1973	135,5	17/09	1989	97,5	16/09	2000	114,29	28/09
1979	62,5	08/09	1990	67,5	04/09	2001	125,92	22/09
1980	72,5	27/09	1991	92,5	18/09	2002	103,5	25/09
1981	83,5	31/08	1992	100,5	24/09	2003	149,5	04/10
1982	78,5	18/09	1993	107,5	18/09			

L'objectif est de déterminer la fréquence d'apparition de la cote d'alerte à Saint-Louis (calée à 1,40 m IGN), à partir de laquelle l'eau du fleuve commence à déborder dans la commune de Saint-Louis. Il s'agit également de déterminer les valeurs des crues décennale et centennale qui seront combinées aux niveaux prévus d'élévation de la mer pour identifier les zones inondables à partir du MNT. Pour ce faire, nous allons assimiler la distribution réelle des données à une distribution théorique normale ou Gaussienne (Annexe 2), autrement dit en partant de l'hypothèse nulle (H_0) selon laquelle, il n'y a pas de différence significative entre la distribution réelle ($F_s(x)$) des données et la distribution théorique ($F(x)'$) à un niveau de confiance α . Le test de Kolmogorov-Smirnov ou test K-S nous permet de vérifier cette hypothèse.

Nous nous fixons une valeur de $\alpha = 0,05$ qui signifie que le test est censé être faux dans 5% des cas et vrai dans 95% des cas. La différence entre la fréquence de non dépassement réelle de chaque donnée et la fréquence estimée, à partir de la distribution théorique, permet d'appréhender la relation entre les deux distributions. La valeur absolue de la différence maximale entre les deux distributions $D_{\max} = \max (F_s(x) - F(x)')$ est comparée à une valeur critique de D_n, α dans la table (tabl. 31).

Tableau 31 : Valeur critique de D pour le test de Kolmogorov-Smirnov (d'après Lilliefors, 1967)

Taille de l'échantillon (n)	α			
	0,15	0,10	0,05	0,01
4	0,319	0,352	0,381	0,417
5	0,299	0,315	0,337	0,405
6	0,277	0,294	0,319	0,364
7	0,258	0,276	0,300	0,348
8	0,244	0,261	0,285	0,331
9	0,233	0,249	0,271	0,311
10	0,224	0,239	0,258	0,294
11	0,217	0,230	0,249	0,284
12	0,212	0,223	0,242	0,275
13	0,202	0,214	0,234	0,268
14	0,194	0,207	0,227	0,261
15	0,187	0,201	0,220	0,257
16	0,182	0,195	0,213	0,250
17	0,177	0,189	0,206	0,245
18	0,173	0,184	0,200	0,239
19	0,169	0,179	0,195	0,235
20	0,166	0,174	0,190	0,231
25	0,153	0,165	0,180	0,203
30	0,136	0,144	0,161	0,187
> 30	$0,768/\sqrt{n}$	$0,805/\sqrt{n}$	$0,886/\sqrt{n}$	$1,031/\sqrt{n}$

La valeur de la différence critique dépend de la taille de l'échantillon n et du niveau de confiance choisi. Si la différence maximale est inférieure à la valeur critique, $D_{\max} < D_{n,\alpha}$, l'hypothèse nulle est vérifiée : il n'y a pas de différence significative entre les deux distributions. Par contre, si $D_{\max} > D_{n,\alpha}$, l'hypothèse nulle n'est pas vérifiée c'est-à-dire que dans 95% des cas, les données ne correspondent pas à la distribution théorique.

Les données sont classées par ordre croissant (tabl. 32). Un rang m est affecté à chaque observation : $m = 1$ pour la première et $m = n = 32$ pour la dernière. La fréquence de non-dépassement réelle $F_s(x)$ est calculée selon la formule de Weibull (Thompson, 1999) :

$F_s(x) = m/n+1$. La fréquence théorique $F(x)'$ est calculée selon la loi normale définie sous le logiciel Excel par la moyenne et l'écart-type :

`LOI.NORMALE(C3;I2;J2;VRAI) = LOI.NORMALE(x;moyenne;écart-type;cumulative)`

Tableau 32 : Test de Kolmogorov-Smirnov à $\alpha = 0,05$

Années	Rang	Cote maximale (cm IGN)	Fréquence réelle ($F(x)$)	Fréquence théorique ($F(x')$)	$D = F(x) - F(x')$	Moyenne	Ecart-type	
1984	1	53,5	0,030	0,116	0,086	118	54	
1983	2	60,5	0,061	0,143	0,083			
1987	3	61,5	0,091	0,148	0,057	D_{\max}		$D_n, \alpha = 0,886/\sqrt{32}$
1979	4	62,5	0,121	0,152	0,031	0,120	0,157	0,157
1990	5	67,5	0,152	0,175	0,023			
1980	6	72,5	0,182	0,200	0,018			
1972	7	74,5	0,212	0,210	0,002			
1982	8	78,5	0,242	0,232	0,010			
1981	9	83,5	0,273	0,261	0,011			
1985	10	88,5	0,303	0,292	0,011			
1986	11	89,5	0,333	0,299	0,035			
1991	12	92,5	0,364	0,318	0,045			
1996	13	94,5	0,394	0,332	0,062			
1989	14	97,5	0,424	0,352	0,072			
1992	15	100,5	0,455	0,373	0,082			
2002	16	103,5	0,485	0,394	0,091			
1993	17	107,5	0,515	0,423	0,092			
1988	18	108,5	0,545	0,430	0,115			
2000	19	114,29	0,576	0,473	0,103			
1995	20	120,5	0,606	0,518	0,088			
2001	21	125,92	0,636	0,558	0,078			
1994	22	126,5	0,667	0,563	0,104			
1997	23	128,5	0,697	0,577	0,120			
1973	24	135,5	0,727	0,627	0,100			
1998	25	142,5	0,758	0,675	0,083			
1999	26	149,17	0,788	0,718	0,070			
2003	27	149,5	0,818	0,720	0,098			
1970	28	172,5	0,848	0,844	0,005			
1971	29	186,5	0,879	0,898	0,019			
1969	30	189,5	0,909	0,907	0,002			
1964	31	247,5	0,939	0,992	0,052			
1965	32	288,5	0,970	0,999	0,030			

La différence maximale entre les deux distributions est intervenue en 1997. $D_{\max} = 0,120$ est inférieure à $D_n, \alpha = 0,157$, donc l'hypothèse nulle est vérifiée : la distribution réelle des données peut être assimilée à une distribution normale dans 95% des cas.

2.2. La fréquence de dépassement de la cote d'alerte à Saint-Louis

Le tracé des histogrammes de fréquence permet de mieux comprendre l'organisation et la répartition des données. Ces dernières sont regroupées dans des classes dont le nombre m est déterminé par la formule $m = \sqrt{n}$ (Thompson, 1999).

$$n = 32, \text{ d'où } m = \sqrt{32} \approx 6$$

Les seuils des classes sont déterminés par les cotes maximales et minimales à Saint-Louis entre 1964 et 2003. Sur cette période, la valeur de crue minimale à Saint-Louis $H_{\min} = 53,5$ cm IGN (en 1984) tandis que la cote maximale $H_{\max} = 288,5$ cm IGN (en 1965). Nous déterminons ainsi 6 classes entre 50 et 300 cm IGN avec un pas de 50 (tabl. 33) de manière à ce que chaque observation se retrouve sans ambiguïté dans une classe et une seule.

Tableau 33 : Fréquence relative et fréquence cumulée des hauteurs maximales de crue à Saint-Louis

Classes de fréquence	Nombre d'observations	Fréquence relative	Fréquence cumulée	Fréquence de non-dépassement	Fréquence de dépassement	Péodicité (ans)
0 - 50	0	0	0	0	1	1,00
50 - 100	14	0,44	14	0,44	0,56	1,78
100 - 150	13	0,41	27	0,84	0,16	6,40
150 - 200	3	0,09	30	0,94	0,06	16,00
200 - 250	1	0,03	31	0,97	0,03	32,00
250 - 300	1	0,03	32	1	0	

L'histogramme est une représentation graphique du nombre d'observation par classe (fig. 84).

L'essentiel des observations (27 sur 32) est compris entre 50 et 150 cm IGN.

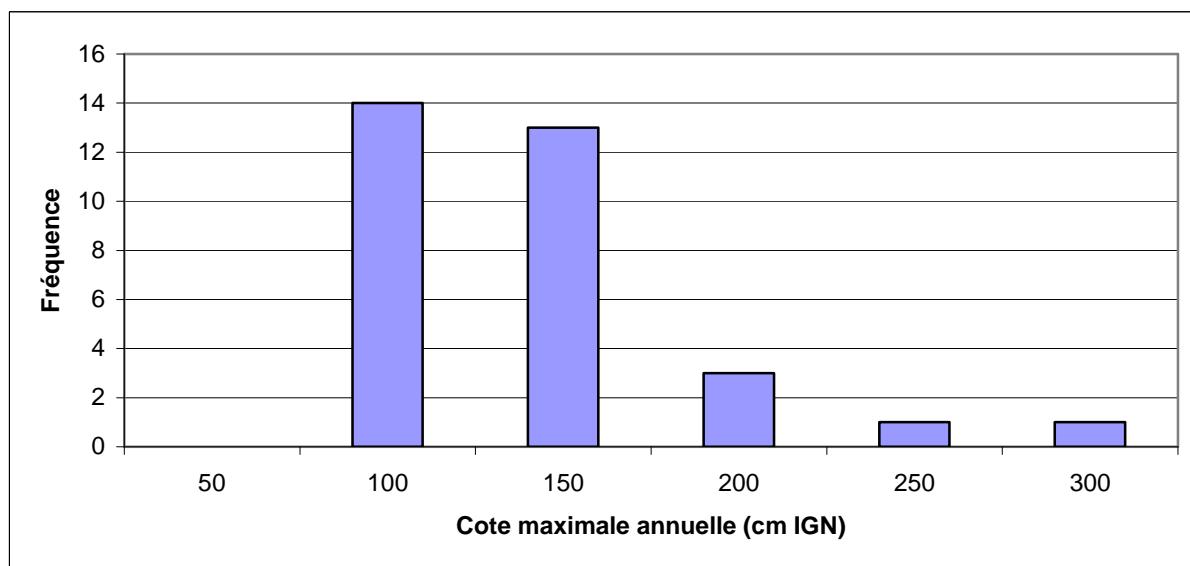


Figure 84 : Histogramme de fréquence des hauteurs maximales de crue à Saint-Louis, M. Sall (2006)

La fonction fréquence relative $f_s(x_i)$ est obtenue en divisant le nombre d'observations de chaque classe par le nombre total d'observation : $f_s(x_i) = \frac{ni}{n}$.

L'histogramme de fréquence relative qui en découle donne la probabilité d'une valeur de hauteur maximale annuelle de crue de se trouver dans un intervalle de classe donné (fig. 85).

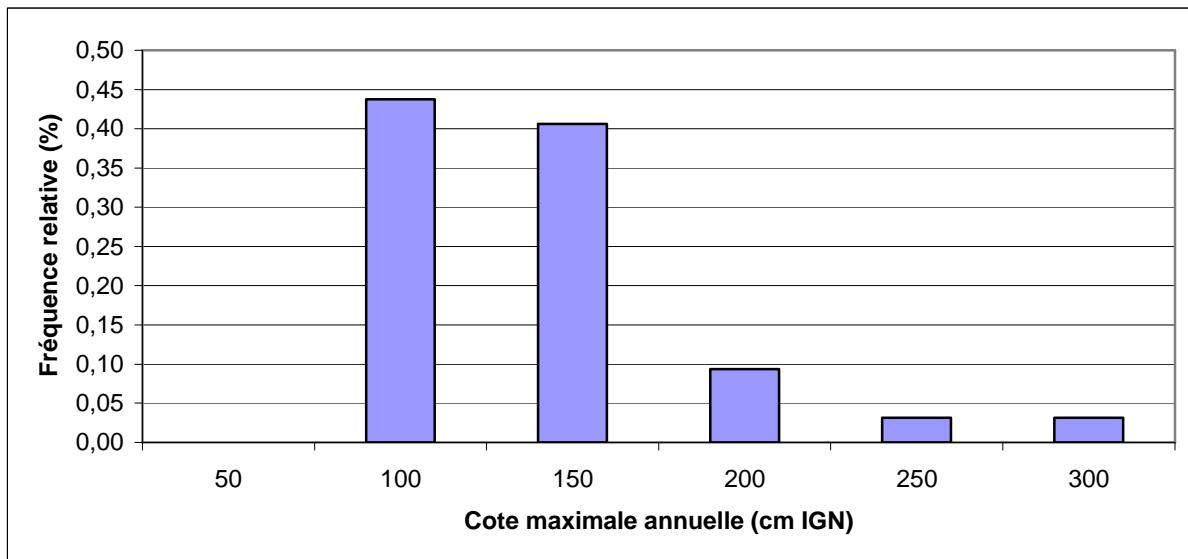


Figure 85 : Histogramme de fréquence relative des cotes maximales à Saint-Louis, M. Sall (2006)

Ainsi, la probabilité, pour une année donnée, d'atteindre une valeur maximale de crue comprise entre 100 et 150 cm IGN (qui inclut la cote d'alerte à Saint-Louis : 140 cm IGN) est de 0,41 (soit 41% de chance). Par ailleurs, il y'a seulement 3% de chance d'obtenir à Saint-Louis une cote maximale comprise entre 250 et 300 cm IGN.

La somme des fréquences relatives des différentes observations définit la fonction fréquence cumulée $F_s(x)$:

$$F_s(x_i) = \sum_{j=1}^i f_s(x_j) \quad (\text{fig. 86})$$

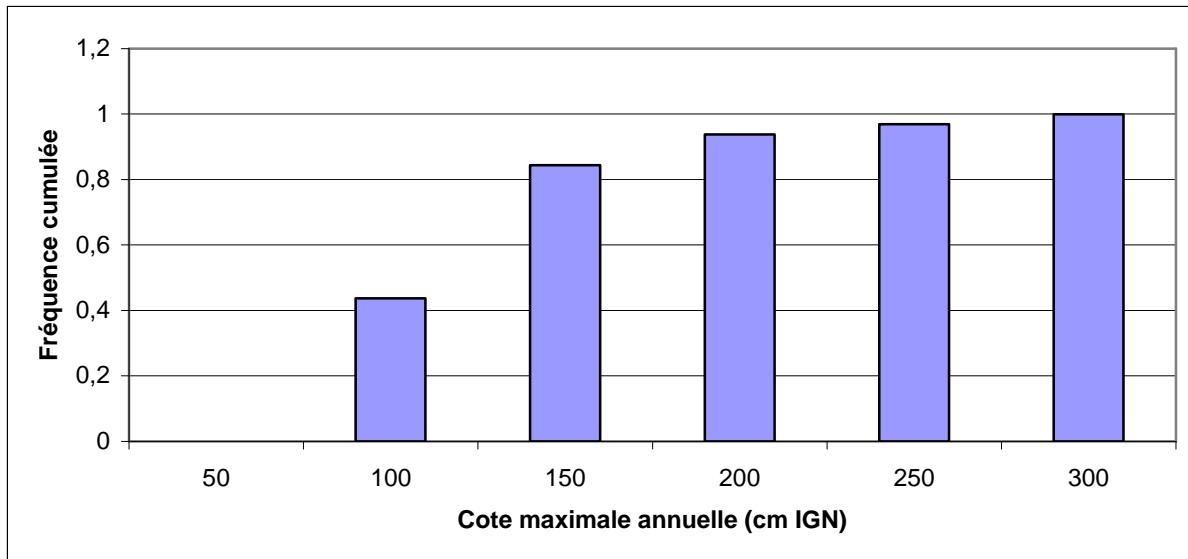


Figure 86 : Histogramme de fréquence cumulée des cotes maximales à Saint-Louis, M. Sall (2006)

Cette fonction détermine la probabilité q d'une observation d'être inférieure ou égale à une valeur donnée (fréquence de non-dépassement : tabl. 33). Ainsi, la probabilité de la hauteur maximale de crue à Saint-Louis de ne pas dépasser le seuil de 150 cm IGN (qui inclut la cote d'alerte) est de 0,84 (soit 84%). En outre, 97% des cotes maximales annuelles ne dépassent pas 250 cm IGN tandis qu'aucune valeur n'est supérieure à 300 cm IGN (tabl. 33).

La probabilité de dépassement p en est ainsi déduite comme suit :

$$p = 1 - q.$$

Ainsi, le seuil de 150 cm IGN a 16% de chance d'être dépassée chaque année tandis que 56% des hauteurs maximales de crue à Saint-Louis se situent entre 50 et 100 cm IGN.

La transformation z des données va permettre de calculer plus précisément la fréquence de dépassement de la cote d'alerte à Saint-Louis :

$$z = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma} = \frac{(140 - 118)}{54} = 0,41$$

La table standard de probabilité cumulée pour une distribution normale donne, pour cette valeur de z , une probabilité de non dépassement $p = 0,6591$ (tabl. 34).

Tableau 34 : Probabilité cumulée pour une distribution normale

<i>z</i>	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,10	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,20	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,30	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,40	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,50	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,60	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,70	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,80	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,90	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,00	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,10	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,20	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,30	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,40	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,50	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,60	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,70	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,80	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,90	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,00	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,10	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,20	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,30	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,40	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,50	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,60	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,70	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,80	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,90	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,00	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,10	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,20	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,30	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,40	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

La probabilité de dépassement $q = 1 - 0,6591 = 0,3409$.

Il y'a ainsi 34% de chance que la cote d'alerte soit dépassée une fois par an à Saint-Louis.

La périodicité ou le temps de récurrence T d'une hauteur maximale de crue donnée correspond à l'inverse de la probabilité de dépassement de cette crue :

$$T = \frac{1}{p}$$

Elle correspond en moyenne à l'apparition de la valeur donnée comme **maximum annuel** toutes les T années.

$$\text{Pour la cote d'alerte, } T = \frac{1}{0,3409} \cong 3$$

Ainsi, la cote d'alerte (140 cm IGN) a une probabilité de retour de 3 ans comme hauteur maximale de crue à Saint-Louis.

2.3. Les crues décennale et centennale à Saint-Louis

La crue décennale est, par définition, la hauteur de crue qui n'intervient en moyenne qu'une

fois en 10 ans. D'où $p = \frac{1}{10} = 0,1$ et la probabilité de non dépassement $q = 1 - 0,1 = 0,9$

La valeur de z lue (qui s'en rapproche le plus) pour $q = 0,9$ dans la table standard de probabilité cumulée pour une distribution normale est $z = 1,28$.

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,10	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,20	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,30	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,40	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,50	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,60	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,70	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,80	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,90	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,00	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,10	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,20	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,30	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,40	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,50	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,60	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,70	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,80	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,90	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,00	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,10	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,20	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,30	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,40	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,50	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,60	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,70	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,80	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,90	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,00	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,10	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,20	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,30	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,40	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998	

La standardisation donne :

$$z = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma} \text{ d'où } x_i = (z * \sigma) + \bar{x} = (1,28 * 54) + 118 = 187,12 \text{ cm IGN}$$

La crue décennale à Saint-Louis est de 187,12 cm IGN. On obtient la crue centennale selon le même principe avec respectivement $p = 0,01$ et $q = 0,99$.

Crue décennale à Saint-Louis (x_{10}) :

$$p = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ d'où } q = 1 - 0,1 = 0,9 \text{ et } z = 1,28$$

$$1,28 = (x_{10} - 118)/54, \text{ d'où } x_{10} = (1,28 * 54) + 118 = 187,12 \\ \mathbf{x_{10} = 187,12 \text{ cm IGN}}$$

Crue centennale à Saint-Louis (x_{100}) :

$$p = \frac{1}{100} = 0,01, \text{ d'où } q = 1 - 0,01 = 0,99 \text{ et } z = 2,33$$

$$2,33 = (x_{100} - 118)/54 \text{ d'où } x_{100} = (2,33 * 54) + 118 = 243,82 \\ \mathbf{x_{100} = 243,82 \text{ cm IGN}}$$

Ces valeurs de crue exceptionnelles du fleuve seront combinées aux scénarios d'élévation du niveau de la mer prévus d'ici à 2100 pour évaluer les impacts de la montée des eaux à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) réalisé sur Saint-Louis et sa proche banlieue (tabl. 35).

Tableau 35 : Hauteurs d'eau actuelles et prévues dans l'estuaire du Sénégal

Crue	Etat actuel (cm)	Etat actuel + élévation prévue du niveau de la mer d'ici à 2100		
		Pronostic bas (+ 11 cm)	Pronostic moyen (+ 50 cm)	Pronostic élevé (+ 77 cm)
Cote d'alerte	140	151	190	217
Décennale	187	198	237	264
Centennale	244	255	294	321

Conclusion

Dans les conditions actuelles, l'eau du fleuve commence à déborder dans la ville de Saint-Louis à partir de 140 cm IGN. L'analyse statistique des données de hauteur d'eau au niveau de cette station montre que cette cote peut être dépassée annuellement dans 34% des cas avec une probabilité de retour de trois ans. Le risque d'inondation de la ville est donc réel d'autant plus que des niveaux d'eau plus élevés sont prévus avec les crues décennale et centennale qui vont être accentuées par l'élévation de la mer liée aux changements climatiques à l'échelle mondiale.

II. Les impacts potentiels de l'élévation du niveau des eaux à Saint-Louis

Les inondations entraînent une gamme très variée d'impacts sociaux et économiques dans la commune de Saint-Louis. Nous nous intéresserons aux superficies inondées par quartier à partir desquelles seront déterminées le nombre de concessions affectées ainsi que le nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux prévus de montée des eaux. Nous analyserons également les impacts potentiels liés à l'inondation des équipements de la commune. A partir du taux de submersion des quartiers dans les différents scénarios, nous les classerons selon leur degré de sensibilité à la montée des eaux. La prise en compte des équipements, infrastructures et autres données socio-économiques comme la taille de la population permettra de déterminer la vulnérabilité des différents groupes de quartier par rapport aux inondations. Enfin, nous proposerons une série de mesures pouvant atténuer les impacts potentiels de la montée des eaux dans la commune de Saint-Louis.

1. La commune de Saint-Louis, un site à risque

Un site amphibie

Le risque résulte de la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel (aléa), potentiellement dangereux sur une société présentant une propension à subir des dommages (vulnérabilité) en cas de manifestation du phénomène (Flageollet, 1989 ; D'ercole, 1994 *in* par Lapperiere et Luchetta, 2003). Les dommages portent sur les biens et les activités humaines.

Risque = aléa * vulnérabilité

L'aléa est caractérisé par l'intensité, l'extension et la durée du phénomène naturel. Il peut être expliqué par plusieurs facteurs (Schoeneich *in* par Lapperiere et Luchetta, 2003) :

- les facteurs intrinsèques qui favorisent l'apparition d'un phénomène naturel (prédispositions) et qui sont liés à la géologie, au climat, etc. ;
- les facteurs préparatoires qui peuvent être aléatoires ou non et qui peuvent, à court ou moyen terme, faire évoluer la situation jusqu'à un stade proche de la rupture ; exemple : pluies des saisons précédentes, actions anthropiques, etc. ;
- les facteurs déclenchants qui sont toujours aléatoires et qui engendrent le phénomène ;

- les facteurs de contrôle qui déterminent le déroulement du processus qu'ils peuvent aggraver ou limiter.

La vulnérabilité représente la fragilité d'un système socio-économique et politique face à l'aléa. La commune de Saint-Louis présente un caractère amphibie qui la rend vulnérable à la montée des eaux du fleuve Sénégal et de l'Océan Atlantique : elle est limitée à l'ouest par l'Océan Atlantique et est traversée par deux bras du fleuve Sénégal qui se rejoignent plus au nord, dégageant ainsi une partie insulaire. *L'île*, composée de trois quartiers (Haut Nord, Centre Nord et Sud) est reliée à la *zone de Sor* (Darou, Balacoss, Léona, Pikine I, Pikine II, Pikine III, Eaux Claires, Diamaguène, Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud, Sor Nord, Khor, Médina Course) par le pont Faidherbe. Elle est séparée des quartiers situés sur la *Langue de Barbarie* (Goxu Mbacc, Haut Ndar Toute, Bas Ndar Toute, Bas Guet Ndar et Haut Guet Ndar) par le petit bras du fleuve Sénégal. Dakar-Bango et Ngallèle constituent des quartiers *périphériques* situés à une dizaine de kilomètres du centre ville (fig. 87).

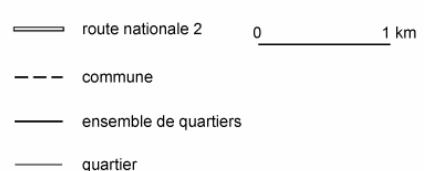
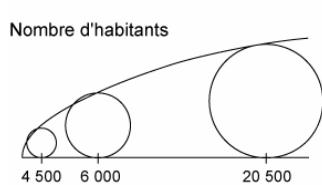
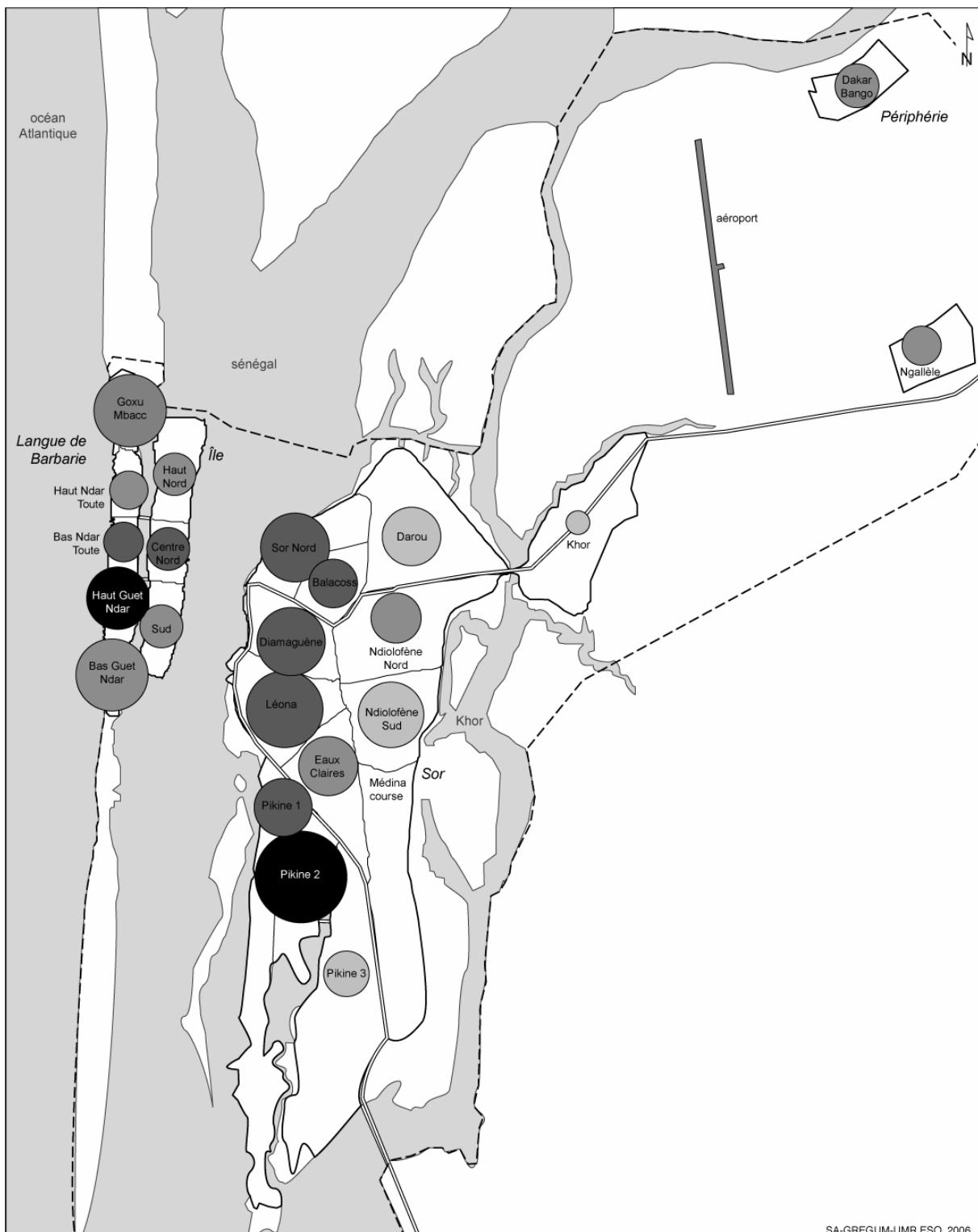


Figure 87 : Contexte géographique de la commune de Saint-Louis et répartition de la population, M. Sall (2006)

La ville est bâtie, par endroits, notamment dans la zone de Sor, sur d'anciennes vasières comportant une forte proportion d'argile qui favorise la stagnation des eaux de pluie dans les zones les plus basses. C'est ainsi que dans la nuit du 27 au 28 août 1998 une forte pluie plongea 5 070 foyers sous les eaux, au niveau de plusieurs quartiers (tabl. 36) ; ceci correspond à 35 490 personnes sinistrées selon les estimations de la commission « Assistance » du comité de gestion du plan ORSEC qui a été déclenché.

Tableau 36 : Répartition des foyers sinistrés par les eaux de pluies en Août 1998

Source : Service régional du Développement Social à Saint-Louis

Quartiers	Nombre de foyers sinistrés
Eaux Claires/Diaminar	1 013
Léona/H.L.M.	636
Balacoss	195
Ndiolofène Sud	42
Ndiolofène Nord	85
Sor Diagne/Tableau Walo	114
Diawling/Sor Nord	231
Khor	142
Pikine I	374
Diamaguène	494
Darou	385
Pikine II	1 129
Médina Course	230
Toatal	5070

Une topographie basse

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) réalisé sur la ville permet d'identifier les zones à risque ainsi que les parties submergées, en fonction de différents niveaux de montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan.

Le modèle numérique de terrain est une représentation spatiale d'une portion de la surface terrestre par une grille de points géoréférencés et régulièrement distribués ; chaque point de la grille ainsi définie, correspond à une altitude connue de la surface considérée (Ardiansyah et Yokoyama, 2002). Les données d'altitude sont tirées des ortho photos au 1/10 000 réalisées par l'OMVS en 1980 sur la ville de Saint-Louis (feuille de Saint-Louis ville) et sa proche banlieue (feuille de Dakar- Bango). Pour ce faire, nous avons digitalisé, les courbes de niveau et les points cotés, créant ainsi, avec le logiciel Mapinfo, des tables de données d'altitude utiles dans la réalisation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Au total, 1 310 points

(291 courbes de niveau et 1 019 points cotés) ont été utilisés. Les courbes de niveau ont une équidistance de 1 m et varient entre 0 et 7 m tandis que l'altitude des points cotés oscille entre – 0,3 et 7,3 m. La précision du MNT est fortement liée à celle des ortho photos d'où sont tirées les courbes de niveau et les points cotés. Celle-ci n'est pas précisée sur les cartes mais les points cotés définis à un dixième près nous laisse supposer une précision de 0,1 m que nous affectons également au modèle. Le MNT est créé avec le logiciel Arc Info ; la taille de la grille est de 10 m x 10 m. Le fichier GRID obtenu est transféré au logiciel Arc view où sont superposées les couches vectorielles (routes, pistes, localités etc.) ; les classes d'altitude y sont également définies (fig. 88).

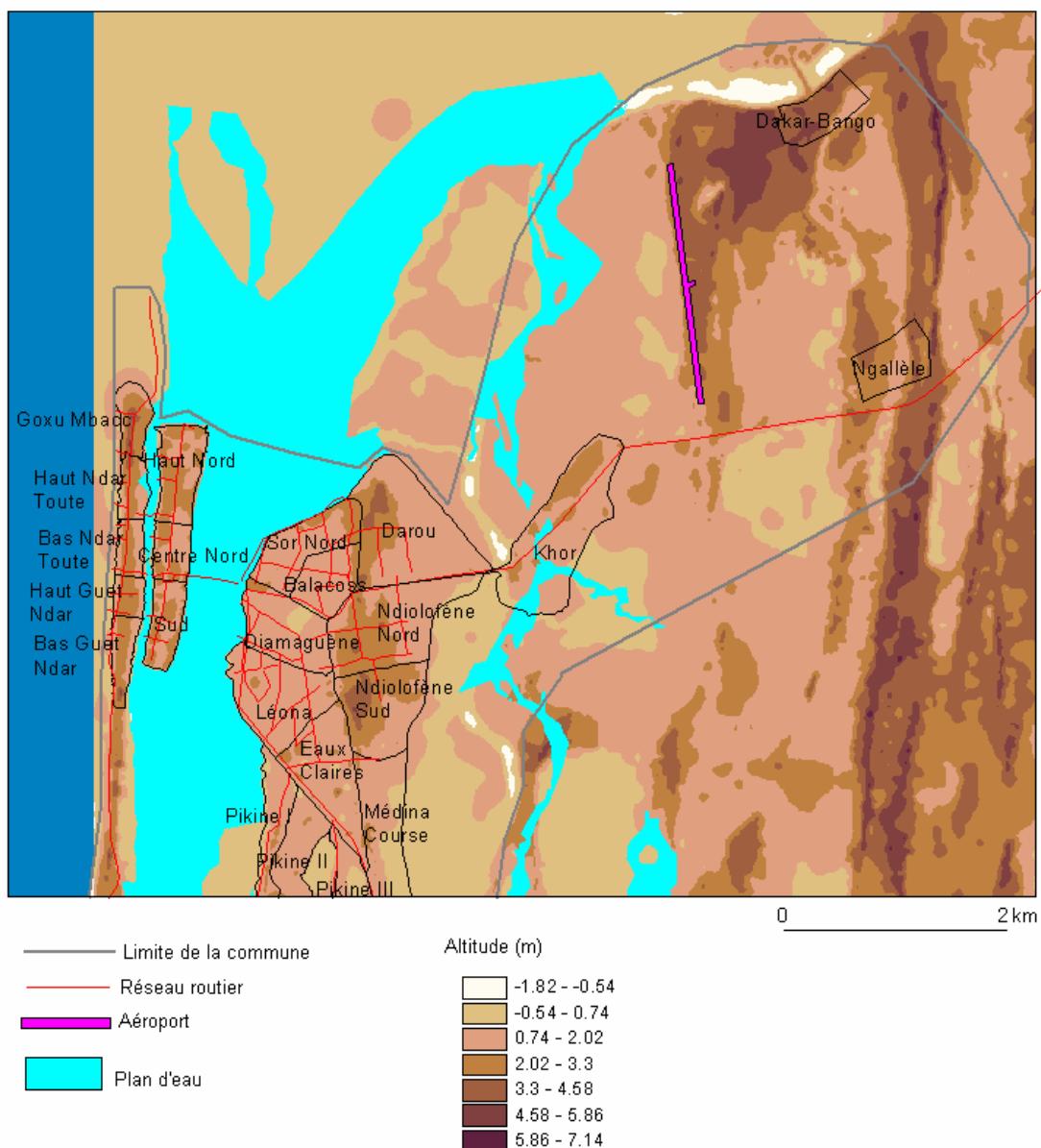


Figure 88 : Modèle Numérique de Terrain (MNT) sur la ville de Saint-Louis et sa proche banlieue

M. Sall (2006)

Les statistiques élémentaires du MNT caractérisent une topographie basse ; les plus fortes altitudes sont notées à la périphérie de la ville, au niveau d'anciens cordons littoraux où se situent les quartiers de Dakar-Bango et de Ngallèle ainsi que certaines localités de la communauté rurale de Gandon (tabl. 37).

Tableau 37 : Statistiques élémentaires du MNT de la commune de Saint-Louis

MNT	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Altitude (m)	-1,82	1,18	7,14	1,39

Il est ainsi possible, à l'aide des outils d'analyse spatiale du logiciel ARC View GIS 3.3, de déterminer les zones (sur Saint-Louis et sa banlieue) qui risquent d'être submergées en fonction de plusieurs scénarios d'élévation du niveau des eaux. Ce logiciel a également été utilisé pour calculer les superficies des zones inondées pour chaque quartier de la commune de Saint-Louis dans les différents cas de figure. Les parties les plus basses de la commune, sont les plus exposées à la montée des eaux du fleuve et de l'océan mais aussi à la stagnation des eaux de pluie.

Un faible niveau d'assainissement

Le niveau d'assainissement de la commune de Saint-Louis est insuffisant et hétérogène. La partie insulaire, dont le système a été mis en place depuis l'époque coloniale, dispose du meilleur niveau d'assainissement. Le plan directeur d'assainissement élaboré en 1981, élargit le réseau en partie vers les quartiers de Ndar Toute situés sur la Langue de Barbarie. Dans la zone de Sor, le réseau se développe sur Sor Nord, Balacoss et partiellement sur Diamaguène, Léona et Ndiolofène. L'Université, fonctionnelle depuis 1990, est également connectée sur le réseau de la commune qui comprend 34 km de canalisation gravitaire et 10 km de canalisation en refoulement (ONAS, 2005). Les canalisations sont surtout en PVC sauf au niveau de l'île où elles sont en amiante/ciment. Leur diamètre varie entre 150 et 450 mm. Les eaux usées collectées sont drainées vers le lagunage (système épuratoire) qui est une cuve naturelle située à 7 km au sud de la ville. Sa capacité de traitement est de 1900 m³/jour. Le réseau est complété par six stations de pompage, réparties de manière à faciliter l'évacuation des eaux usées vers le lagunage. Elles sont situées au Nord et au Sud de l'île, à Guet Ndar, à Balacoss, Léona et Diamaguène. L'université est également dotée d'une station de pompage. La station de Diamaguène récupère l'ensemble des eaux usées de la commune pour les évacuer vers le lagunage. Plusieurs quartiers sont ainsi dépourvus d'un système de collecte et d'évacuation

des eaux pluviales et des eaux usées : seul 15% de la population communale est raccordé au réseau. Les populations développent un système autonome qui reste peu performant.

Le réseau d'assainissement connaît d'ailleurs un certain nombre de problèmes tels que l'intrusion de sable et d'ordures qui empêchent l'écoulement normal et provoquent des débordements fréquents. Le mauvais état des conduites favorise également l'entrée des eaux pluviales qui amplifient les volumes et entraînent des débordements. L'infiltration des eaux de la nappe phréatique dans les canalisations est aussi notée.

2. Les mesures d'adaptation en cours

La recrudescence des inondations de la commune de Saint-Louis surtout à partir de 1994, a incité la réaction des pouvoirs publics à travers la conception (à court, moyen et long terme) et la mise en oeuvre de plusieurs mesures d'atténuation ou d'éradication du phénomène : mesures d'urgence, plan directeur d'assainissement des eaux pluviales à l'horizon 2020 confectionné en 1999. Ces mesures sont essentiellement relatives à la construction de digues de protection des quartiers, au relèvement des quais, à la mise en place d'un système de drainage des eaux pluviales et à la construction de stations de pompage (fig. 89).

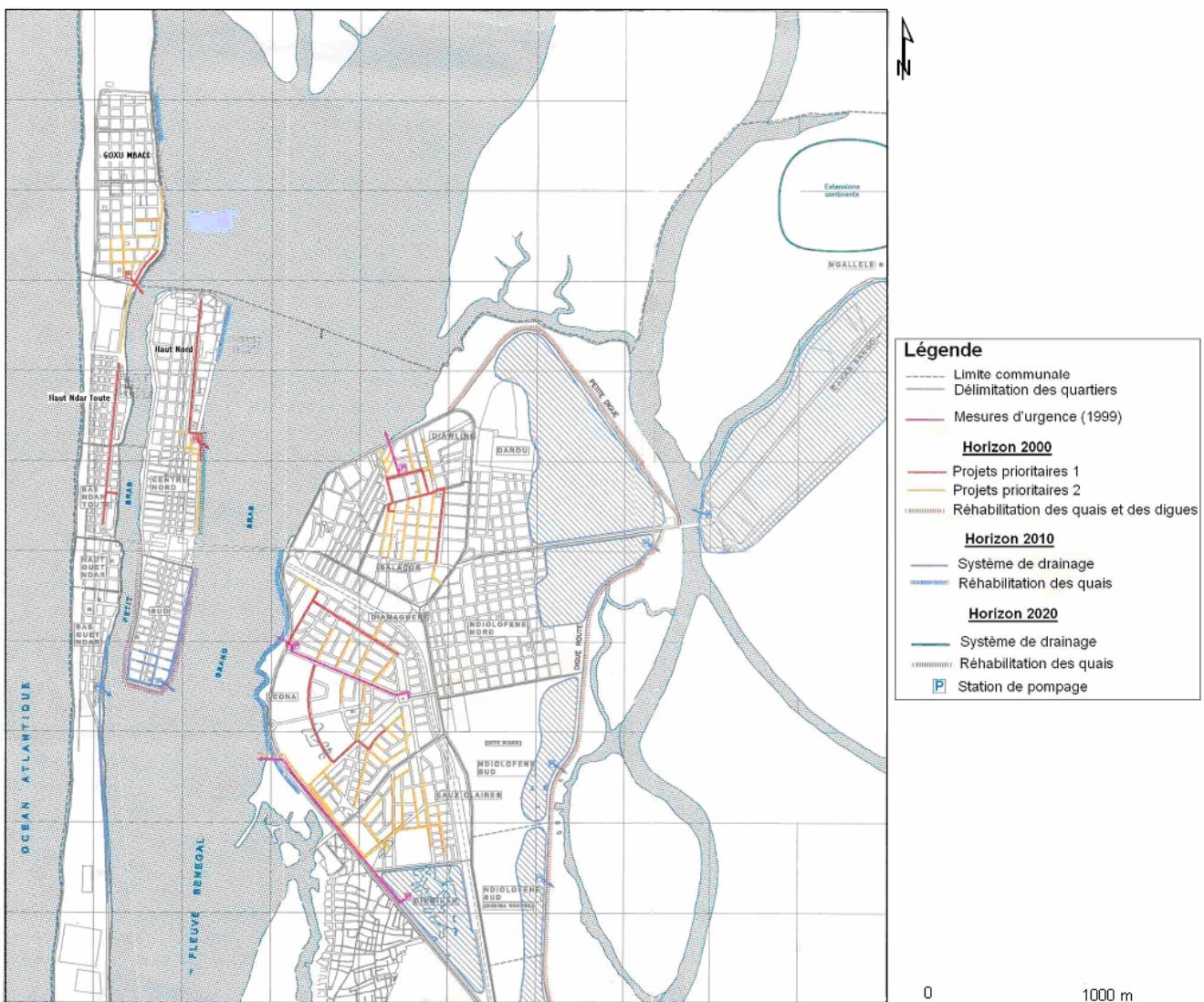


Figure 89 : Mesures de protection contre les inondations à Saint-Louis (d'après ONAS, 1999)

Le plan directeur d'assainissement des eaux usées de la ville de Saint-Louis, élaboré par l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) en 2005, complète le système.

Déjà en 1995, à la suite des inondations intervenues en 1994, des digues de protection de certains quartiers ont été construites, avec l'Agence d'Exécution des Travaux d'Intérêt Public (AGETIP) comme maître d'ouvrage :

- la digue route qui s'étend sur 4 500 m, longeant le marigot de khor, depuis le pont (vanne), pour rejoindre la route nationale n° 2 en face du quartier de Pikine, en allant vers Dakar (fig. 89) ; elle vise surtout à protéger les quartiers de Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud et Médina Course contre la crue ; sa côte est, en moyenne de 1,87 m IGN et varie de 1,48 m à 2,32 m (ONAS, 1999) ; elle montre néanmoins des signes de détérioration ;

- la petite digue, longue d'environ 2 100 m, qui s'étend du pont de Khor à la Corniche (fig. 89) ; elle est surtout destinée à protéger le quartier de Darou contre la montée des eaux ; sa côte moyenne est de 1,62 m IGN (varie de 1,27 m à 1,91 m) ; elle a été submergée, par endroits, pendant la crue de 1999 (ONAS, 1999).

D'autres digues de fortune constituées de sacs remplis de sable, ont été dressées en plusieurs points par les populations, avec l'appui du Groupement National des Sapeurs Pompiers : en face de la gare routière, sur la corniche, à Pikine, à Khor et au niveau des quais Henry Jay (Sud) et Giraud (Nord).

2.1. Les mesures d'urgence

Face à l'ampleur du phénomène des inondations, un plan d'urgence comportant un ensemble de mesures a été mis en place en 1999, sous la coordination du Service Régional de l'Office National de l'Assainissement (ONAS) de Saint-Louis. Il peut se résumer comme suit :

- la réhabilitation de la station de pompage de Diawlingue (Sor Nord) qui date de l'époque coloniale et qui n'était plus fonctionnelle ; elle déverse dans le fleuve Sénégal les eaux pluviales stagnantes collectées (photo 6) ;



Photo 6 : Rejet des eaux pluviales stagnantes à partir de la station de pompage réhabilitée de Diawlingue (Sor Nord). Photo (M. Sall, novembre 2005)

- la réhabilitation de la station de pompage de Léona-Diamaguène qui date également de l'époque coloniale et qui était hors service ; elle collecte les eaux pluviales stagnantes des quartiers de Léona et Diamaguène pour les évacuer dans le fleuve ;

- la construction d'une nouvelle station de pompage à Diaminar (sud Eaux Claires), qui collecte les eaux pluviales stagnantes du quartier pour les déverser dans le fleuve.

Ce plan d'urgence a été totalement réalisé.

2.2. Le plan directeur d'assainissement des eaux pluviales

A côté du plan d'urgence, un plan directeur d'assainissement des eaux pluviales à court, moyen et long terme (horizon 2020) a été confectionné par l'ONAS en 1999. Il reprend, en partie, l'ancien système d'évacuation des eaux pluviales qui date de l'époque coloniale et qui n'est plus fonctionnel. La réhabilitation des quais et des stations de pompage fait également partie de ce programme.

2.2.1. Horizon 2000

Il comprend globalement :

- le projet prioritaire n° 1 qui consiste en la réalisation d'un ensemble de caniveaux primaires et de stations de pompage dans plusieurs quartiers :
 - sur la Langue de Barbarie, l'ancien système d'assainissement de Ndar Toute a été réhabilité et rénové en partie; les eaux pluviales sont évacuées par gravité vers le fleuve ; à Goxu Mbacc, un petit système de caniveaux doté d'une station de pompage, permet de déverser les eaux vers le fleuve ;
 - Sur l'Ile, notamment dans le quartier Haut Nord, il a été confectionné un système de drainage avec grilles avaloirs, associé à une petite station de pompage ;
 - A Sor, un système de caniveaux est réalisé, dans les quartiers de Diawlingue (Sor Nord) et Balacoss en association avec la station de pompage mise en place dans le cadre du plan d'urgence ; c'est la même situation qu'on retrouve dans les quartiers de Léona et Diamaguène où de nouveaux caniveaux primaires renforcent la capacité de drainage des eaux de pluie ;
- le projet prioritaire n° 2 qui prend en charge la réalisation de caniveaux secondaires au niveau de plusieurs quartiers, en vue de renforcer le système

de collecte des eaux vers les stations de pompage : Goxu Mbacc, Haut Nord, Nord Centre, Diawlingue (Sor Nord), Balacoss, Léona, Diamaguène, Eaux Claires ; cette activité a connu un retard non négligeable mais devrait être réalisée incessamment ;

- la réhabilitation des quais et des digues : ces infrastructures, défectueuses par endroits, étaient submergées par les eaux en période de crue ;
 - en début 1999, sur une longueur totale de 9 700 m concernant les quais, 3 075 m nécessitaient une réhabilitation en urgence tandis que 1 825 m devraient faire l'objet d'une intervention ultérieure (ONAS, 1999) ; ceci dans les différents blocs de quartiers mais surtout au niveau de Sor ; ces actions ont été essentiellement réalisées dans le cadre du programme d'urgence et du projet prioritaire n° 1 ;
 - les digues, décapées par le passage des véhicules et fragilisées par la pression des eaux, ont été submergées, par endroits, en 1998 et 1999 ; elles ont fait l'objet d'une réhabilitation partielle.

2.2.2. Horizon 2010

Il comprend essentiellement un ensemble d'activités relatives à l'amélioration du système de drainage et à la réhabilitation des quais au niveau de différents quartiers (ONAS, 1999) :

- la réalisation d'une canalisation d'assainissement le long de la route en direction de l'hydrobase, associée à une station de pompage au quartier Bas Guet Ndar est prévue ;
- à l'extrême nord du quartier de Goxu Mbacc, la réhabilitation des quais (côté fleuve) est retenue ; de même, pour l'extrême nord du quartier Haut Nord ;
- dans le quartier de Sud, un système de drainage avec grilles avaloirs et tuyaux d'évacuation, muni d'une petite station de pompage est envisagé ;
- un système de caniveau rudimentaire est prévu dans le quartier de Diaminar (sud Eaux Claires) ; tandis que la réhabilitation des quais qui bordent la nationale n° 2, le long des quartiers de Léona et Diamaguène, est envisagée ;
- dans les quartiers de Darou et de Ndiolofène, en vue de protéger les concessions les plus proches des digues, sur les parties les plus menacées,

- la mise en place d'un système de drainage avec des stations de pompage est retenue ;
- dans le quartier de Khor, un petit système de drainage est envisagé avec une station de pompage ;

2.2.3. Horizon 2020

Il consiste également pour l'essentiel à l'extension du système de drainage des eaux pluviales vers les quartiers de la zone de Sor et à la réhabilitation des quais entre l'océan et les quartiers de la Langue de Barbarie.

2.3. Le plan directeur d'assainissement des eaux usées (horizon 2020)

Le plan directeur d'assainissement à l'horizon 2020 des eaux usées de la commune de Saint-Louis, élaboré en 2005, est une composante importante de la panoplie de mesures déployées pour lutter contre les inondations de la ville. En effet, le niveau d'assainissement des eaux usées à Saint-Louis est faible : le taux de raccordement des populations de la commune au réseau est de 15% (ONAS, 2005); il est variable selon les quartiers mais seule l'île est complètement assainie avec un réseau datant essentiellement de l'époque coloniale (tabl. 38).

Tableau 38 : Taux de raccordement de la population par quartier en 2005 (d'après ONAS, 2005)

Quartiers	Population par quartier en 2001	Population assainie en 2001	Population par quartier en 2005 (taux de croissance 4%)	Population assainie en 2005	Taux de population assainie avant travaux (%)
Diamaguène	8 728	1 432	10 211	1 675	16
Léona	8 790	4 480	10 283	5 241	51
Eaux Claires	9 960	296	11 652	346	3
Pikine 1	4 488	-	5 250	-	0
Pikine 2	20 110	-	23 526	-	0
Pikine 3	7 014	-	8 205	-	0
Ndiolofène Nord	8 019	468	9 381	547	6
Ndiolofène Sud	8 106	175	9 483	205	2
Sor Nord	7 560	3 438	8 844	4 022	45
Balacoss	8 729	1 575	10 212	1 843	18
Haut Ndar Toute	5 022	360	5 875	421	7
Bas Ndar Toute	3 114	297	3 643	347	10
Goxu Mbacc	12 195	-	14 266	-	0
Haut Guet Ndar	11 759	-	13 756	-	0
Bas Guet Ndar	13 710	-	16 039	-	0
Khor Eglise	1 450	-	1 696	-	0
Khor Usine	1 332	-	1 558	-	0
Haut Nord	2 436	2 436	2 850	2 850	100
Nord Centre	4 328	4 328	5 063	5 063	100
Sud	3 143	3 143	3 677	3 677	100
Total	149 993	22 428	17 5471	26 238	15

Le raccordement des quartiers au réseau nécessite au préalable leur mise en conformité par rapport aux normes d'urbanisation. Ainsi, les quartiers structurés et organisés ont été prioritairement choisis (ONAS, 2005). Le projet d'assainissement sur 15 ans comprend :

- une phase de travaux prioritaires sur 5 ans ;
- et une phase de travaux complémentaires sur 10 ans.

Le budget global nécessaire à l'exécution de ce plan s'élève à près de 15 milliards de francs CFA (tabl. 39).

Tableau 39 : Type et coût des travaux prévus par quartier (d'après ONAS, 2005)

Type de travaux	Description	Montant en FCFA (Hors Taxe)
Réhabilitation	Réseau gravitaire (dysfonctionnements réseau)	PM ¹
	Stations de pompage	186 900 000
	Sécurisation de la conduite de refoulement	1 429 640 000
	Station de lagunage	1 457 223 400
Densification	Sor Nord	212 800 000
	Diamaguène	240 240 000
	Léona	175 840 000
	Ile Nord	129 360 000
	Eaux Claires	37 520 000
Réseaux secondaires	Haut Ndar Toute	332 640 000
	Haut Ndar Toute	293 440 000
	Diamaguène	638 400 000
	Léona	545 440 000
Extensions	Ndiolofène Nord	1 012 360 000
	Darou	947 120 000
	Goxu MBacc	2 172 680 000
	Darou complément	2 643 640 000
	Ndiolofène Nord complément	217 280 000
	Ndiolofène Sud	1 749 320 000
	Khor usine	541 400 000
	Khor Eglise	541 400 000
Total		14 963 243 400

Le coût des travaux prioritaires pour les quartiers les mieux organisés s'élève à un peu plus de 6 milliards de francs CFA (tabl. 40).

¹ Ces travaux sont à la charge de l'ONAS pour un meilleur fonctionnement hydraulique.

Tableau 40 : Type et coût des travaux prioritaires prévus par quartier (d'après ONAS, 2005)

Type de travaux	Description	Montant en FCFA (Hors Taxe)
Réhabilitation	Réseau gravitaire (dysfonctionnement réseau)	PM ²
	Station de pompage	186 900 000
	Sécurisation de la conduite de refoulement	1 429 640 000
Densification	Sor Nord	212 800 000
	Diamaguène	240 240 000
	Léona	175 840 000
	Ile Nord	129 360 000
	Eaux Claires	37 520 000
Réseaux secondaires	Haut Ndar Toute	332 640 000
	Bas Ndar Toute	293 440 000
	Diamaguène	638 400 000
	Léona	545 440 000
Extensions	Ndiolofène Nord	1 012 360 000
	Darou	947 120 000
Total		6 181 700 000

A l'issue des travaux de la phase prioritaire et surtout après la mise en œuvre du plan directeur, le taux de raccordement de la population saint-louisienne au réseau d'assainissement devrait s'améliorer (tabl. 41).

² Ces travaux sont à la charge de l'ONAS pour un meilleur fonctionnement hydraulique.

Tableau 41 : Taux de raccordement prévu après les travaux (d'après ONAS, 2005)

Quartiers	Nombre d'habitations totales	Nombre d'habitations assainies avant travaux	Taux d'habitations assainies (%)	Après phase prioritaire		A l'issue du plan directeur	
				Nombre d'habitations assainies après travaux	Taux d'habitations assainies après travaux (%)	Nombre d'habitations assainies après travaux	Taux d'habitations assainies après travaux (%)
Diamaguène	1 091	179	16	1 050	96	1 050	96
Léona	879	448	51	820	93	820	93
Eaux Claires	1 245	37	3	54	4	54	4
Pikine 1	561	0	0	0	0	0	0
Pikine 2	2 011	0	0	0	0	0	0
Pikine 3	1 002	0	0	0	0	0	0
Ndiolofène Nord	891	52	6	534	60	891	100
Ndiolofène Sud	1 158	25	2	25	2	1 100	95
Sor Nord	840	382	45	382	45	734	87
Balacoss	1 247	225	18	225	18	663	53
Haut Ndar Toute	558	40	7	40	7	504	90
Bas Ndar Toute	346	33	10	40	12	320	92
Goux Mbacc	1 355	0	0	0	0	1 355	100
Haut Guet Ndar	1 069	0	0	0	0	0	0
Bas Guet Ndar	1 371	0	0	0	0	0	0
Khor Eglise	145	0	0	0	0	0	0
Khor Usine	148	0	0	0	0	0	0
Haut Nord	406	390	96	390	96	406	100
Nord Centre	541	541	100	541	100	541	100
Sud	449	449	100	449	100	449	100
Total	17 313	2 801	16	4 550	26	4 550	51

Si le plan directeur est correctement exécuté, le taux de raccordement de la ville au réseau d'assainissement devrait atteindre 51%, à la fin des travaux. La situation s'améliorera dans la

zone de Sor où les quartiers de Ndiolofène Nord (100%), Diamaguène (96%), Ndiolofène Sud (95%), Léona (93%), Sor Nord (87%), auront un bon niveau d'assainissement. Mais, Balacoss possèdera un taux moyen (53%) tandis qu'Eaux Claires (4%) et Khor ne disposeront d'aucun système organisé d'évacuation des eaux usées. Par contre, un plan spécial de restructuration est prévu pour les quartiers de Pikine qui ne sont pas pris en compte dans ces projets. Au niveau de la Langue de Barbarie, les quartiers de Goxu Mbacc (100%), Haut Ndar Toute (90%), Bas Ndar Toute (92%) seront bien assainis tandis que ceux de Haut Guet Ndar et de Bas Guet Ndar ne seront pas raccordés au réseau.

2.4. Le canal de délestage

En 2003, une ouverture a été faite sur la langue de Barbarie, à environ 6,5 km de Saint-Louis, dans la nuit du 03 au 04 octobre, pour éviter le débordement des eaux du fleuve dans la ville (photo 7).

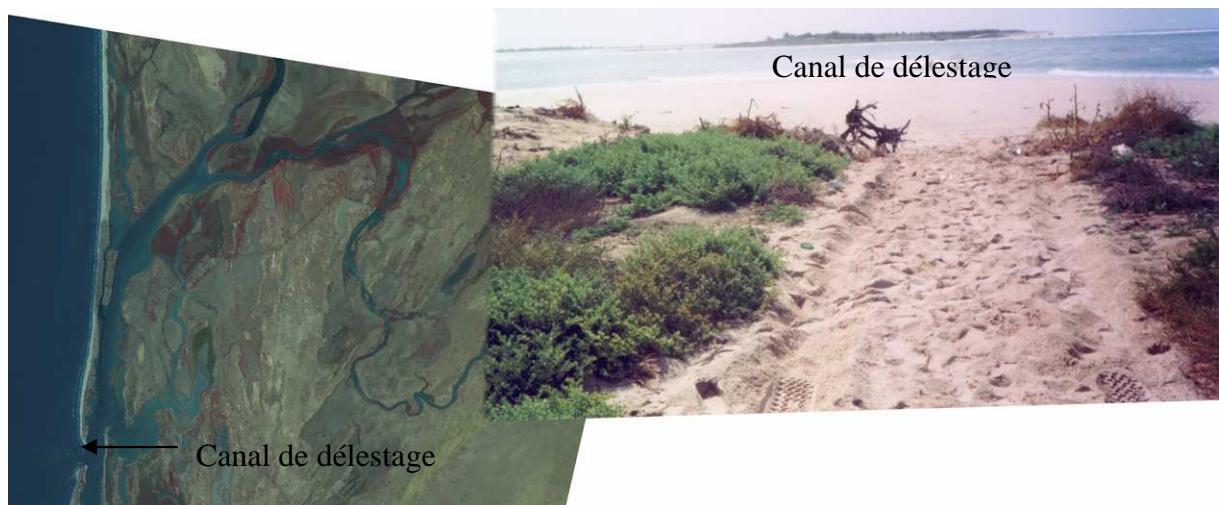


Photo 7 : Vue du canal de délestage ouvert dans la nuit du 03 au 04/10/2003

Image SPOT (mars 2004, archive CSE) et Photo (M. Sall, novembre 2003)

L'ouverture qui était initialement large de 4 m, a atteint environ 400 m entre fin octobre et début novembre (Service Régional de l'Hydraulique de Saint-Louis). Plusieurs mètres cubes de sable ont dû être mobilisés par la houle ; l'érosion de la partie sud de la flèche littorale, ainsi coupée, se poursuit tandis qu'on assiste à un dépôt progressif de sédiments dans la partie nord (Niang-Diop, 2004 : communication personnelle à l'atelier de Gestion des risques et catastrophes naturelles : GESCAN). L'ouverture de cette nouvelle embouchure a incontestablement introduit une nouvelle dynamique dans le régime hydrologique du delta.

Ces modifications ne sont d'ailleurs pas prises en compte dans notre travail qui a débuté avant la réalisation de cet ouvrage ; les conclusions que nous tirons sont ainsi indépendantes de l'influence du canal de délestage.

Niang-Diop (2004 : contribution au journal WalFadjri) remarque que cette idée n'est pas nouvelle ; déjà en 1905, pendant la période coloniale, cette proposition avait été faite par le Comité des Travaux Publics des colonies pour stabiliser l'embouchure. Mais jusqu'en 1914, les discussions étaient encore en cours pour trouver la meilleure solution. Plus récemment, l'OMVS dans les années 1980 puis le COSEC en 2002, ont mené des études dans ce sens puis ont fini par écarter cette solution.

Après l'ouverture du canal dans la nuit du 03 au 04/10, la cote du fleuve qui était de 1,5 m IGN le 30/09 est passée à 0,91 m IGN le 05/10 et à 0,53 m IGN le 13/10, soit une vitesse d'évacuation des eaux très rapide de 7,46 cm/j.

Saint-Louis est sauvée de la montée des eaux du fleuve mais cette mesure d'urgence se traduit immédiatement par une accentuation de l'amplitude des marées ; en marée basse, le niveau du fleuve baisse très fortement et il est presque possible d'atteindre, à pied, le milieu du cours d'eau (photo 8).



Photo 8 : Accentuation de l'amplitude de la marée ; vue du fleuve à hauteur du pont Faidherbe après l'ouverture du canal de délestage (Photo M. Sall : novembre, 2003)

Par ailleurs, l'eau de mer envahit en permanence le fleuve Sénégal au moins jusqu'à la hauteur de la ville de Saint-Louis. Le même phénomène est noté au niveau des bras du fleuve au sud de la ville, dans le Gadiolais. Ceci entraîne une salinisation de la nappe phréatique qui pose le problème d'accès à l'eau potable des villages sans réseaux d'adduction (Mbambara, Dieule Mbam, etc.) tandis que le maraîchage est compromis.

3. Les impacts de différents scénarios d'élévation du niveau des eaux

3.1. Démarche

Nous envisageons d'identifier les zones qui seront submergées par chaque niveau d'eau dans les différents scénarios prévus (état actuel, pronostic bas, pronostic moyen, pronostic élevé). Dans un premier temps, nous considérons un schéma extrême qui ne prend pas en compte les mesures de protection en cours (création de digues, relèvement des quais, etc.) dans les analyses spatiales visant à déterminer les impacts de l'élévation du niveau des eaux. Ceci parce que ces infrastructures cèdent, au moins par endroits, sous la pression des eaux, comme ce fut le cas en 1998 et 1999. Par ailleurs, les eaux de pluie échappent à ce système de contrôle. Nous définissons tout d'abord, à partir du MNT, des classes d'altitude qui correspondent aux hauteurs de crue et à l'élévation du niveau marin dans les différents scénarios. Quatre classes d'altitude sont définies pour chaque scénario ainsi que les hauteurs moyennes d'inondation, à partir de l'altitude moyenne du MNT (tabl. 42).

Tableau 42 : Hauteurs de crue et hauteurs moyennes d'inondation dans les différents scénarios

Scénarios	Classes	Hauteurs de Crue	Hauteurs moyennes d'inondation (m)
Actuel	-1,82 - 1,40	CA (1,40 m)	0,22
	1,41 - 1,87	CD (1,87 m)	0,69
	1,88 - 2,44	CC (2,44 m)	1,26
	> 2,44	ZEP	
Pronostic bas	-1,82 - 1,51	CA + NM (0,11 m)	0,33
	1,52 - 1,98	CD + NM (0,11 m)	0,80
	1,99 - 2,55	CC + NM (0,11 m)	1,37
	> 2,55	ZEP	
Pronostic moyen	-1,82 - 1,90	CA + NM (0,5 m)	0,72
	1,91 - 2,37	CD + NM (0,5 m)	1,19
	2,38 - 2,94	CC + NM (0,5 m)	1,76
	> 2,94	ZEP	
Pronostic élevé	-1,82 - 2,17	CA + NM (0,77 m)	0,99
	2,18 - 2,64	CD + NM (0,77 m)	1,46
	2,65 - 3,21	CC + NM (0,77 m)	2,03
	> 3,21	ZEP	

CA = Cote d'alerte ; CD = Crue décennale ; CC = Crue centennale ; ZEP = Zone épargnée ; NM = niveau marin

Le seuil inférieur de la première classe de chaque scénario est constitué par la plus faible altitude notée sur le MNT (-1,82 m). Dans le scénario actuel, le seuil supérieur de la première classe correspond à la cote d'alerte (1,40 m IGN) qui est le niveau à partir duquel l'eau du fleuve commence à déborder. Les seuils supérieurs des deuxième et troisième classes correspondent respectivement aux crues décennale (1,87 m IGN) et centennale (2,44 m IGN). Dans ce cas de figure, la quatrième classe d'altitude, supérieure à la crue centennale, constitue la zone hors d'atteinte de la montée des eaux ou zone épargnée (ZEP). Dans tous les scénarios, les hauteurs moyennes d'inondation sont fournies par la différence entre le seuil supérieur de chaque classe et l'altitude moyenne du MNT (1,18 m).

Dans le contexte du « pronostic bas », le seuil supérieur de la première classe correspond à la cote d'alerte à laquelle s'ajoute le niveau marin prévu (0,11 m). De même pour les seuils supérieurs des deuxième et troisième classes qui représentent respectivement les crues décennale et centennale associées au niveau marin dans le pronostic bas. La quatrième classe qui représente les altitudes supérieures à la crue centennale combinée au niveau marin, détermine les zones épargnées.

Dans le cas du « pronostic moyen », le seuil supérieur de la première classe correspond à la cote d'alerte à laquelle s'ajoute le niveau marin prévu dans ce contexte (0,5 m). Les seuils supérieurs des deuxième et troisième classes sont déterminés respectivement par les crues décennale et centennale auxquelles s'ajoute le niveau marin prévu dans le pronostic moyen. La quatrième classe définie par les altitudes supérieures à la crue centennale combinée au niveau marin, représente les zones hors d'atteinte.

Dans le contexte du « pronostic élevé », le seuil supérieur de la première classe correspond à la cote d'alerte à laquelle s'ajoute le niveau marin prévu (0,77 m). Les seuils supérieurs des deuxième et troisième classes correspondent respectivement aux crues décennale et centennale auxquelles s'ajoute le niveau marin dans le pronostic élevé. La quatrième classe qui comprend les altitudes supérieures à la crue centennale associée au niveau marin, représente les zones épargnées.

Cette classification permet d'identifier, pour chaque scénario, les zones submergées par les différents niveaux d'eau (cote d'alerte, crue décennale, crue centennale). A partir de ce moment, nous raisonnons à l'échelle du quartier en vue de déterminer ceux qui sont les plus exposés à la montée des eaux. Pour ce faire, la connaissance des superficies inondées constitue une donnée essentielle ; elle sera mise en rapport avec la densité de population pour déterminer le nombre de personnes sinistrées. Le calcul des superficies inondées par quartier dans les différents scénarios s'effectue en plusieurs étapes avec le logiciel Arc View/GIS 3.3 :

- intégration du « Shape », limite des quartiers, avec le « raster », résultat de la requête pour chaque scénario, à travers le module « intersect » ;
- calcul de la superficie totale en ha de chaque quartier et des superficies inondées par chaque crue (à partir du gridcode qui représente les classes) comme suit : « [Shape].Returnarea/10 000 » ; les superficies calculées des quartiers peuvent être différentes de celles fournies officiellement parce que le MNT ne couvre pas la totalité de la commune surtout au niveau de Pikine I, II, III et de Médina Course ; les analyses sont faites à partir des superficies calculées ;
- calcul des superficies inondées par quartier, par scénario et par niveau de crue en utilisant les modules « Analysis » et « summarize ».

Mais, dans chaque cas, la superficie inondée par une crue donnée prend en compte les zones affectées par les niveaux précédents. Par exemple, la superficie inondée par la crue décennale est le cumul des zones inondées par la crue décennale et la cote d'alerte. Par contre, les superficies des zones hors d'atteinte sont celles à l'abri de la crue centennale, donc des différents niveaux de crue.

Dans un deuxième temps, nous tenterons de prendre en compte, l'effet des ouvrages de protection (digues, quais, etc.) dans les analyses spatiales. Pour ce faire, nous rehaussons le MNT au niveau des quartiers protégés par ces ouvrages d'une altitude égale à celle des ouvrages de protection. Ce rehaussement s'effectue à partir des points cotés situés à l'intérieur de chaque quartier concerné. Une colonne « Alti_bar » est ajoutée sur la table des points cotés ; cette colonne renferme les altitudes du MNT auxquelles s'ajoutent celles des ouvrages au niveau des quartiers protégés.

L'altitude moyenne de la petite digue qui protège essentiellement le quartier de Darou, est de 1,62 m IGN ; celle de la digue route qui préserve les quartiers de Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud et Médina Course est de 1,87 m IGN. L'altitude des quais visant à protéger les quartiers de Sor Nord, Darou, Haut Nord, Centre Nord et Sud se situe à 2,2 m IGN tandis que celle de la route nationale N° 2 qui borde les quartiers de Léona et Diamaguène s'élève à 2 m IGN.

3.2. Les impacts dans le scénario actuel

3.2.1. Sans les ouvrages de protection

Dans les conditions hydrologiques actuelles, sans tenir compte des ouvrages de protection, l'analyse spatiale à partir du MNT, montre une forte submersion de la commune de Saint-

Louis par les différents niveaux de crue (fig. 90). Les impacts qui peuvent en découler seront également importants.

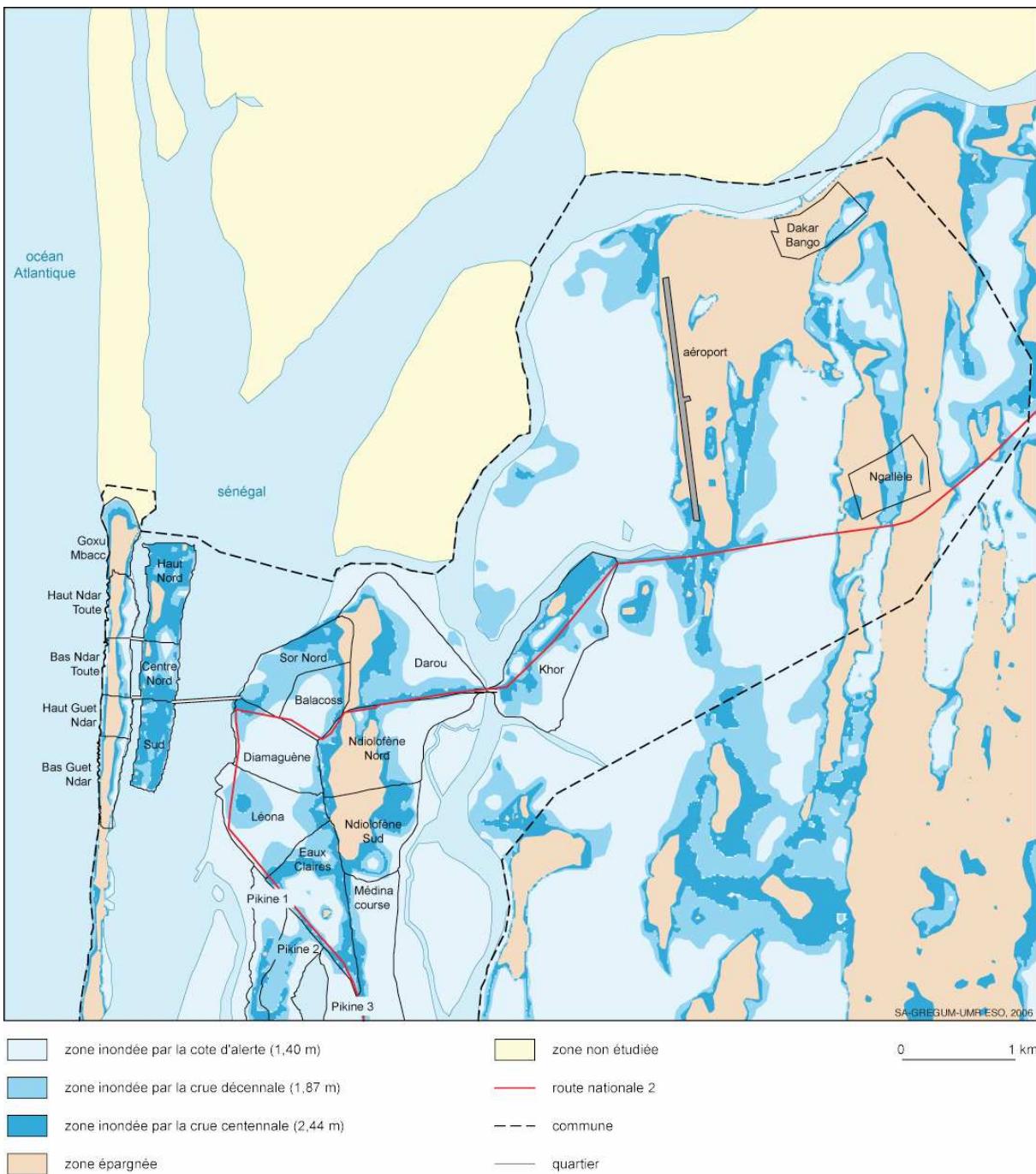


Figure 90 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de crue à l'état actuel sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006).

Les quartiers sont diversement affectés (tabl. 43).

Tableau 43 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de crue dans le scénario actuel

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	ACT_CA (ha)	ACT_CA (%)	ACT_CD (ha)	ACT_CD (%)	ACT_CC (ha)	ACT_CC (%)	ACT_EP (ha)	ACT_EP (%)
Dakar-Bango	28,47	1,11	3,89	4,37	15,35	5,70	20,02	22,77	79,98
Ngallèle	30,98	0,12	0,37	4,64	14,97	10,46	33,76	20,52	66,24
Khor	88,29	30,01	33,98	55,92	63,34	84,47	95,68	3,82	4,33
Goxu Mbacc	16,64	0,62	3,72	4,11	24,70	7,70	46,28	8,94	53,71
Haut Ndar Toute	13,90	4,15	29,81	6,16	44,30	8,12	58,40	5,78	41,60
Bas Ndar Toute	12,60	4,14	32,90	6,39	50,76	8,58	68,10	4,02	31,90
Bas Guet Ndar	10,08	2,23	22,10	3,49	34,63	5,13	50,91	4,95	49,09
Haut Guet Ndar	14,73	3,23	21,90	5,18	35,14	7,82	53,09	6,91	46,92
Sud	22,07	0,85	3,85	3,88	17,58	21,45	97,21	0,61	2,78
Haut Nord	32,03	1,36	4,26	4,97	15,50	27,19	84,87	4,84	15,12
Centre Nord	17,19	1,77	10,30	7,43	43,21	16,04	93,31	1,15	6,69
Sor Nord	40,18	2,80	6,96	20,91	52,03	35,81	89,13	4,37	10,87
Balacoss	28,11	14,10	50,17	23,96	85,23	26,40	93,94	1,70	6,05
Darou	90,96	32,02	35,20	50,90	55,96	73,72	81,05	17,24	18,95
Ndiolofène Nord	75,06	23,95	31,91	35,30	47,03	50,58	67,38	24,48	32,61
Ndiolofène Sud	52,42	5,44	10,37	12,42	23,70	31,71	60,49	20,71	39,51
Médina Course	49,30	36,86	74,76	41,65	84,47	49,30	100,00		0,00
Diamaguène	44,47	33,30	74,88	40,98	92,15	44,44	99,94	0,03	0,07
Léona	57,53	18,16	31,57	48,53	84,35	57,53	100,00		0,00
Eaux Claires	55,52	17,75	31,97	31,28	56,34	55,04	99,13	0,48	0,86
Pikine III	13,96	12,52	89,66	13,77	98,60	13,96	99,98		0,00
Pikine II	28,63	9,54	33,34	20,77	72,56	28,63	100,00	0,01	0,02
Pikine I	25,90	15,22	58,75	18,99	73,32	25,71	99,24	0,20	0,76

ACT_CA = superficie inondée par la cote d'alerte à l'état actuel

ACT_CD = superficie inondée par la crue décennale à l'état actuel

ACT_CC = superficie inondée par la crue centennale à l'état actuel

ACT_EP = superficie épargnée par la montée des eaux à l'état actuel

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte (1,40 m)

Dans la zone de Sor

Avec le niveau de la cote d'alerte (1,40 m IGN), les quartiers les plus bas sont déjà fortement inondés. C'est le cas de Pikine III, dont 90% de la superficie est submergé. Ce quartier compte 1 002 concessions. Le MNT ne couvrant pas la totalité du quartier, nous considérons que la sensibilité de la partie étudiée est représentative de l'ensemble. Dans ces conditions 900 concessions sont menacées. Le quartier de Diamaguène qui est inondé à 75% compte 1 091 concessions ; ainsi 813 d'entre elles risquent d'être submergées par les eaux. Médina Course est également affecté à 75% mais nous ne disposons pas de données concernant le nombre de maisons spécifiques à ce quartier. Pikine I qui est affecté à 59% compte 561 concessions dont 331 risquent d'être inondées avec le niveau de la cote d'alerte dans les conditions actuelles. Balacoss est à moitié inondé (50%) et 623 maisons sur les 1 247 que

compte ce quartier, sont sous la menace des eaux. Le quartier de Darou est submergé à 35% mais ici également, nous ne disposons pas de données spécifiques sur le nombre de concessions. A Khor dont 34% de la superficie est inondé par le niveau de la cote d'alerte, 100 maisons sur un total de 293 sont menacées. Au niveau du quartier de Pikine II qui est inondé à 33% et qui compte 2 011 logements, 665 concessions sont sous la menace des eaux. Léona dont 32% de sa superficie est inondé, compte 879 concessions ; 280 d'entre elles seront ainsi affectées par une montée des eaux équivalente au niveau de la cote d'alerte dans les conditions actuelles. A Ndiolofène Nord qui est inondé à 32% et qui compte 891 logements, 284 maisons sont sous la menace des eaux. Le quartier d'Eaux Claires dont 32% de la superficie est inondé compte 1 245 concessions ; 397 d'entre elles seront ainsi sous la menace des eaux. L'appartenance exclusive de ces quartiers, les plus sensibles à la montée des eaux, à la zone de Sor, essentiellement bâtie sur d'anciennes vasières, montre que ce secteur est le plus exposé à la montée des eaux. Dans cette zone, les quartiers de Ndiolofène Sud et de Sor Nord, respectivement inondés à 10% et 7%, sont les moins affectés par les inondations avec un niveau d'eau équivalent à la côte d'alerte dans les conditions actuelles. Ainsi, 114 maisons sont inondées sur un total de 1 158 dans le quartier de Ndiolofène Sud tandis qu'à Sor Nord 59 concessions sur 840 sont affectées.

Au niveau de l'île

Les quartiers de l'île sont peu affectés par le niveau de la cote d'alerte dans les conditions actuelles. Haut Nord et Sud qui sont inondés à 4% sont très peu touchés par ce niveau de crue. A Haut Nord, 16 maisons sur les 406 qui constituent le quartier sont menacées par les inondations tandis que 18 concessions sur 449 sont inondées à Sud. Le quartier de Centre Nord dont 10% de sa superficie est submergé par les eaux, est le plus affecté dans ce secteur. 57 concessions sur un total de 541 sont sous la menace de la crue dès que la cote d'alerte est atteinte dans les conditions actuelles.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Au niveau de la Langue de Barbarie, les quartiers sont dans l'ensemble faiblement affectés par la cote d'alerte dans les conditions actuelles. Le quartier de Bas Ndar Toute est le plus affecté avec 33% de sa superficie inondée. Ce qui fait que 99 concessions sur un total de 346 sont menacées par les eaux. Haut Ndar Toute, avec 30% de sa superficie inondée, est le deuxième quartier le plus affecté dans cette zone. Ainsi, 159 maisons sur un total de 558 y sont menacées par les eaux. Bas Guet Ndar est inondé à 22% ; ce qui fait que 307 concessions

sont affectées sur un total de 1 371 recensées dans le quartier. Haut Guet Ndar est également inondé à 22% ; ainsi, 243 maisons sur les 1 069 que compte le quartier sont sous la menace des eaux. Enfin, le quartier de Goxu Mbacc inondé à 4% est le moins affecté dans ce secteur ; seules 51 maisons sur un ensemble de 1 355 sont menacées par les eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Ngallèle et de Dakar-Bango situés à une dizaine de kilomètres du centre ville, sur des sables dunaires, sont pratiquement à l'abri de ce niveau de montée des eaux dans les conditions actuelles.

Les impacts liés à la crue décennale (1,87 m)

Dans la zone de Sor

Le quartier de Pikine III qui est inondé à 99% par la crue décennale est le plus affecté ; sur les 1 002 concessions qui composent ce quartier, 995 sont menacées par les eaux. Diamaguène est inondé à 92% et 998 concessions sur 1 091 sont menacées. Balacoss est submergé à 85% induisant le risque d'inondation de 1 075 concessions sur les 1 247 que compte le quartier. Léona dont 84% de la superficie est inondé compte 739 maisons sous la menace des eaux sur un ensemble de 879. Médina Course est également inondé à 84% par la crue décennale. Pikine II est submergé à 73% ; de ce fait, 1471 concessions sur un total de 2 011 risquent d'être inondées. Pikine I est également inondé à 73% ; ainsi, 405 concessions sur un ensemble de 561 se trouvent sous la menace des eaux. Khor est submergé à 63% par la crue décennale induisant le risque d'inondation de 183 concessions sur les 293 qui constituent le quartier. Plus de la moitié du quartier de Darou (56%) est submergé par les eaux. Eaux Claires est inondé à 56% ; ce qui fait que 689 maisons sur un total de 1 245 sont sous la menace des eaux. Sor Nord dont 52% de la superficie est submergé par la crue décennale compte 440 concessions menacées par les eaux sur un ensemble de 840. Ndiolofène Nord et Ndiolofène Sud sont les quartiers les moins affectés par la crue décennale dans le secteur de Sor. A Ndiolofène Nord où 47% de la superficie est inondé, 425 concessions sur 891 sont menacées par les eaux. Enfin, Ndiolofène Sud dont seulement 24% de la superficie est submergé par la crue, enregistre 276 concessions inondées sur les 1 158 qui composent le quartier.

Au niveau de l'île

Les trois quartiers de la partie insulaire de la commune de Saint-Louis, sont faiblement affectés par la crue décennale dans les conditions hydrologiques actuelles. Centre Nord

inondé à 43% est le plus touché ; 223 concessions sur un total de 541 peuvent être sous la menace des eaux. Sud inondé à 18% compte 75 concessions sur 449 menacées par la montée des eaux. Haut Nord dont 16% de la superficie est inondé par la crue décennale, enregistre 68 maisons menacées sur un total de 406.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers situés sur la flèche littorale de la Langue de Barbarie sont moyennement affectés par la crue décennale dans les conditions hydrologiques actuelles. Bas Ndar Toute est le plus affecté avec 51% de sa superficie qui se trouve inondé ; ceci met 173 concessions sous la menace des eaux dans ce quartier qui en compte 346. Haut Ndar Toute inondé à 44% compte 558 concessions dont 248 sont ainsi affectées par la montée des eaux. Haut Guet Ndar est submergé à 35% ; de ce fait, 389 concessions sur un total de 1 069 peuvent être affectées par la crue. Bas Guet Ndar est également inondé à 35% mettant ainsi 485 concessions sur 1 371 sous la menace des eaux. Enfin, Goxu Mbacc dont 25% de la superficie est inondé constitue le quartier le moins affecté par la crue décennale dans ce secteur ; seules 332 concessions sur un total de 1 355 peuvent être sous la menace des eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Ngallèle et de Dakar-Bango sont à l'abri de la crue décennale dans les conditions hydrologiques actuelles.

Les impacts liés à la crue centennale (2,44 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers de Médina Course, Diamaguène, Léona, Eaux Claires, Pikine I, II et III, sont entièrement submergés par la crue centennale dans les conditions hydrologiques actuelles. Ainsi, 6 789 concessions sur 11 879 que compte le secteur de Sor peuvent se retrouver sous la menace des eaux. Khor qui est inondé à 96% compte 282 concessions sur 293 qui peuvent être affectées par la montée des eaux. Balacoss est submergé à 94% ; de ce fait 1 161 concessions sur 1 247 peuvent être affectées par la crue. Sor Nord dont 89% de la superficie est inondé, peut compter 740 maisons sur 840 sous la menace des eaux. Darou est inondé à 81%. Les quartiers de Ndiolofène Nord et Ndiolofène Sud sont les moins affectés par la crue centennale dans les conditions hydrologiques actuelles. Ils conservent respectivement 33% et 40% de leur superficie hors d'atteinte des eaux. Ndiolofène Nord est inondé à 67% et compte 587 maisons sur 891 sous la menace des eaux. Ndiolofène Sud est submergé à 60% par la

crue ; de ce fait, 693 concessions sur un total de 1 158 peuvent être affectées par les eaux. Il se révèle comme le quartier de la zone de Sor le plus à l'abri de la montée des eaux.

Au niveau de l'île

Les quartiers de la partie insulaire de la commune de Saint-Louis sont fortement affectés par la crue centennale. Sud, le plus touché, est presque entièrement inondé (97% de sa superficie). La totalité des 449 maisons qui le constituent sont sous la menace des eaux. Centre Nord qui est inondé à 93% est également très affecté ; 513 maisons sur 541 sont menacées par la crue. Enfin, Haut Nord, dont 85% de la superficie est inondé constitue le quartier le moins affecté de l'île. Néanmoins, 352 concessions sur 406 seront menacées par les eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers de la Langue de Barbarie sont fortement affectés par la crue centennale dans les conditions hydrologiques actuelles. Bas Ndar Toute qui est inondé à 68% est le quartier le plus affecté. Ainsi, 247 maisons sur 346 sont menacées par la crue. Haut Ndar Toute inondé à 58%, compte 310 concessions sur 558, qui sont sous la menace des eaux. Haut Guet Ndar est submergé à 53% ; de ce fait, 583 maisons sur un total de 1 069 sont susceptibles d'être affectées par les eaux. Bas Guet Ndar dont 51% de la superficie est inondé par la crue, compte 697 concessions sur 1 371 qui peuvent être affectées par les eaux. Enfin, Goxu Mbacc qui préserve 54% de sa superficie hors d'atteinte de la crue centennale, apparaît comme le quartier le plus sûr de la Langue de Barbarie par rapport à la montée des eaux dans les conditions hydrologiques actuelles. Avec la submersion de 46% de sa superficie, 614 maisons sur 1 355 seront menacées.

Au niveau de la périphérie

Dans l'ensemble les quartiers de Ngallèle et surtout de Dakar-Bango restent à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario.

Les superficies affectées ou épargnées par les différents niveaux de montée des eaux, sont ainsi très variables dans les différents groupes de quartiers (fig. 91).

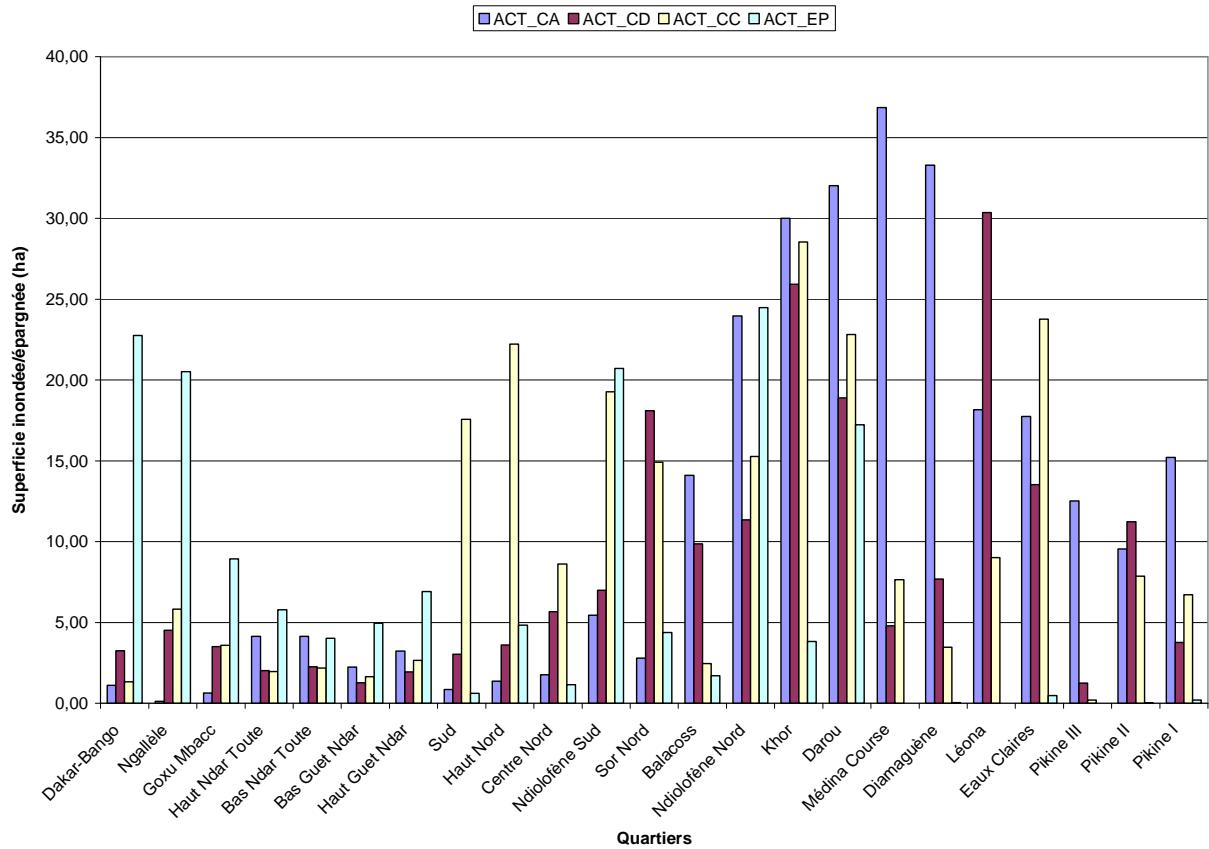


Figure 91 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le scénario actuel sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006)

ACT_CA = superficie inondée par la cote d'alerte à l'état actuel

ACT_CD = superficie inondée par la crue décennale à l'état actuel

ACT_CC = superficie inondée par la crue centennale à l'état actuel

ACT_EP = superficie épargnée par la montée des eaux à l'état actuel

Selon l'enquête socio-économique menée dans le cadre de l'élaboration du plan directeur d'urbanisme de la commune de Saint-Louis à l'horizon 2 025 (DUA, 2003), 95% des maisons sont construites en dur. Les murs sont en ciment tandis que 74% des toitures sont constituées de tôle en zinc ou en fibre ciment ; 21% des toitures sont formées de dalle en béton. Les maisons en banco ou en paille sont rares et localisées dans les quartiers périphériques et au niveau de la zone de Sor. Ceci témoigne de l'importance de l'investissement des populations dans l'amélioration de leur cadre de vie, avec l'accès à l'électricité, à l'eau courante, etc. L'inondation partielle ou totale de ces maisons porte ainsi un grand préjudice social, économique et moral. Ceci, d'autant plus que les structures d'accueil (établissements scolaires en général) des personnes affectées par les inondations, sont très vite submergées par les effectifs enregistrés.

Le nombre de personnes affectées

La presque totalité des concessions (91%) de la commune de Saint-Louis sont exclusivement destinées à l'habitation humaine (DUA, 2003). Sachant qu'en moyenne 9 personnes sont logées dans une même concession, le nombre de sinistrés provoqué par l'inondation des maisons est donc important. Il variera dans les différents groupes de quartier selon leur sensibilité à la montée des eaux dans les conditions hydrologiques actuelles.

Les quartiers de la zone de Sor (Ndiolofène Sud à Pikine I sur la fig. 91) qui sont rapidement inondés par la cote d'alerte et fortement submergés par la crue centennale à l'exception de Ndiolofène (nord et sud) et dans une moindre mesure Darou, sont les plus sensibles à la montée des eaux. Du fait de la cote d'alerte, ils devraient enregistrer 38 750 personnes sinistrées (tabl. 44) ; ce chiffre est largement comparable à celui de 35 490 sinistrés, estimés principalement dans ces quartiers, par le comité de gestion des inondations intervenues en 1998. Il correspond environ à 35% de la population de la zone de Sor. Les crues décennale et centennale y affecteront respectivement 72 318 personnes (66%) et 100 395 personnes (91%).

Les quartiers de l'île (Haut Nord, Centre Nord et Sud) sont peu affectés par la cote d'alerte mais presque entièrement submergés par la crue centennale. La cote d'alerte va y engendrer 823 sinistrés soit 6% de la population insulaire ; ce chiffre va s'élever à 3 418 sinistrés du fait de la crue décennale (25%) et à 12 326 personnes (92%) du fait de la crue centennale.

Les quartiers de la Langue de Barbarie (Goxu Mbacc, Ndar Toute, Guet Ndar) devront enregistrer 7 719 personnes sinistrées (18%) par la cote d'alerte, 14 468 personnes affectées (34%) par la crue décennale et 22 188 sinistrés (52%) par la crue centennale.

Les quartiers périphériques (Dakar-Bango et Ngallèle) sont très peu affectés par la montée des eaux dans les conditions actuelles.

Tableau 44 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de crue dans le scénario actuel sans les ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	ACT_CA (ha)	ACT_CD (ha)	ACT_CC (ha)	POP_ACT_CA (nombre pers.)	POP_ACT_CD (nombre pers.)	POP_ACT_CC (nombre pers.)
Dakar-Bango	28,47	4706	165	1,11	4,37	5,70	183	722	942
Ngallèle	30,98	3753	121	0,12	4,64	10,46	14	562	1267
Goux Mbacc	16,64	12829	771	0,62	4,11	7,70	478	3169	5936
Haut Ndar Toute	13,90	3587	258	4,15	6,16	8,12	1071	1590	2095
Bas Ndar Toute	12,60	3860	306	4,14	6,39	8,58	1268	1958	2628
Bas Guet Ndar	10,08	12724	1262	2,23	3,49	5,13	2815	4405	6476
Haut Guet Ndar	14,73	9516	646	3,23	5,18	7,82	2087	3346	5052
Sud	22,07	4518	205	0,85	3,88	21,45	174	794	4391
Haut Nord	32,03	4418	138	1,36	4,97	27,19	188	686	3750
Centre Nord	17,19	4485	261	1,77	7,43	16,04	462	1939	4185
Khor	88,29	4468	51	30,01	55,92	84,47	1519	2830	4275
Sor Nord	40,18	11611	289	2,80	20,91	35,81	808	6042	10349
Balacoss	28,11	5793	206	14,10	23,96	26,40	2907	4938	5442
Darou	90,96	8400	92	32,02	50,90	73,72	2957	4701	6808
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	23,95	35,30	50,58	1963	2893	4145
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201	5,44	12,42	31,71	1093	2497	6372
Médina Course	49,30		0	36,86	41,65	49,30	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256	33,30	40,98	44,44	8536	10504	11392
Léona	57,53	14373	250	18,16	48,53	57,53	4537	12124	14373
Eaux Claires	55,52	8579	155	17,75	31,28	55,04	2743	4833	8505
Pikine III	13,96		0	12,52	13,77	13,96	0	0	0
Pikine II	28,63	20578	719	9,54	20,77	28,63	6860	14931	20579
Pikine I	25,90	8219	317	15,22	18,99	25,71	4828	6026	8156
Total		174502					47489	91488	137119
%							27	52	79

POP_ACT_CA = population sinistrée par la cote d'alerte à l'état actuel

POP_ACT_CD = population sinistrée par la crue décennale à l'état actuel

POP_ACT_CC = population sinistrée par la crue centennale à l'état actuel

Au total, sur l'ensemble de la commune de Saint-Louis, compte non tenu des ouvrages de protection, le niveau de crue équivalent à la cote d'alerte peut engendrer 47 489 sinistrés (27% de la population communale), la crue décennale 91 488 sinistrés (52%) et la crue centennale 137 119 (79%). Ceci reflète la situation d'avant la mise en place des ouvrages de protection (1995) contre la montée des eaux : digues, relèvement des quais, etc. C'est également une situation qui peut se produire si ces ouvrages s'avèrent défectueux ou cèdent sous la pression des eaux de crue comme ce fut le cas, par endroits, en 1998 et 1999.

3.2.2. Avec les ouvrages de protection

Les digues réalisées en 1995 sont surtout destinées à protéger les quartiers de la zone de Sor situés au nord et au nord-est de la commune qui sont sous l'influence des eaux provenant du

marigot de Khor ; ce sont Darou, Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud et Médina Course. Mais ces ouvrages protègent en même temps, les quartiers situés plus à l'intérieur comme Balacoss, Diamaguène, Léona. Ces derniers sont aussi doublement protégés par le relèvement des quais le long de la rive gauche du fleuve Sénégal et par la route nationale n° 2 qui les sépare du cours d'eau. C'est le cas également de Sor Nord qui est isolé du fleuve par les quais et par la route de la corniche. Les quais réhaussés ceinturent également l'île protégeant les quartiers de Haut Nord, Centre Nord et Sud. C'est donc, principalement certains quartiers de la zone de Sor et l'île qui bénéficient de ces mesures.

La prise en compte des digues et quais de protection, réduit considérablement le risque d'inondation au niveau de ces quartiers (fig. 92).

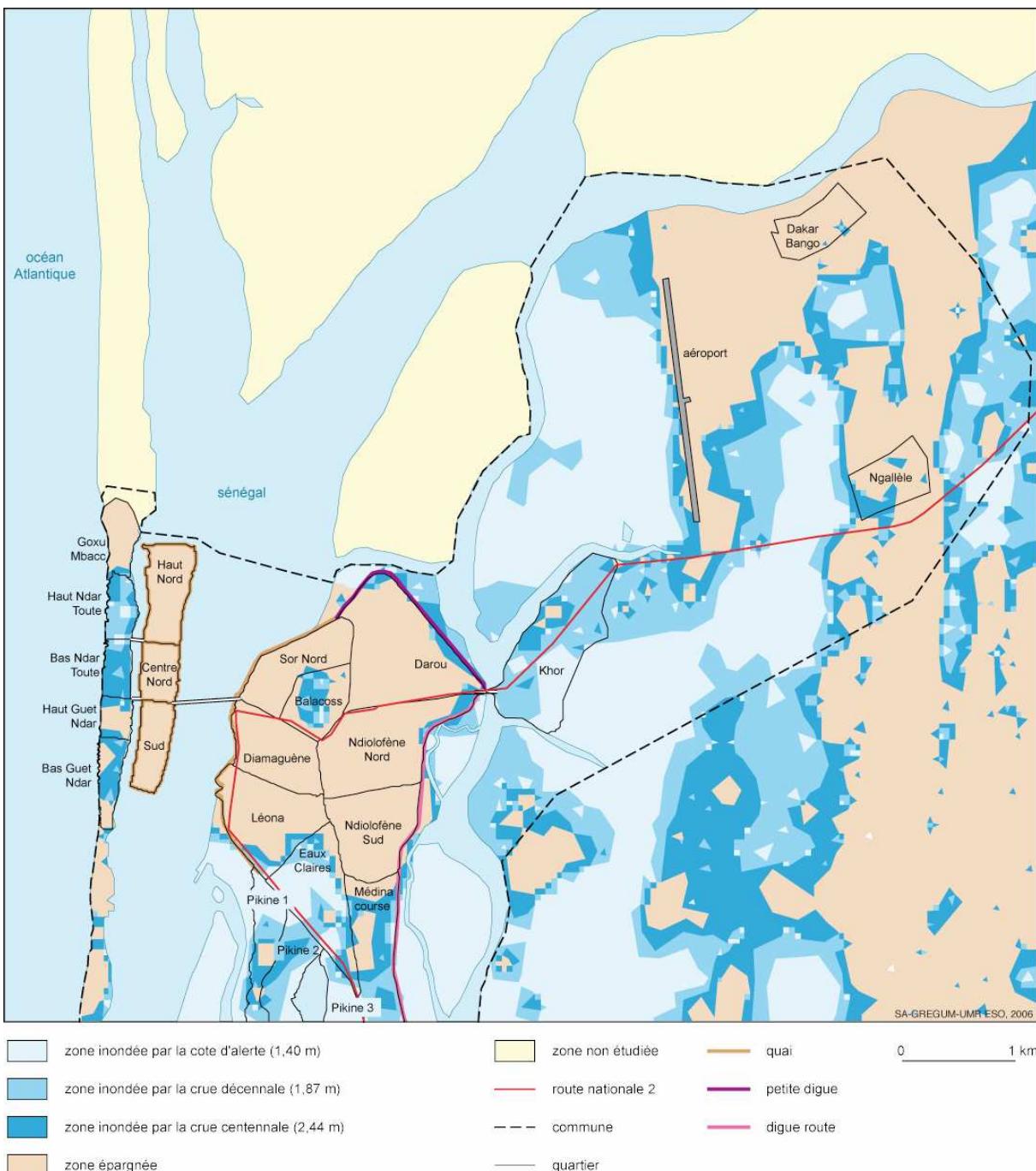


Figure 92 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de crue à l'état actuel compte tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006).

Les superficies inondées sont nettement plus faibles et les impacts qui peuvent en découler seront également atténués (tabl. 45).

Tableau 45 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de crue dans le scénario actuel compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	ACT_CA (ha)	ACT_CA (%)	ACT_CD (ha)	ACT_CD (%)	ACT_CC (ha)	ACT_CC (%)	ACT_EP (ha)	ACT_EP (%)
Dakar-Bango	28,47		0,00	0,24	0,85	0,90	3,15	27,57	96,85
Ngallèle	30,98		0,00	0,72	2,31	7,36	23,76	23,62	76,25
Goux Mbacc	16,64		0,00	0,07	0,45	1,06	6,38	15,58	93,63
Haut Ndar Toute	13,90	1,66	11,95	9,31	66,98	13,84	99,56	0,06	0,45
Bas Ndar Toute	12,60	0,69	5,45	3,09	24,56	12,29	97,58	0,31	2,43
Bas Guet Ndar	10,08	0,24	2,41	0,39	3,91	4,17	41,41	5,90	58,59
Haut Guet Ndar	14,73		0,00	1,07	7,24	9,47	64,29	5,26	35,70
Sud	22,07		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,07	100,00
Haut Nord	32,03		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,03	100,00
Centre Nord	17,19		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,19	100,00
Ndiolofène Sud	52,42		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,42	100,00
Sor Nord	40,18		0,00	0,01	0,02	0,49	1,22	39,69	98,78
Balacoss	28,11	0,88	3,14	5,20	18,51	12,92	45,97	15,19	54,04
Ndiolofène Nord	75,06	0,16	0,21	0,77	1,03	5,11	6,81	69,95	93,19
Khor	88,29	25,97	29,41	76,20	86,31	86,04	97,45	2,25	2,55
Darou	90,96	0,13	0,15	1,84	2,03	9,61	10,57	81,35	89,43
Médina Course	49,30	2,75	5,57	15,51	31,47	34,07	69,11	15,23	30,90
Diamaguène	44,47		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,47	100,00
Léona	57,53	0,73	1,27	3,13	5,44	7,59	13,19	49,94	86,81
Eaux Claires	55,51	24,72	44,54	39,22	70,65	47,57	85,69	7,95	14,32
Pikine III	13,96	11,19	80,17	13,30	95,33	13,96	100,00		0,00
Pikine II	28,64	7,98	27,85	21,58	75,35	28,42	99,24	0,22	0,76
Pikine I	25,90	10,42	40,22	17,17	66,27	22,46	86,72	3,44	13,28

ACT_CA = superficie inondée par la cote d'alerte à l'état actuel

ACT_CD = superficie inondée par la crue décennale à l'état actuel

ACT_CC = superficie inondée par la crue centennale à l'état actuel

ACT_EP = superficie épargnée par les crues à l'état actuel

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte (1,40 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers protégés sont à l'abri de la cote d'alerte. Médina Course n'est touché qu'à 6% contre 75% sans les digues. Les autres quartiers se situent entre 0 et 3% tandis qu'ils étaient inondés jusqu'à 30 à 50% sans la prise en compte des ouvrages. L'habitat est ainsi pratiquement préservé. L'édification des digues et le relèvement des quais sauvent des eaux environ 7 306 concessions par rapport à une crue équivalente à la cote d'alerte.

Au niveau de l'île

Avec le relèvement des quais, les quartiers de l'île (Haut Nord, Centre Nord, Sud) sont complètement à l'abri de la cote d'alerte dans les conditions hydrologiques actuelles.

L'habitat est ainsi entièrement préservé. Avant l'édification des ouvrages, ils étaient très faiblement affectés par la cote d'alerte (4% à 10%).

Impacts liés à la crue décennale (1,87 m)

Dans la zone de Sor

Médina course, le quartier protégé le plus affecté est inondé à 31% contre 84% sans les digues. Balacoss est inondé à 19% (contre 85% sans les ouvrages) ce qui peut mettre 258 maisons sur 1 247 sous la menace des eaux. Diamagène, Sor Nord, Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud sont totalement à l'abri de la crue décennale dans les conditions actuelles tandis que Darou et Léona seulement submergés à 2% et 5% sont très protégés. Plus de la moitié de ces quartiers jusqu'à plus de 90% de leur superficie étaient inondés sans la prise en compte des ouvrages. L'habitat est également bien préservé de la crue décennale dans les quartiers protégés.

Au niveau de l'île

Les quartiers de l'île sont entièrement à l'abri de la crue décennale dans les conditions hydrologiques actuelles et compte tenu du relèvement des quais. L'habitat reste préservé. Avant cette mesure de protection, Haut Nord (16%) et Sud (18%) étaient faiblement affectés tandis que Centre Nord (43%) était moyennement touché.

Les impacts liés à la crue centennale (2,44 m)

Dans la zone de Sor

Médina Course est submergé à 69% tandis qu'il était totalement inondé sans les ouvrages de protection. Balacoss est inondé à 46% contre 93% sans les ouvrages. Ainsi, 559 concessions sur un total de 1 247 dans ce quartier peuvent être menacées par la montée des eaux. Les quartiers de Léona (13%), Darou (11%), Ndiolofène Nord (7%) sont légèrement affectés par la crue centennale alors qu'ils étaient entièrement submergés ou presque sans les ouvrages. Diamaguène, Sor Nord et Ndiolofène Sud sont totalement protégés de la crue centennale à l'état actuel alors qu'ils étaient également presque entièrement inondés en l'absence des ouvrages de protection. L'habitat est ainsi peu affecté dans les quartiers protégés sauf au niveau de Médina Course et quelques maisons à Balacoss.

Au niveau de l'île

Le relèvement des quais protège entièrement les quartiers de l'île de la crue centennale dans les conditions hydrologiques actuelles. L'habitat reste ainsi intact. Sans cette mesure de protection, ils étaient presque entièrement submergés par ce niveau de crue.

La mise en place des ouvrages de protection se révèle totalement efficace au niveau de la partie insulaire de la commune dans les conditions hydrologiques actuelles. Les quartiers de Haut Nord, Centre Nord et Sud sont entièrement à l'abri des différents niveaux de crue et l'habitat est préservé. Ces ouvrages sont également efficaces dans la zone de Sor. Diamaguène, Ndiolofène Sud et Sor Nord sont entièrement à l'abri du débordement du cours d'eau dans les conditions actuelles. L'inondation des autres quartiers protégés est fortement atténuée par la présence des ouvrages : Ndiolofène Nord est protégée à 93%, Darou à 89% et Léona à 87%. Les impacts sur l'habitat sont ainsi fortement atténués. Médina Course qui n'est épargné qu'à 31% dans les conditions actuelles, malgré la présence de la digue route, est le quartier protégé le plus affecté. Cette zone d'anciennes vasières est inadaptée à l'habitat. Les quartiers de Sor (Pikine I, II, III, Eaux Claires et Khor) et de la Langue de Barbarie (Ndar Toute, Guet Ndar) peu ou pas protégés par les ouvrages, sont fortement affectés par la montée des eaux (fig. 93).

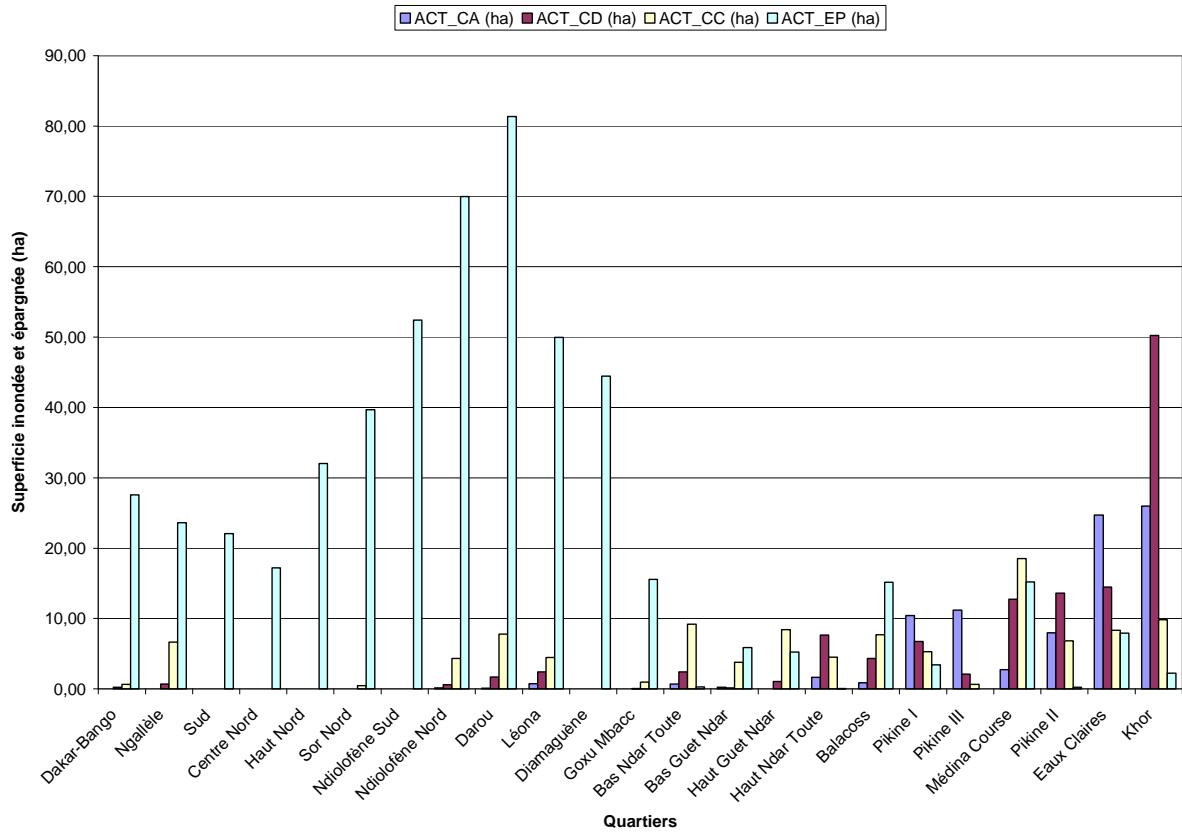


Figure 93 : Superficie inondée et épargnée par quartier dans le scénario actuel compte tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006)

ACT_CA = superficie inondée par la cote d'alerte à l'état actuel

ACT_CD = superficie inondée par la crue décennale à l'état actuel

ACT_CC = superficie inondée par la crue centennale à l'état actuel

ACT_EP = superficie épargnée par la montée des eaux à l'état actuel

Le nombre de personnes sinistrées

Le nombre de personnes sinistrées par la montée des eaux dans les conditions actuelles est fortement atténué dans les quartiers protégés (tabl. 46).

Tableau 46 : Nombre de personnes sinistrées par les différentes crues dans le scénario actuel compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	ACT_CA (ha)	ACT_CD (ha)	ACT_CC (ha)	POP_ACT_CA (nombre de personnes)	POP_ACT_CD (nombre de personnes)	POP_ACT_CC (nombre de personnes)
Dakar-Bango	28,47	4706	165		0,24	0,90	0	40	148
Ngallèle	30,98	3753	121		0,72	7,36	0	87	892
Goux Mbacc	16,64	12829	771		0,07	1,06	0	57	818
Haut Ndar Toute	13,90	3587	258	1,66	9,31	13,84	429	2403	3571
Bas Ndar Toute	12,60	3860	306	0,69	3,09	12,29	211	948	3766
Bas Guet Ndar	10,08	12724	1262	0,24	0,39	4,17	306	497	5269
Haut Guet Ndar	14,73	9516	646		1,07	9,47	0	689	6118
Sud	22,07	4518	205		0,00	0,00	0	0	0
Haut Nord	32,03	4418	138		0,00	0,00	0	0	0
Centre Nord	17,19	4485	261		0,00	0,00	0	0	0
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201		0,00	0,00	0	0	0
Sor Nord	40,18	11611	289		0,01	0,49	0	2	141
Balacoss	28,11	5793	206	0,88	5,20	12,92	182	1072	2663
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	0,16	0,77	5,11	13	63	419
Khor	88,29	4468	51	25,97	76,20	86,04	1314	3856	4354
Darou	90,96	8400	92	0,13	1,84	9,61	12	170	888
Médina Course	49,30		0	2,75	15,51	34,07	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256		0,00	0,00	0	0	0
Léona	57,53	14373	250	0,73	3,13	7,59	182	782	1896
Eaux Claires	55,51	8579	155	24,72	39,22	47,57	3821	6061	7351
Pikine III	13,96		0	11,19	13,30	13,96	0	0	0
Pikine II	28,64	20578	719	7,98	21,58	28,42	5731	15505	20422
Pikine I	25,90	8219	317	10,42	17,17	22,46	3306	5447	7127
Total		174502					15507	37680	65845
%							9	22	38

POP_ACT_CA = population sinistrée par la cote d'alerte à l'état actuel

POP_ACT_CD = population sinistrée par la crue décennale à l'état actuel

POP_ACT_CC = population sinistrée par la crue centennale à l'état actuel

Aucun sinistré n'est enregistré sur l'île avec la prise en compte du relèvement des quais quel que soit le niveau de crue dans le scénario actuel. C'est la même situation qui prévaut dans les quartiers bien protégés de la zone de Sor (Ndiolofène Sud, Sor Nord, Diamaguène). Les sinistrés sont enregistrés dans les quartiers pas ou peu protégés. Ils sont au nombre de 14 367 personnes dans la zone de Sor du fait de la cote d'alerte (soit 13% de la population de ce secteur), 31 822 (29%) engendrés par la crue décennale et 42 039 (38%) par la crue centennale.

Sur l'ensemble de la commune de Saint-Louis, dans les conditions actuelles et compte tenu des ouvrages de protection mis en place, la cote d'alerte affecte 15 507 personnes (9% de la population communale), la crue décennale 37 680 personnes (22%) et la crue centennale 65 845 personnes (38%).

3.3. Les impacts dans le pronostic bas

3.3.1. Sans les ouvrages de protection

D'ici à 2 100, les niveaux d'eau dans le delta vont être influencés par l'élévation prévue du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Avec l'élévation minimale (0,11 m) déterminée par le GIEC (2001), l'effet de la cote d'alerte et des crues décennale et centennale va être accentué. Sans les ouvrages de protection, plusieurs quartiers de la commune de Saint-Louis vont ainsi être fortement submergés par les eaux (fig. 94).

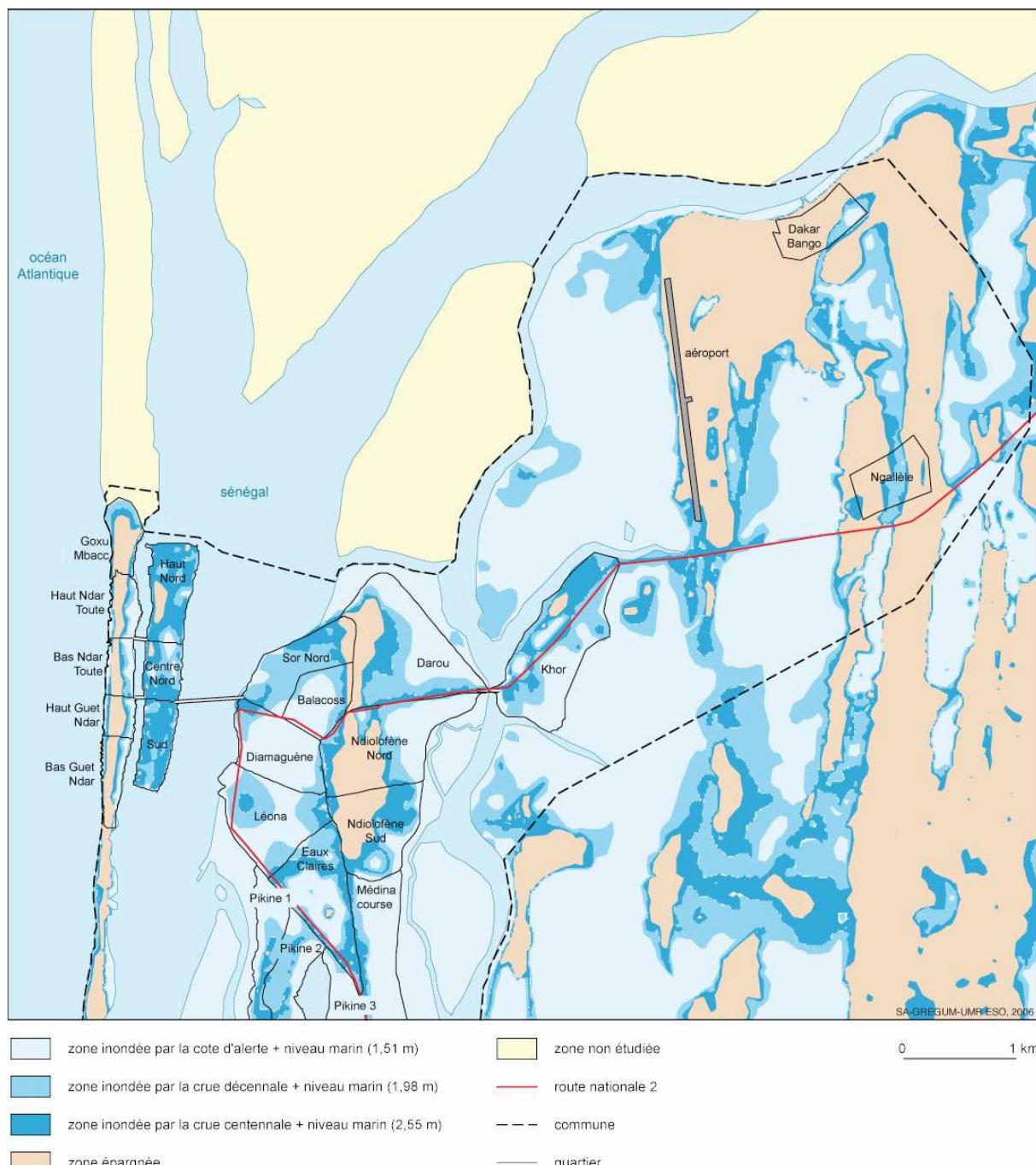


Figure 94 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006).

Les superficies inondées sont importantes et les impacts qui peuvent en découler sont également considérables (tabl. 47).

Tableau 47 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas sans les ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	BAS_CA (ha)	BAS_CA (%)	BAS_CD (ha)	BAS_CD (%)	BAS_CC (ha)	BAS_CC (%)	BAS_EP (ha)	BAS_EP (%)
Dakar-Bango	28,47	2,01	7,07	4,71	16,56	5,79	20,33	22,68	79,67
Ngallèle	30,98	0,13	0,42	5,82	18,79	11,31	36,50	19,67	63,50
Khor	88,29	36,77	41,65	64,39	72,93	86,15	97,58	2,14	2,43
Goux Mbacc	16,64	1,37	8,23	4,66	28,02	8,24	49,54	8,40	50,46
Haut Ndar Toute	13,90	4,64	33,40	6,42	46,20	8,53	61,33	5,38	38,66
Bas Ndar Toute	12,60	4,66	36,98	6,84	54,27	8,85	70,26	3,75	29,74
Bas Guet Ndar	10,08	2,47	24,53	3,78	37,46	5,54	54,94	4,54	45,07
Haut Guet Ndar	14,73	3,87	26,30	5,87	39,83	8,28	56,20	6,45	43,80
Sud	22,07	1,47	6,64	7,45	33,74	21,93	99,37	0,14	0,61
Haut Nord	32,03	2,42	7,56	8,20	25,59	28,86	90,09	3,17	9,90
Centre Nord	17,19	3,02	17,54	9,16	53,27	16,71	97,22	0,48	2,76
Sor Nord	40,18	4,62	11,50	26,30	65,45	36,35	90,46	3,83	9,54
Balacoss	28,11	16,97	60,39	24,84	88,38	26,67	94,89	1,44	5,11
Darou	90,96	36,59	40,23	58,79	64,63	74,83	82,27	16,13	17,73
Ndiolofène Nord	75,06	26,61	35,44	40,34	53,74	51,59	68,73	23,47	31,27
Ndiolofène Sud	52,42	6,86	13,09	15,95	30,42	33,23	63,39	19,19	36,60
Médina Course	49,30	38,09	77,26	43,58	88,40	49,30	100,00		0,00
Diamaguène	44,47	36,26	81,54	42,28	95,07	44,47	100,00		0,00
Léona	57,53	29,67	51,56	53,38	92,79	57,53	100,00		0,00
Eaux Claires	55,52	20,54	37,00	38,11	68,64	55,11	99,27	0,40	0,72
Pikine III	13,96	12,87	92,21	13,94	99,88	13,96	99,97		0,00
Pikine II	28,63	10,54	36,81	25,56	89,29	28,64	100,03		0,00
Pikine I	25,90	16,06	62,01	21,52	83,06	25,81	99,63	0,10	0,37

BAS_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic bas

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas (1,51 m)

Dans la zone de Sor

La cote d'alerte du fleuve associée au niveau d'élévation de la mer le plus bas prévu d'ici à 2100, affecte déjà une bonne partie des quartiers les plus vulnérables de la zone de Sor. Pikine III est inondé à 92% ; de ce fait, 920 concessions sur les 1 002 qui composent le quartier se retrouvent sous la menace des eaux. Le quartier de Diamaguène dont 82% de la superficie est inondé, compte 905 maisons sur un total de 1 091 menacées par les eaux. Médina Course est submergé à 77%. Pikine I est inondé à 62% ; ainsi, 343 concessions sur 561 qui composent le quartier risquent d'être affectées. Le quartier de Balacoss dont 60% de la superficie est

submergé compte 731 maisons sur 1 247 menacées par la montée des eaux. Léona inondé à 52%, comprend 459 concessions sur 879 sous la menace des eaux. Le quartier de Khor est inondé à 42% ; de ce fait, 122 maisons sur 293 risquent d'être affectées par la montée des eaux. Darou est submergé à 40% par la crue. Eaux Claires dont 37% de la superficie est inondé, compte 450 concessions sur 1 245 sous la menace des eaux. Ndiolofène Nord est inondé à 35% ; ainsi, 304 maisons sur un total de 891 sont menacées par les eaux. Les quartiers de Sor Nord (12%) et Ndiolofène Sud (13%) sont les moins inondés dans ce secteur, dans le pronostic bas. A Sor Nord, 100 concessions sur 840 risquent d'être affectées par la montée des eaux tandis qu'à Ndiolofène Sud, ce nombre est de 148 sur 1 158.

Au niveau de l'île

La partie insulaire de la commune est pratiquement à l'abri de la cote d'alerte combinée à l'élévation du niveau de la mer dans le pronostic bas. Les quartiers de Sud et de Haut Nord ne sont respectivement affectés qu'à 7% et 8%. Ce qui fait que seules 37 concessions sur 449 à Sud et 27 maisons sur 406 à Haut Nord, risquent d'être affectées par la montée des eaux. Le quartier de Centre Nord, inondé à 18%, est le plus touché dans l'île. Ainsi, 85 concessions sur 541 sont sous la menace des eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Dans ce secteur, les quartiers sont moyennement affectés par la cote d'alerte associée à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas. Bas Ndar Toute, inondé à 37% est le plus affecté ; ce qui fait que 124 concessions sur un total de 346 sont menacées par la montée des eaux. Le quartier de Haut Ndar Toute dont 33% de la superficie est submergé par les eaux, compte 186 concessions sur 558 sont sous la menace des eaux. Haut Guet Ndar est inondé à 26% ; ainsi, 292 maisons sur 1 069 risquent d'être affectées par la montée des eaux. Bas Guet Ndar dont 25% de la superficie est submergé, compte 343 concessions sur un total de 1 371 menacées par la montée des eaux. Enfin, Goxu Mbacc qui apparaît comme le quartier le moins affecté dans ce secteur avec seulement 8% de sa superficie inondé, comprend 102 maisons sur 1 355 sous la menace des eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Ngallèle et de Dakar-Bango, situés à la périphérie de la commune, sur d'anciens cordons littoraux, sont à l'abri de la cote d'alerte combinée à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas.

Impacts liés à la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas (1,98 m)

Dans la zone de Sor

Plusieurs quartiers sont très fortement affectés par la crue décennale combinée à l'élévation du niveau de la mer dans le pronostic bas. Pikine III, le plus affecté, est presque entièrement inondé ; ce qui fait que ces 1 002 concessions sont sous la menace des eaux. Diamaguène qui est submergé à 95% compte 1 045 concessions sur 1 091 menacées par la montée des eaux. Le quartier de Léona dont 93% de la superficie est inondé, compte 815 maisons sur un total de 879 sous la menace des eaux. Pikine II est inondé à 89% ; ainsi, 1 801 concessions sur 2 011 risquent d'être submergées par la montée des eaux. Médina Course est inondé à 88%. Le quartier de Balacoss dont 88% de la superficie est également submergé, compte 1 118 concessions sur 1 247 sous la menace des eaux. Pikine I est inondé à 83% ; de ce fait, 468 maisons sur un total de 561 risquent d'être affectées par la montée des eaux. Le quartier de Khor inondé à 73% compte 215 concessions sur 293 sous la menace des eaux. Eaux Claires submergé à 68%, compte 848 maisons sur un total de 1 245 menacées par la montée des eaux. Le quartier de Sor Nord dont 65% de la superficie est inondé, enregistre 540 concessions sur 840 qui risquent d'être affectées par les eaux. Darou est également inondé à 65%. Ndiolofène Nord submergé à 54%, compte 486 maisons sur 891 sous la menace des eaux. Enfin, le quartier de Ndiolofène Sud qui n'est inondé qu'à 30%, est le moins affecté par la montée des eaux. Il compte 350 concessions sur 1 158 menacées par les eaux.

Au niveau de l'île

Les quartiers de la partie insulaire de la commune de Saint-Louis sont en général moyennement affectés par la crue décennale combinée à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas. Centre Nord dont 53% de la superficie est inondé, est le plus affecté ; il compte 285 concessions sur 541 sous la menace des eaux. Sud est inondé à 34% ; ce qui fait que 150 maisons sur 449 sont menacées par la montée des eaux. Enfin, le quartier de Haut Nord, inondé à 26% est le moins affecté dans ce secteur ; il compte 108 concessions sur 406 menacées par la montée des eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers situés sur ce cordon littoral sont dans l'ensemble assez fortement affectés par la crue décennale du fleuve associée à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas. Bas Ndar Toute, le plus touché est inondé à 54% ; ce qui met 198 concessions sur 346 sous la menace des eaux. Haut Ndar Toute dont 46% de la superficie est submergée compte 248 maisons sur un total de 558 sous la menace de la montée des eaux. Haut Guet Ndar est inondé à 40% ; ce qui fait que 437 concessions sur 1 069 risquent d'être affectées par les eaux. Le

quartier de Bas Guet Ndar est inondé à 37% comptant ainsi 508 concessions sur 1 371 sous la menace des eaux. Dans ce secteur, le quartier de Goxu Mbacc, seulement inondé à 28% est le plus à l'abri. Il compte 383 concessions sur 1 355 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Dakar-Bango et de Ngallèle situés sur d'anciens cordons littoraux, à une dizaine de kilomètres du centre ville, sont pratiquement à l'abri de la crue décennale associée à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas.

Impacts liés à la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas (2,55 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers de Diamaguène, Léona, Médina Course, Pikine I, II et III, Eaux Claires et Khor sont totalement submergés par la crue centennale combinée à l'élévation du niveau de la mer dans le pronostic bas. Ce qui correspond à 7 082 concessions sous la menace des eaux. Balacoss est inondé à 95% comptant ainsi 1 204 maisons sur un total de 1 247 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Sor Nord est submergé à 90% et enregistre 760 concessions sur 840 menacées par la montée des eaux. Le quartier de Darou est inondé à 82%. Ndiolofène Nord inondé à 69% et surtout Ndiolofène Sud inondé à 63%, sont les quartiers du secteur de Sor, les moins affectés. Ils comptent ainsi respectivement 608 concessions sur 891 et 727 maisons sur 1 158 sous la menace de la montée des eaux.

Au niveau de l'île

Les quartiers de l'île sont fortement affectés par la crue centennale combinée à l'élévation du niveau de la mer dans le pronostic bas. Sud est presque entièrement submergé ; la totalité des 449 concessions du quartier sont ainsi menacées par les eaux. Centre Nord dont 97% de la superficie est inondé, compte 513 maisons sur 541 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Enfin, Haut nord qui est inondé à 90% est le moins touché du secteur et enregistre 365 concessions sur 406 qui sont menacées par la montée des eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers sont fortement affectés par la crue centennale du fleuve combinée à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas. Bas Ndar Toute qui est le plus touché est inondé à 70% ; ce qui fait que 247 concessions sur un total de 346 sont sous la menace des eaux. Haut Ndar Toute est submergé à 61% comptant ainsi 341 maisons sur 558 menacées par la montée des eaux. Le quartier de Haut Guet Ndar dont 56% de la superficie est inondé, enregistre ainsi 583 concessions sur 1 069 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Bas Guet Ndar

submergé à 55% compte 756 maisons sur un total de 1 371 sous la menace des eaux. Enfin, Goxu Mbacc, le quartier le moins affecté du secteur, est à moitié inondé ; de ce fait 690 concessions sur 1 355 se retrouvent sous la menace de la montée des eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Dakar-Bango et de Ngallèle restent pratiquement à l'abri de la crue centennale du fleuve combinée à l'élévation du niveau de la mer dans le pronostic bas. Ils sont respectivement épargnés par la montée des eaux à 80% et 63%.

Dans le pronostic bas de montée combinée des eaux du fleuve Sénégal et de l'Océan Atlantique, compte non tenu des ouvrages de protection, les superficies inondées dans les différents quartiers sont importantes. A l'exception des quartiers périphériques, la plupart sont au moins à moitié inondés par la crue décennale et entièrement ou presque par la crue centennale combinées à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas (fig. 95).

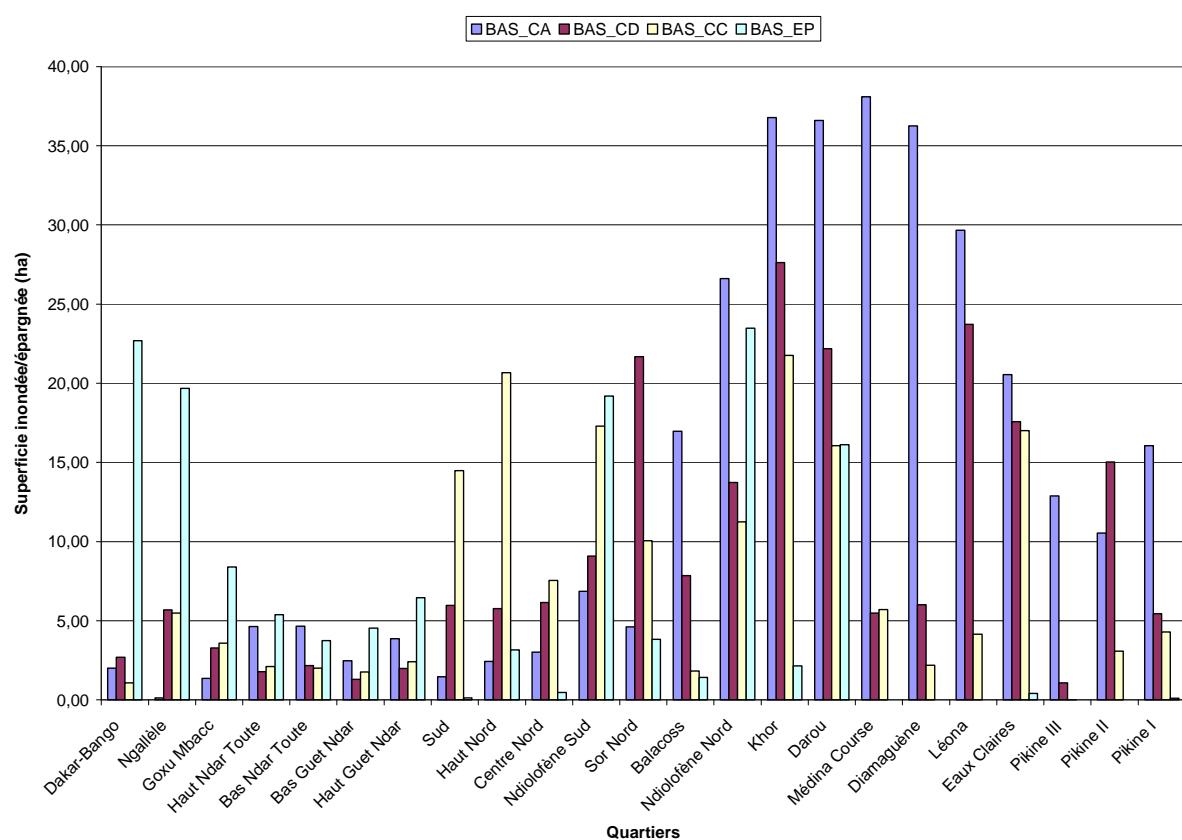


Figure 95 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le pronostic bas sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006)

BAS_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic bas

Le nombre de concessions qui risquent d'être affectées par la montée des eaux est ainsi élevé, portant un grand préjudice économique et social aux populations qui ont consenti un effort d'investissement conséquent.

Le nombre de personnes affectées

Le nombre de personnes affectées par les inondations varie en fonction de la vulnérabilité des quartiers par rapport aux différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas.

La majorité des *quartiers de la zone de Sor* (Ndiolofène Sud à Pikine I sur la fig. 95), est fortement submergée par la cote d'alerte combinée à l'élévation du niveau marin dans le pronostic bas ; Ce niveau de montée des eaux va engendrer dans ce secteur 46 185 sinistrés soit 42% de la population de la zone de Sor (tabl. 48). Ces quartiers, excepté essentiellement les superficies épargnées à Ndiolofène Nord (31%) et Ndiolofène Sud (37%), sont totalement inondés par les crues décennale et centennale combinées au niveau marin dans le pronostic bas. Ces dernières peuvent provoquer respectivement 83 181 sinistrés (76%) et 101 238 sinistrés (92%) dans ce secteur.

Les *quartiers de l'île*, sont peu sensibles à la cote d'alerte associée au niveau de la mer dans le pronostic bas qui devrait engendrer 1 421 personnes sinistrées (11% de la population du secteur). Ils sont surtout affectés par les crues décennale et centennale combinées au niveau marin dans le pronostic bas. Ces dernières devraient engendrer respectivement 5 044 et 12 830 sinistrés soit 38% et 96% de la population insulaire.

Les *quartiers de la Langue de Barbarie* sont dans l'ensemble moyennement affectés par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas. La cote d'alerte associée au niveau marin va provoquer 9 303 sinistrés (22% de la population du secteur). Les crues décennale et centennale combinées au niveau marin dans le pronostic bas devraient provoquer respectivement 15 902 (37%) et 23 603 sinistrés (56%).

Les *quartiers périphériques* de Dakar-Bango et Ngallèle sont peu affectés par la montée des eaux dans le pronostic bas.

Tableau 48 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas sans les ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	BAS_CA (ha)	BAS_CD (ha)	BAS_CC (ha)	POP_BAS_CA (nombre pers.)	POP_BAS_CD (nombre pers.)	POP_BAS_CC (nombre pers.)
Dakar-Bango	28,47	4706	165	2,01	4,71	5,79	333	779	957
Ngallèle	30,98	3753	771	1,37	4,66	8,24	1055	3595	6356
Goux Mbacc	88,29	12829	258	4,64	6,42	8,53	1198	1658	2201
Haut Ndar Toute	16,64	3587	306	4,66	6,84	8,85	1427	2095	2711
Bas Ndar Toute	13,90	3860	1262	2,47	3,78	5,54	3120	4765	6988
Bas Guet Ndar	12,60	12724	646	3,87	5,87	8,28	2502	3790	5347
Haut Guet Ndar	10,08	9516	205	1,47	7,45	21,93	300	1524	4489
Sud	14,73	4518	138	2,42	8,20	28,86	334	1131	3981
Haut Nord	22,07	4418	261	3,02	9,16	16,71	787	2389	4361
Centre Nord	32,03	4485	51	36,77	64,39	86,15	1861	3259	4360
Khor	17,19	4468	771	1,37	4,66	8,24	1055	3595	6356
Sor Nord	40,18	11611	289	4,62	26,30	36,35	1335	7599	10503
Balacoss	28,11	5793	206	16,97	24,84	26,67	3499	5120	5497
Darou	90,96	8400	92	36,59	58,79	74,83	3379	5429	6910
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	26,61	40,34	51,59	2180	3306	4227
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201	6,86	15,95	33,23	1379	3205	6679
Médina Course	49,30		0	38,09	43,58	49,30	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256	36,26	42,28	44,47	9295	10837	11399
Léona	57,53	14373	250	29,67	53,38	57,53	7411	13336	14373
Eaux Claires	55,52	8579	155	20,54	38,11	55,11	3174	5889	8516
Pikine III	13,96		0	12,87	13,94	13,96	0	0	0
Pikine II	28,63	20578	719	10,54	25,56	28,64	7576	18374	20584
Pikine I	25,90	8219	317	16,06	21,52	25,81	5096	6827	8188
Total		174502					57258	105611	139998
%							33	61	80

POP_BAS_CA = population sinistrée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas

POP_BAS_CD = population sinistrée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

POP_BAS_CC = population sinistrée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

Dans l'ensemble de la commune de Saint-Louis, la cote d'alerte associée au niveau marin dans le pronostic bas peut provoquer 57 258 sinistrés soit 33% de la population communale, la crue décennale combinée au niveau marin, 105 611 sinistrés (61%) et la crue centennale associée au niveau marin, 139 988 sinistrés (83%).

3.3.2. Avec les ouvrages de protection

L'édification d'ouvrages de protection (digues, quais) autour de certains quartiers de la zone de Sor et au niveau de l'île, réduit sensiblement l'extension des zones inondées (fig. 96).

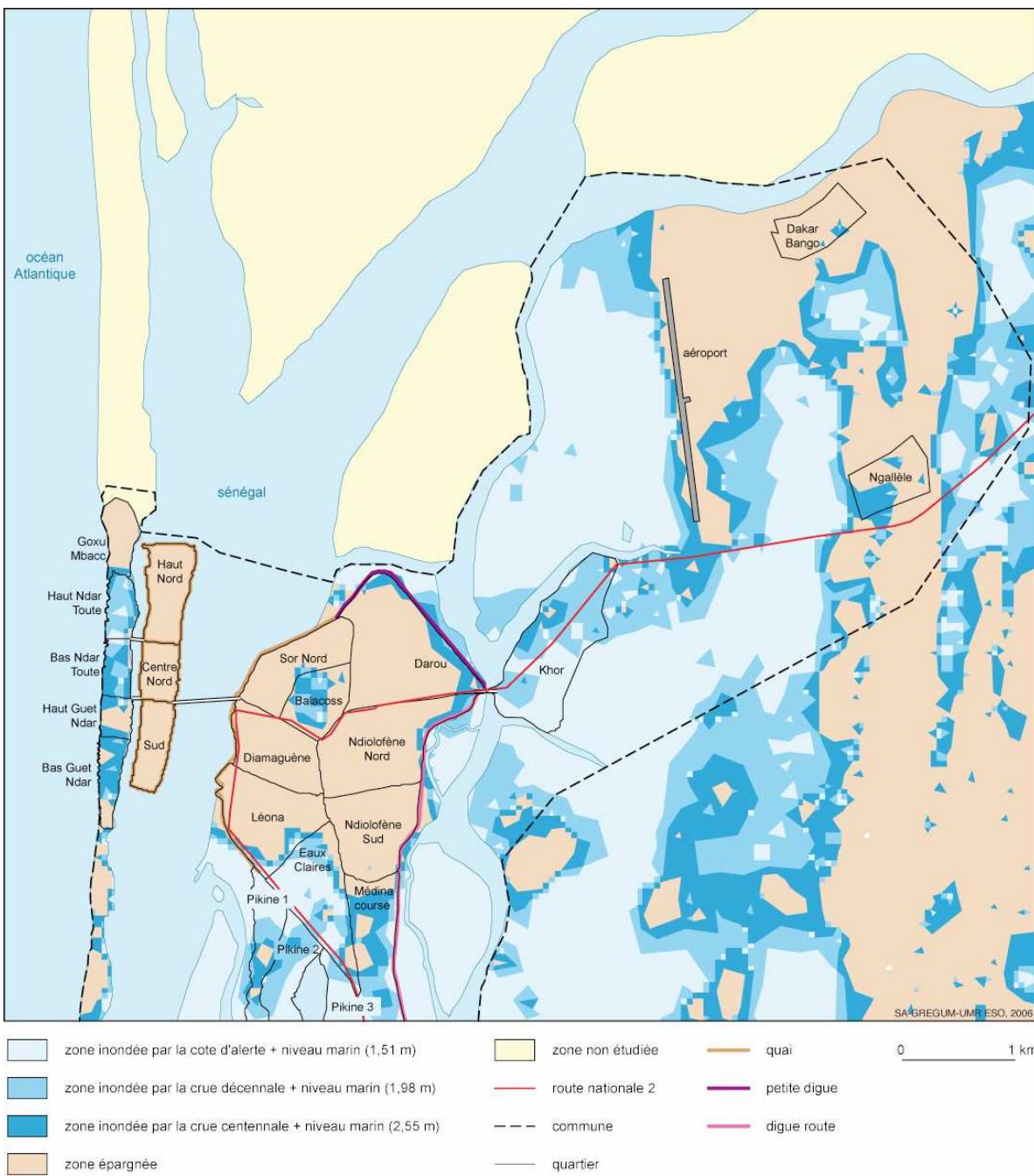


Figure 96 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006).

Les superficies inondées par la montée des eaux dans la commune de Saint-Louis ont sensiblement diminué (tabl. 49).

Tableau 49 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	BAS_CA (ha)	BAS_CA (%)	BAS_CD (ha)	BAS_CD (%)	BAS_CC (ha)	BAS_CC (%)	BAS_EP (ha)	BAS_EP (%)
Dakar-Bango	28,47	0,00	0,00	0,16	0,55	1,12	3,92	27,35	96,08
Ngallèle	30,98	0,16	0,50	0,64	2,07	9,49	30,64	21,49	69,37
Goux Mbacc	16,64	0,00	0,00	0,02	0,12	1,18	7,08	15,46	92,92
Haut Ndar Toute	13,90	1,93	13,85	11,10	79,83	13,79	99,21	0,11	0,80
Bas Ndar Toute	12,60	1,15	9,14	5,73	45,53	12,38	98,29	0,22	1,72
Bas Guet Ndar	10,08	0,24	2,41	0,71	7,02	5,04	49,99	5,04	50,01
Haut Guet Ndar	14,73	0,24	1,65	1,56	10,56	10,68	72,50	4,05	27,50
Sud	22,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,07	100,00
Haut Nord	32,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,03	100,00
Centre Nord	17,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,19	100,00
Ndiolofène Sud	52,42	0,00	0,00	0,17	0,32	0,23	0,44	52,19	99,56
Sor Nord	40,18	0,00	0,00	0,43	1,07	1,02	2,55	39,16	97,45
Balacoss	28,11	0,81	2,87	6,65	23,68	15,05	53,54	13,06	46,47
Ndiolofène Nord	75,06	0,18	0,24	1,21	1,61	6,07	8,09	68,99	91,91
Khor	88,29	39,27	44,48	79,96	90,56	87,18	98,74	1,11	1,26
Darou	90,96	0,21	0,23	2,05	2,25	13,08	14,38	77,88	85,62
Médina Course	49,30	5,31	10,76	17,81	36,12	36,99	75,03	12,31	24,98
Diamaguène	44,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,47	100,00
Léona	57,53	1,63	2,84	3,96	6,88	8,36	14,54	49,17	85,46
Eaux Claires	55,51	27,82	50,12	42,73	76,97	48,66	87,65	6,86	12,36
Pikine III	13,96	11,62	83,26	13,92	99,75	13,96	100,00	0,00	0,00
Pikine II	28,64	10,91	38,09	24,91	87,00	28,52	99,59	0,12	0,42
Pikine I	25,90	11,26	43,48	18,58	71,74	23,40	90,35	2,50	9,65

BAS_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic bas

Ceci se traduit par une réduction des impacts de la montée des eaux dans les différents quartiers.

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas (1,51 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers protégés (Médina Course, Diamaguène, Léona, Sor Nord, Darou, Balacoss, Ndiolofène Sud, Ndiolofène Nord) sont pratiquement à l'abri de la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas. L'habitat est ainsi bien préservé. Médina Course, le plus affecté, n'est inondé qu'à 11% contre 77% si la digue route n'était pas en place. Les autres quartiers étaient inondés dans l'ensemble entre 50% et plus de 80% par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas, en l'absence des ouvrages de protection.

Au niveau de l'île

Les quartiers de l'île, protégés par les quais, sont entièrement à l'abri des inondations dans ce scénario. Ainsi, l'habitat reste intact par rapport à la montée des eaux. Sans le relèvement des quais, ils étaient très faiblement affectés par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas (7% à 18%).

Impacts liés à la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas (1,98 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers protégés sont pratiquement à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario. Médina Course qui est inondé à 36% est moyennement affecté. Sans la digue route, il était déjà presque entièrement submergé par ce niveau de montée des eaux (88%). Balacoss dont 24% de la superficie est inondé, est également faiblement affecté ; 301 maisons sur les 1 247 qu'il compte, peuvent être sous la menace des eaux. Mais sans les ouvrages, il était submergé à 88% dans ce scénario. Les autres quartiers, bien à l'abri, étaient inondés entre 50% et 95% par ce niveau de crue sans les ouvrages de protection. L'habitat est ainsi bien préservé dans les quartiers protégés hormis quelques maisons qui peuvent être affectées à Médina Course et à Diamaguène.

Au niveau de l'île

Les quartiers de l'île, protégés par les quais, sont entièrement à l'abri de la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas. L'habitat est préservé. Sans le relèvement des quais, Haut Nord (26%) et Sud (34%) étaient faiblement affectés tandis que Centre Nord (53%) était fortement inondé.

Impacts liés à la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas (2,55 m)

Dans la zone de Sor

A l'exception de Médina Course et de Balacoss, inondés respectivement à 75% et 54% dans ce scénario, les quartiers protégés sont pratiquement à l'abri de la montée des eaux. À Balacoss, 688 concessions sur un total de 1 247 risquent ainsi d'être affectées. Sans les ouvrages, Médina Course était entièrement inondé tandis que Balacoss était submergé à 95%. Léona (15%), Darou (14%), Ndiolofène Nord (8%) sont très faiblement affectés tandis qu'ils étaient presque totalement submergés par les eaux en l'absence des ouvrages de protection. Les quartiers de Diamaguène, Ndiolofène Sud et Sor Nord sont épargnés par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas. Sans les ouvrages de protection, Diamaguène était entièrement inondé, Sor Nord submergé à 95% et Ndiolofène Sud à 63%. Avec les ouvrages, l'habitat est ainsi bien préservé.

Au niveau de l'île

Les quartiers sont entièrement à l'abri de la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas, du fait du relèvement des quais. L'habitat est ainsi hors de portée des eaux. Sans les ouvrages, ces quartiers étaient presque entièrement inondés dans ce scénario.

Dans la zone de Sor, compte tenu du relèvement des quais et de la route nationale n° 2, le quartier de Diamaguène reste hors d'atteinte des différentes crues prévues dans le pronostic bas. Ndiolofène Sud (protégé par la digue route) très légèrement affecté par les crues centennale et décennale combinées au niveau marin, est épargné à 99,56%. Les autres quartiers qui bénéficient de mesures d'atténuation du risque sont également très protégés : Sor Nord à 97%, Ndiolofène Nord (92%), Darou (86%), Léona (85%). Le quartier de Médina Course, malgré la présence de la digue route est fortement affecté par les crues décennale (36%) et centennale (75%) combinées au niveau marin ; seul 25% de sa superficie reste hors d'atteinte des eaux. Ce quartier, situé sur d'anciennes vasières, occupé spontanément par les populations, est inadéquat à l'habitat. Les quartiers pas ou peu protégés de Khor, Pikine I, II et III sont toujours fortement affectés par la montée des eaux (fig. 97).

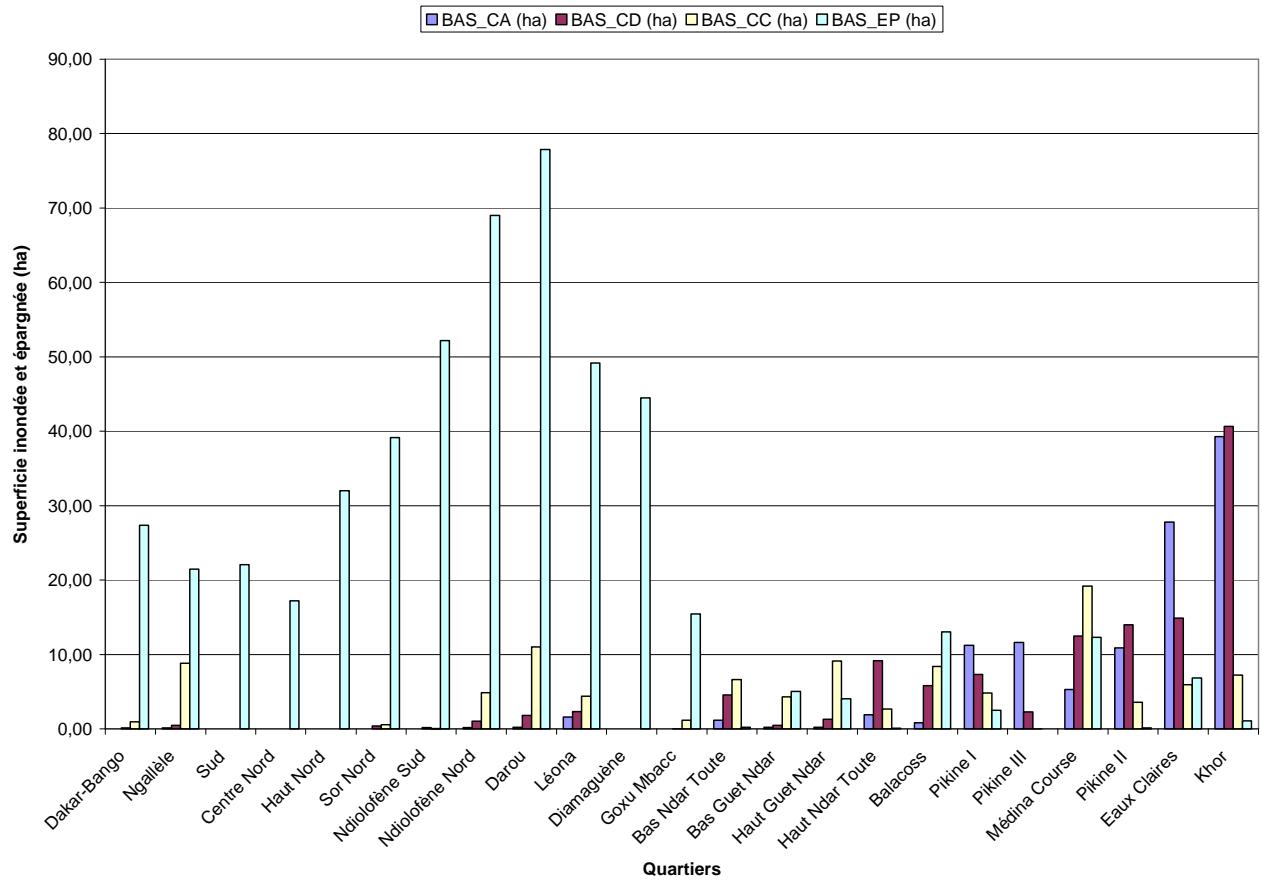


Figure 97 : Superficie inondée et épargnée par quartier dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006)

BAS_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

BAS_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic bas

Les quartiers de l'île restent hors d'atteinte des différentes crues dans le pronostic bas compte tenu du relèvement des quais dans ce secteur. Au niveau de la Langue de Barbarie (peu protégée), les quartiers de Haut Ndai Toute et Bas Ndai Toute sont pratiquement submergés par la crue centennale associée au niveau marin dans le pronostic bas.

Le nombre de personnes sinistrées

L'efficacité des mesures de protection contre le risque d'inondation, réduit considérablement le nombre de personnes sinistrées par la montée des eaux dans le pronostic bas (tabl. 50).

Tableau 50 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	BAS_CA (ha)	BAS_CD (ha)	BAS_CC (ha)	POP_BAS_CA (nombre pers.)	POP_BAS_CD (nombre pers.)	POP_BAS_CC (nombre pers.)
Dakar-Bango	28,47	4706	165	0,00	0,16	1,12	0	26	185
Ngallèle	30,98	3753	121	0,16	0,64	9,49	19	78	1150
Goux Mbacc	16,64	12829	771	0,00	0,02	1,18	0	15	909
Haut Ndar Toute	13,90	3587	258	1,93	11,10	13,79	497	2863	3559
Bas Ndar Toute	12,60	3860	306	1,15	5,73	12,38	353	1757	3794
Bas Guet Ndar	10,08	12724	1262	0,24	0,71	5,04	306	894	6360
Haut Guet Ndar	14,73	9516	646	0,24	1,56	10,68	157	1005	6899
Sud	22,07	4518	205	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Haut Nord	32,03	4418	138	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Centre Nord	17,19	4485	261	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201	0,00	0,17	0,23	0	33	46
Sor Nord	40,18	11611	289	0,00	0,43	1,02	0	125	296
Balacoss	28,11	5793	206	0,81	6,65	15,05	166	1372	3102
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	0,18	1,21	6,07	15	99	498
Khor	88,29	4468	51	39,27	79,96	87,18	1987	4046	4412
Darou	90,96	8400	92	0,21	2,05	13,08	20	189	1208
Médina Course	49,30		0	5,31	17,81	36,99	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Léona	57,53	14373	250	1,63	3,96	8,36	408	989	2090
Eaux Claires	55,51	8579	155	27,82	42,73	48,66	4300	6604	7520
Pikine III	13,96		0	11,62	13,92	13,96	0	0	0
Pikine II	28,64	20578	719	10,91	24,91	28,52	7838	17902	20493
Pikine I	25,90	8219	317	11,26	18,58	23,40	3573	5896	7426
Total		174502					19639	43892	69944
%							11	25	40

POP_BAS_CA = population sinistrée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas

POP_BAS_CD = population sinistrée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

POP_BAS_CC = population sinistrée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas

Au *niveau de Sor*, les sinistrés sont essentiellement notés dans les quartiers pas ou peu protégés de Pikine I, II et III, Eaux Claires, Khor. Dans ce secteur, la cote d'alerte combinée au niveau marin affecte 18 127 personnes correspondant à 16% de la population du secteur tandis que la crue décennale associée au niveau marin provoque 35 626 sinistrés (32%) et la crue centennale combinée au niveau marin, 43 148 sinistrés (39%).

Aucun sinistré n'est enregistré, dans le pronostic bas, sur les quartiers de l'île (Haut Nord, Centre Nord, Sud) bien protégés par le relèvement des quais.

Au total, en tenant compte des ouvrages de protection, la cote d'alerte combinée au niveau marin affecte 19 639 personnes dans la commune de Saint-Louis soit 11% de la population ; les crues décennale et centennale combinées au niveau marin provoquent respectivement 43 892 sinistrés (25%) et 69 944 sinistrés (40%).

3.4. Les impacts dans le pronostic moyen

3.4.1. Sans les ouvrages de protection

L'élévation moyenne du niveau de la mer prévue d'ici à 2100 (0,5m), associée aux différents niveaux de crue (cote d'alerte, crues décennale et centennale), engendre une forte submersion de la commune de Saint-Louis, compte non tenu des ouvrages de protection (fig. 98).

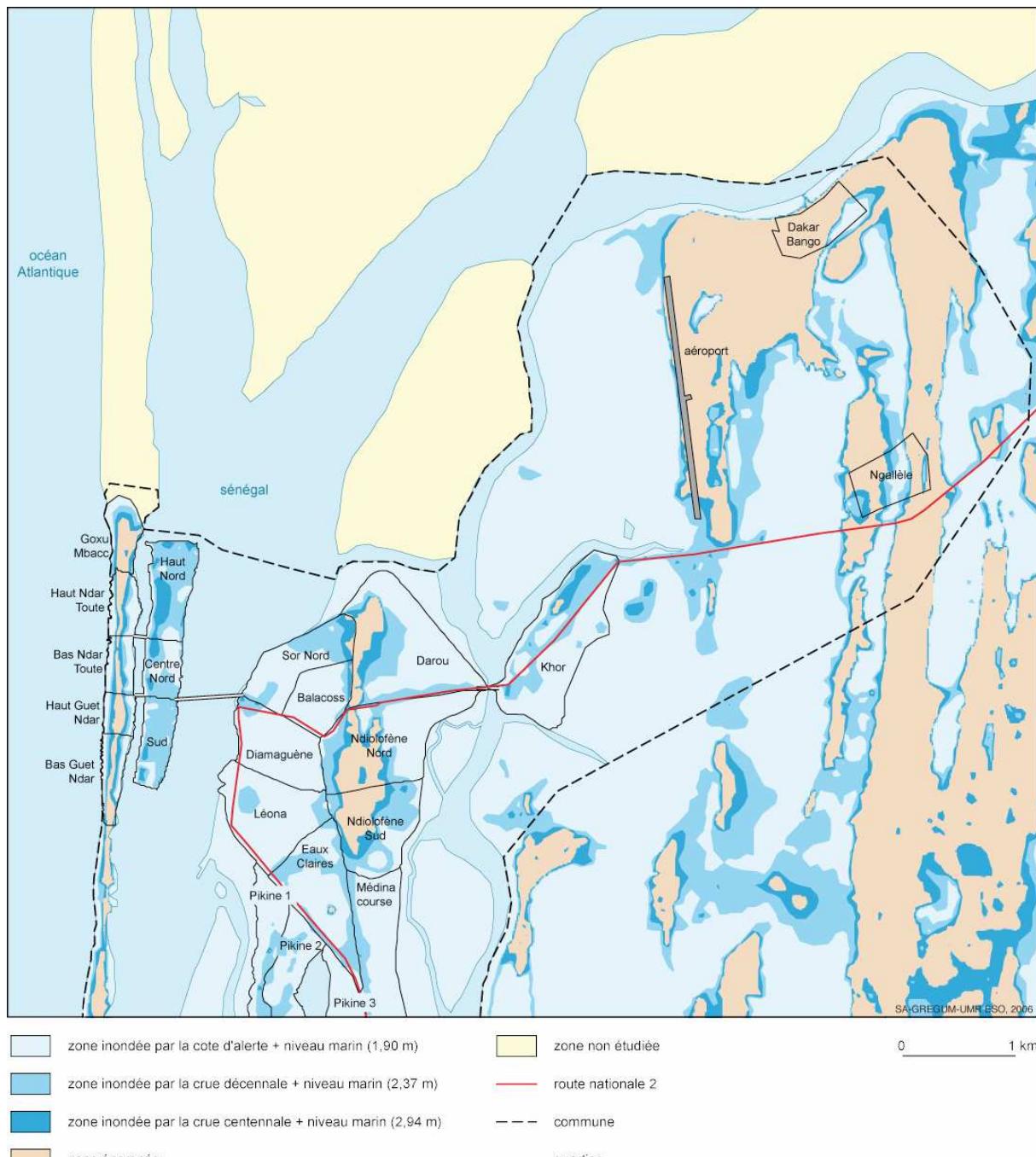


Figure 98 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006).

Les superficies inondées sont importantes dans les différents quartiers de la commune de Saint-Louis (tabl. 51).

Tableau 51 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen sans les ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	MOY_CA (ha)	MOY_CA (%)	MOY_CD (ha)	MOY_CD (%)	MOY_CC (ha)	MOY_CC (%)	MOY_EP (ha)	MOY_EP (%)
Dakar-Bango	28,47	4,47	15,69	5,65	19,83	6,34	22,25	22,13	77,74
Ngallèle	30,98	4,91	15,85	9,98	32,23	15,50	50,04	15,48	49,96
Khor	88,29	57,73	65,38	82,59	93,54	87,68	99,31	0,61	0,69
Goxu Mbacc	16,64	4,27	25,63	7,18	43,15	10,62	63,82	6,02	36,18
Haut Ndar Toute	13,90	6,30	45,30	7,92	56,98	10,48	75,35	3,43	24,65
Bas Ndar Toute	12,60	6,48	51,46	8,36	66,39	10,93	86,79	1,66	13,21
Bas Guet Ndar	10,08	3,52	34,93	4,91	48,76	7,36	73,05	2,72	26,94
Haut Guet Ndar	14,73	5,32	36,09	7,61	51,70	11,16	75,77	3,57	24,23
Sud	22,07	4,40	19,92	20,98	95,07	22,07	100,00		0,00
Haut Nord	32,03	5,23	16,31	25,38	79,22	32,03	100,00		0,00
Centre Nord	17,19	7,97	46,36	15,56	90,48	17,19	100,00		0,00
Sor Nord	40,18	22,10	55,00	35,44	88,20	38,82	96,60	1,37	3,40
Balacoss	28,11	24,23	86,22	26,38	93,87	27,49	97,82	0,61	2,18
Darou	90,96	52,40	57,61	72,83	80,06	80,04	87,99	10,92	12,01
Ndiolofène Nord	75,06	36,46	48,57	49,87	66,44	58,28	77,64	16,78	22,36
Ndiolofène Sud	52,42	13,17	25,13	30,56	58,31	38,20	72,88	14,22	27,12
Médina Course	49,30	42,04	85,28	49,29	99,97	49,30	100,00		0,00
Diamaguène	44,47	41,34	92,95	44,30	99,61	44,47	100,00		0,00
Léona	57,53	49,86	86,66	57,53	100,00	57,53	100,00		0,00
Eaux Claires	55,52	32,67	58,84	54,88	98,85	55,33	99,66	0,19	0,34
Pikine III	13,96	13,82	98,96	13,96	99,96	13,96	99,96		0,00
Pikine II	28,63	22,01	76,87	28,63	100,00	28,64	100,03		0,00
Pikine I	25,90	19,55	75,47	25,69	99,16	25,90	99,98	0,01	0,03

MOY_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic moyen

Les impacts qui peuvent en découler sont également importants.

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen (1,90 m)

Dans la zone de Sor

Dans ce scénario, plusieurs quartiers de Sor sont très fortement inondés : c'est le cas de Pikine III qui est entièrement submergé avec l'ensemble de ses 1 002 concessions sous la menace des eaux. Diamaguène est affecté à 93% et compte 1 021 concessions sur 1 091 menacées par les eaux. Léona est inondé à 87% et enregistre 761 maisons sur 879 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Balacoss dont 86% de la superficie est inondé, compte 1 075

concessions sur un total de 1 247 sous la menace des eaux. Médina Course est inondé à 85%. D'autres quartiers sont fortement inondés : Pikine II est submergé à 77% ; il comprend ainsi 1 561 concessions sur 2 011 menacées par les eaux. Pikine I dont 75% de la superficie est inondé, compte 421 maisons sur 561 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Khor submergé à 65%, enregistre 189 concessions sur 293 qui peuvent être affectées par la montée des eaux. Certains quartiers de ce secteur de Sor sont moyennement affectés : il s'agit de Eaux Claires dont 59% de la superficie est inondé ; il compte ainsi 742 maisons sur 1 245 sous la menace des eaux. Darou est submergé à 58%. Sor Nord est inondé à 55% comprenant ainsi 460 concessions sur un total de 840 menacées par les eaux. Ndiolofène Nord est submergé à 49% comptant ainsi 446 maisons sur 891 qui peuvent être affectées par les eaux. Enfin, le quartier de Ndiolofène Sud est faiblement affecté ; 25% seulement de sa superficie est inondé avec 290 concessions sur 1 158 qui peuvent être sous la menace des eaux.

Au niveau de l'île

Dans la partie insulaire de la commune de Saint-Louis, les quartiers de Haut Nord et Sud sont faiblement affectés par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen. Haut Nord est inondé à 16% ; ce qui met seulement 68 concessions sur 406 sous la menace des eaux. Sud est submergé à 20% comprenant ainsi 94 maisons sur 449 menacées par la montée des eaux. Le quartier de Centre Nord dont 46% de la superficie est inondé, est fortement affecté ; il compte 256 concessions sur un total de 541 sous la menace des eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers de Bas Ndar toute et Haut Ndar Toute sont fortement affectés dans ce scénario. Bas Ndar Toute dont plus de la moitié de la superficie est inondé (51%), comprend 173 concessions sur 346 sous la menace des eaux. Haut Ndar Toute inondé à 45% compte ainsi 248 maisons sur 558 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Les quartiers de Guet Ndar sont moyennement inondés. Haut Guet Ndar qui est submergé à 36% compte 389 concessions sur un total de 1 069 sous la menace des eaux. Bas Guet Ndar qui est inondé à 35% enregistre 485 concessions sur 1 371 qui peuvent être affectées par la montée des eaux. Enfin, le quartier de Goxu Mbacc, inondé seulement à 26%, est faiblement affecté. Il enregistre 358 maisons sur un total de 1 355 menacées par les eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Ngallèle et Dakar-Bango sont à l'abri de la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic bas.

Impacts liés à la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

(2,37 m)

Dans la zone de Sor

Dans ce scénario, plusieurs quartiers sont entièrement inondés ; il s'agit de Pikine I, II, III, Léona, Eaux Claires, Diamaguène, Médina Course. Un nombre de 6 789 concessions se trouve ainsi sous la menace des eaux. D'autres quartiers comme Balacoss (94%), Khor (94%), Sor Nord (88%) et Darou (80%) sont très fortement inondés. Au niveau de Balacoss, 1 161 maisons sur 1 247 sont ainsi sous la menace des eaux. A Khor, ce nombre est de 274 sur un total de 293. Au niveau de Sor Nord, 660 concessions sur 840 sont menacées par la montée des eaux. Les quartiers de Ndiolofène Nord (66%) et Ndiolofène Sud (58%), plus à l'abri, sont néanmoins fortement affectés. A Ndiolofène Nord, 587 maisons sur 891 sont menacées par les eaux tandis qu'à Ndiolofène Sud, 673 d'entre elles sur 1 158 risquent d'être affectées par la montée des eaux.

Au niveau de l'île

Les quartiers sont très fortement affectés par la montée des eaux dans ce scénario. Sud, le plus touché, est inondé à 95% ; ainsi, 430 maisons sur 449 sont sous la menace des eaux. Centre Nord est inondé à 90% comptant 484 concessions sur 541 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Enfin, Haut Nord dont 79% de la superficie est submergé, enregistre 325 maisons sur 406 sous la menace des eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

La plupart des quartiers situés sur la flèche littorale sont fortement affectés par la montée des eaux dans ce scénario. Bas Ndar Toute, le plus touché, est inondé à 66%. De ce fait, 222 concessions sur un total de 346 sont sous la menace des eaux. Haut Ndar Toute qui est inondé à 57% compte 310 maisons sur 558 menacées par la montée des eaux. Le quartier de Haut Guet Ndar dont 52% de la superficie est submergé, enregistre 535 concessions sur un total de 1 069 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Bas Guet Ndar inondé à 49% compte 674 maisons sur 1 371 sous la menace des eaux. Enfin, le quartier de Goxu Mbacc dont 43% de la superficie est inondé, est le moins affecté dans ce secteur ; ainsi, 588 concessions des 1 355 qui le composent sont menacées par la montée des eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Dakar-Bango et de Ngallèle situés sur d'anciens cordons littoraux, à une dizaine de kilomètres du centre ville, sont pratiquement à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario.

Impacts liés à la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

(2,94 m)

Dans la zone de Sor

La plupart des quartiers sont entièrement inondés. C'est le cas de Pikine I, II, III, Eaux Claires, Léona, Diamaguène, Médina Course, Balacoss, Sor Nord et khor. Ceci fait un total de 9 169 concessions qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Le quartier de Darou est inondé à 88%. Ndiolofène Nord (78%) et Ndiolofène Sud (73%), les moins touchés dans le secteur, sont néanmoins très fortement affectés. A Ndiolofène Nord, 689 concessions sur 891 sont sous la menace des eaux tandis qu'à Ndiolofène Sud, ce nombre est de 848 sur un total de 1 158.

Au niveau de l'île

Les quartiers de la partie insulaire de la commune de Saint-Louis sont entièrement submergés par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen. Ainsi, 996 concessions risquent d'être affectées.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers situés sur la flèche littorale sont très fortement inondés dans ce scénario. Bas Ndar Toute qui est inondé à 87% compte 297 concessions sur 346 menacées par la montée des eaux. Le quartier de Haut Guet Ndar dont 76% de la superficie est inondé, enregistre 826 concessions sur 1 069 sous la menace par des eaux. Haut Ndar Toute est submergé à 75% ; ainsi, 434 maisons sur un total de 558 risquent d'être affectées par la montée des eaux. Bas Guet Ndar dont 73% de la superficie est inondé compte 1 005 maisons sous la menace de la montée des eaux. Enfin, le quartier de Goxu Mbacc, le moins affecté du secteur, est submergé à 64% ; de ce fait, 869 concessions sur un total de 1 355 sont menacées par la montée des eaux.

Au niveau de la périphérie

Le quartier de Ngallèle est affecté à 50% dans ce scénario. Ainsi, 101 concessions sur les 192 que compte le quartier peuvent être menacées par la montée des eaux. Par contre, Dakar-Bango reste à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario. Il constitue ainsi le quartier le plus sûr avec 78% de sa superficie, hors d'atteinte des eaux.

Les différents groupes de quartier sont ainsi diversement affectés par la montée des eaux dans le pronostic moyen (fig. 99).

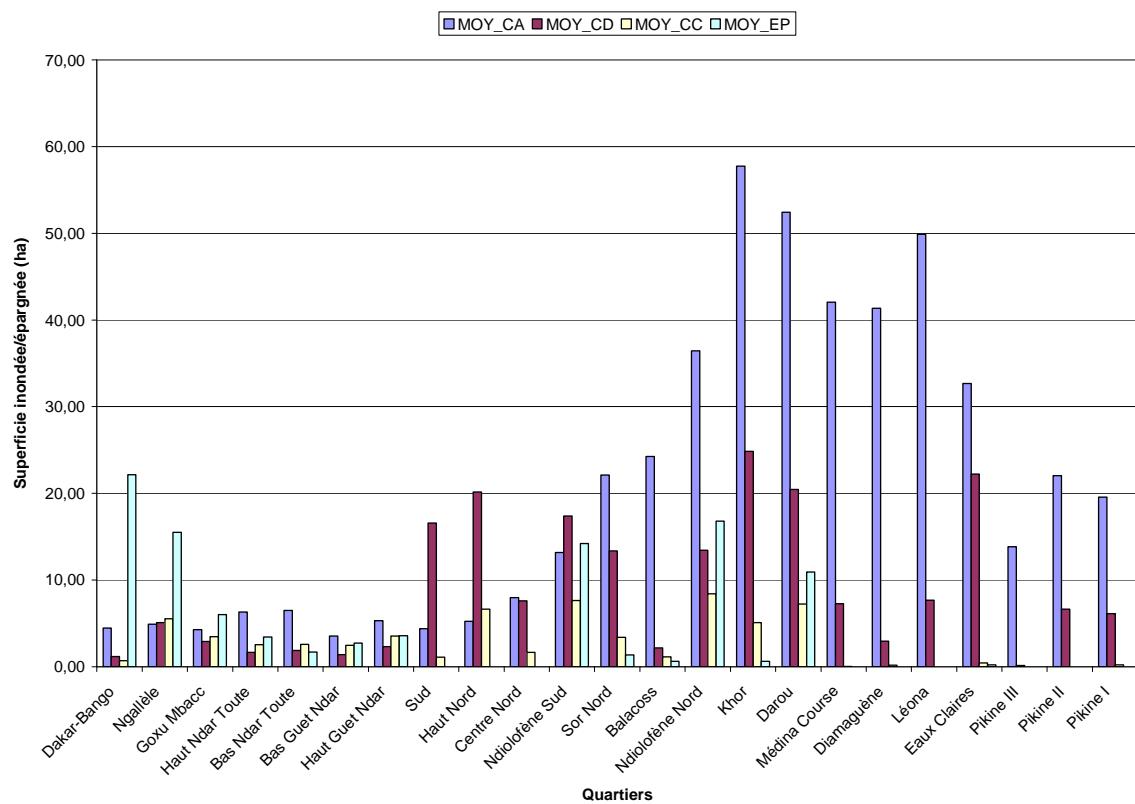


Figure 99 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le pronostic moyen sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006)

MOY_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic moyen

Le nombre de personnes sinistrées

Le nombre de personnes sinistrées variera en fonction du niveau d'inondation dans les différents secteurs.

Les *quartiers de la zone de Sor* (Ndiolofène Sud à Pikine I sur la fig. 99) sont en majorité très fortement submergés par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen. Ce niveau de crue devrait y provoquer 74 897 sinistrés soit 68% de la population du Secteur (tabl. 52). Ces quartiers sont en grande partie entièrement inondés par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen qui affecte 99 750 personnes (91% de la population) ; seuls Ndiolofène Nord, Darou et surtout Ndiolofène Sud gardent une faible portion de terre hors d'atteinte de la crue centennale associée au niveau marin dans le pronostic moyen qui affecte 104 288 personnes dans la zone de Sor (95% de la population du secteur).

Les *quartiers de l'île* sont moins sensibles à la cote d'alerte associée au niveau marin dans le pronostic moyen qui va néanmoins occasionner 3 700 sinistrés représentant 28% de la population du secteur. La crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen va y affecter 11 853 personnes soit 88% de la population de la zone ; la totalité de la population de l'île, soit 13 421 personnes, sera sinistrée si la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen intervient.

Les *quartiers de la Langue de Barbarie* devront enregistrer 14 778 sinistrés (35% de la population du secteur) du fait de la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen. Ils sont fortement inondés par la crue décennale associée au niveau marin dans le pronostic moyen qui devrait affecter 21 266 personnes (50% de la population) ; la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen va y engendrer 30 746 sinistrés (72% de la population de la zone).

Les *quartiers périphériques* que sont Dakar-Bango et Ngallele demeurent les plus sûrs par rapport à la montée des eaux, même si ce dernier est inondé à 50% par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen qui peut ainsi affecter 1 878 personnes.

Tableau 52 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen sans les ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	MOY_CA (ha)	MOY_CD (ha)	MOY_CC (ha)	POP_MOY_CA (nombre pers.)	POP_MOY_CD (nombre pers.)	POP_MOY_CC (nombre pers.)
Dakar-Bango	28,47	4706	165	4,47	5,65	6,34	739	933	1047
Ngallèle	30,98	3753	121	4,91	9,98	15,50	595	1209	1878
Goux Mbacc	16,64	12829	771	4,27	7,18	10,62	3288	5535	8188
Haut Ndar Toute	13,90	3587	258	6,30	7,92	10,48	1625	2044	2703
Bas Ndar Toute	12,60	3860	306	6,48	8,36	10,93	1986	2563	3350
Bas Guet Ndar	10,08	12724	1262	3,52	4,91	7,36	4445	6205	9295
Haut Guet Ndar	14,73	9516	646	5,32	7,61	11,16	3434	4920	7211
Sud	22,07	4518	205	4,40	20,98	22,07	900	4295	4518
Haut Nord	32,03	4418	138	5,23	25,38	32,03	721	3500	4418
Centre Nord	17,19	4485	261	7,97	15,56	17,19	2079	4058	4485
Khor	88,29	4468	51	57,73	82,59	87,68	2921	4179	4437
Sor Nord	40,18	11611	289	22,10	35,44	38,82	6386	10241	11217
Balacoss	28,11	5793	206	24,23	26,38	27,49	4995	5438	5667
Darou	90,96	8400	92	52,40	72,83	80,04	4839	6725	7391
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	36,46	49,87	58,28	2987	4087	4776
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201	13,17	30,56	38,20	2648	6143	7678
Médina Course	49,30		0	42,04	49,29	49,30	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256	41,34	44,30	44,47	10596	11354	11399
Léona	57,53	14373	250	49,86	57,53	57,53	12455	14373	14373
Eaux Claires	55,52	8579	155	32,67	54,88	55,33	5048	8480	8550
Pikine III	13,96		0	13,82	13,96	13,96	0	0	0
Pikine II	28,63	20578	719	22,01	28,63	28,64	15818	20579	20584
Pikine I	25,90	8219	317	19,55	25,69	25,90	6203	8150	8217
Total		174502					94709	135011	151381
%							54	77	87

POP_MOY_CA = population sinistrée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

POP_MOY_CD = population sinistrée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

POP_MOY_CC = population sinistrée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

Au total, dans le pronostic moyen, sans les ouvrages de protection, la cote d'alerte associée au niveau marin, engendre 94 709 sinistrés dans la commune de Saint-Louis (54% de la population communale), la crue décennale combinée au niveau marin, 135 011 sinistrés (77%) et la crue centennale combinée au niveau marin 151 381 sinistrés (87%).

3.4.2. Avec les ouvrages de protection

Les ouvrages de protection réalisés autour de certains quartiers de la zone de Sor et au niveau de l'île, limitent l'extension des zones inondées dans ces derniers (fig. 100).

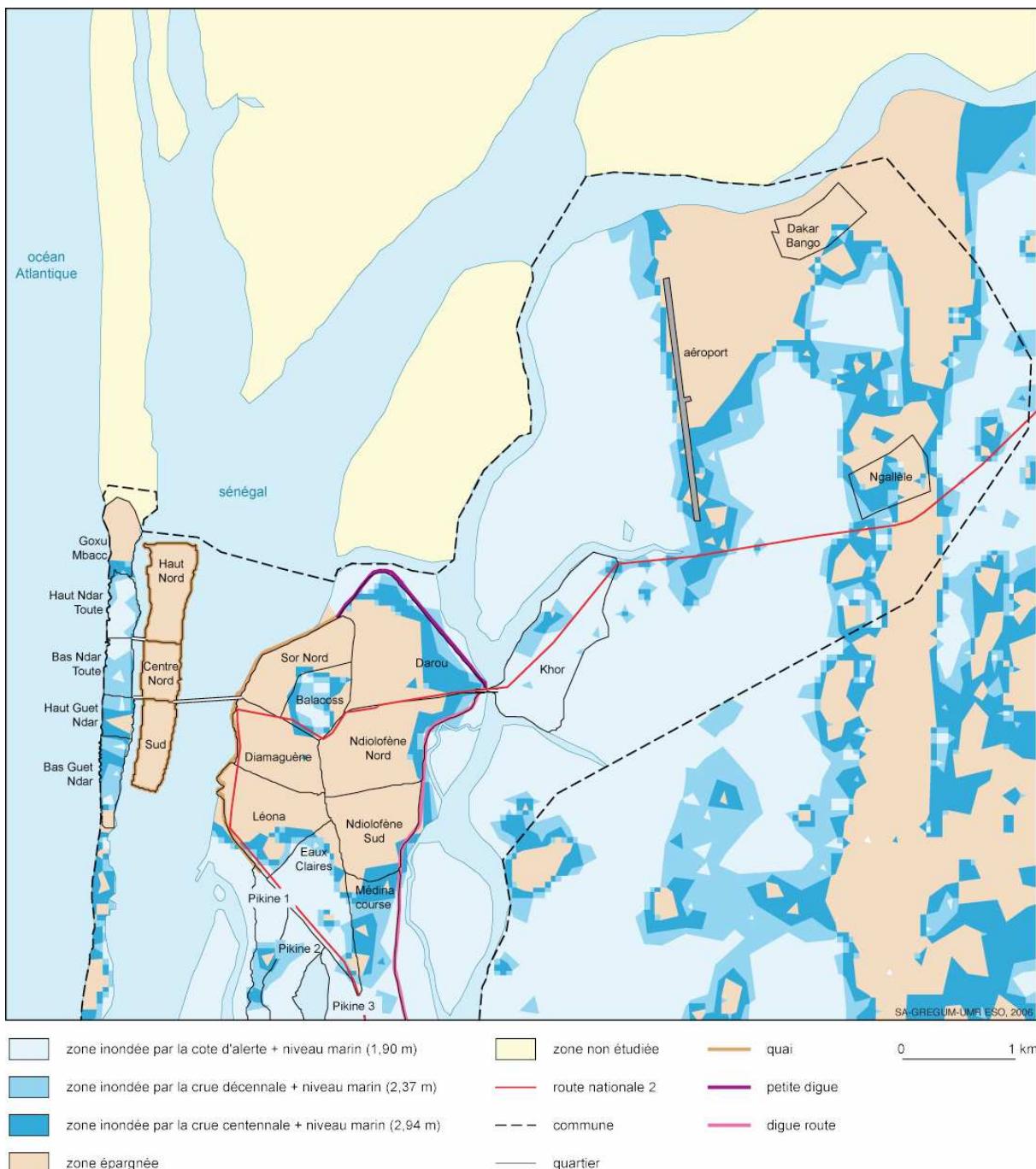


Figure 100 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006).

De ce fait, les superficies submergées par les différents niveaux de crue sont sensiblement atténuées dans la commune de Saint-Louis (tabl. 53).

Tableau 53 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	MOY_CA (%)	MOY_CD (ha)	MOY_CD (%)	MOY_CC (ha)	MOY_CC (%)	MOY_EP (ha)	MOY_EP (%)
Dakar-Bango	28,47	0,85	0,73	2,55	2,37	8,34	26,09	91,66
Ngallèle	30,98	0,78	5,80	18,71	16,36	52,81	14,62	47,20
Goux Mbacc	16,64	0,21	0,90	5,42	3,23	19,39	13,41	80,61
Haut Ndar Toute	13,90	72,76	13,73	98,78	13,90	100,01	0,00	0,00
Bas Ndar Toute	12,60	27,64	12,29	97,58	12,60	100,00	0,00	0,00
Bas Guet Ndar	10,08	3,10	2,68	26,64	7,81	77,48	2,27	22,52
Haut Guet Ndar	14,73	7,37	8,33	56,56	12,59	85,51	2,13	14,49
Sud	22,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	22,04	99,87
Haut Nord	32,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	32,03	99,98
Centre Nord	17,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,19	100,00
Ndiolofène Sud	52,42	0,00	0,00	0,00	5,49	10,48	46,92	89,52
Sor Nord	40,18	0,61	0,50	1,24	1,89	4,70	38,30	95,30
Balacoss	28,11	20,53	12,63	44,95	20,60	73,30	7,51	26,70
Ndiolofène Nord	75,06	1,53	4,87	6,49	13,29	17,71	61,77	82,29
Khor	88,29	87,89	85,30	96,61	88,14	99,82	0,16	0,18
Darou	90,96	1,61	8,09	8,90	32,29	35,50	58,67	64,50
Médina Course	49,30	31,91	31,56	64,02	45,04	91,36	4,26	8,64
Diamaguène	44,47	0,00	0,00	0,00	0,40	0,89	44,08	99,11
Léona	57,53	6,46	8,14	14,16	15,13	26,30	42,40	73,71
Eaux Claires	55,51	70,84	47,15	84,94	50,66	91,26	4,85	8,74
Pikine III	13,96	99,33	13,96	100,00	13,96	100,00	0,00	0,00
Pikine II	28,64	77,53	27,98	97,70	28,64	100,01	0,00	0,00
Pikine I	25,90	66,98	22,03	85,04	25,34	97,83	0,56	2,17

MOY_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic moyen

Les impacts qui en découlent sont également atténus.

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen (1,90 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers protégés (Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud, Sor Nord, Darou, Diamaguène, Léona, Balacoss, Médina Course) sont pratiquement à l'abri de la cote d'alerte associée au niveau marin dans le pronostic moyen. L'habitat est bien préservé. Sans les ouvrages, ils étaient submergés dans ce scénario, de 25 à 92%. Médina Course, le plus affecté, est inondé à 32% (contre 85% sans les ouvrages). Le quartier de Balacoss qui est submergé à 21% (contre 86% sans les ouvrages), peut compter 258 maisons sur 1 247 sous la menace des eaux.

Au niveau de l'île

Le relèvement des quais autour de l'île met entièrement les quartiers à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario. L'ensemble des 1 396 concessions est bien préservé. Sans les ouvrages, ces quartiers étaient affectés de 16 à 46%.

Impacts liés à la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

(2,37 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers protégés sont pour l'essentiel à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario. C'est le cas de Ndiolofène Sud, Ndiolofène Nord, Sor Nord, Darou, Diamaguène, Léona. L'habitat est bien préservé dans ces quartiers qui, sans les ouvrages de protection, étaient à moitié ou presque totalement inondés dans ce scénario. Médina Course, malgré la digue route qui le ceinture, est affecté à 64%. Balacoss, est également inondé à 45% enregistrant ainsi 559 concessions sur 1 247 sous la menace des eaux.

Au niveau de l'île

Les quartiers de la partie insulaire de la commune de Saint-Louis sont parfaitement protégés par les quais. Ils sont totalement à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario. L'habitat est bien préservé. Sans ces ouvrages, ils étaient presque entièrement submergés par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen.

Impacts liés à la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

(2,94 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers de Ndiolofène Sud, Ndiolofène Nord, Sor Nord, Diamaguène, Léona sont bien protégés par les ouvrages. L'habitat est dans l'ensemble bien préservé. Sans les ouvrages, ces quartiers étaient entièrement inondés par la montée des eaux dans ce scénario. Par contre, Médina Course est submergé à 91% malgré la digue route. Balacoss dont 73% de la superficie est inondé, enregistre 903 concessions sur 1 247 qui peuvent être sous la menace des eaux. Darou, protégé par la petite digue, est inondé à 36%. Sans cet ouvrage, 88% de sa superficie était submergé dans ce scénario.

Au niveau de l'île

Le relèvement des quais protège totalement les quartiers de l'île de la montée des eaux dans ce scénario. L'habitat est ainsi bien préservé. Sans ces ouvrages, ces quartiers étaient

entièrement inondés par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen.

Dans la zone de Sor, les quartiers protégés restent pratiquement hors d'atteinte des différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen. Diamaguène (protégé à plus de 99%), Sor Nord (95%), Ndiolofène Sud (90%) sont les quartiers les plus à l'abri. Ndiolofène Nord (protégé à 82%), Léona (74%) sont légèrement affectés essentiellement par la crue centennale associée au niveau marin dans le pronostic moyen. Darou, protégé par la petite digue, est néanmoins inondé à 36% par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen. Le quartier de Médina Course, malgré la digue route, est affecté à 32% par la cote d'alerte combinée au niveau marin, 64% par la crue décennale associée au niveau marin et 91% par la crue centennale combinée au niveau marin. Par contre, les quartiers pas ou peu protégés de Pikine I, II, III, Eaux Claires, Khor sont submergés par les eaux (fig. 101).

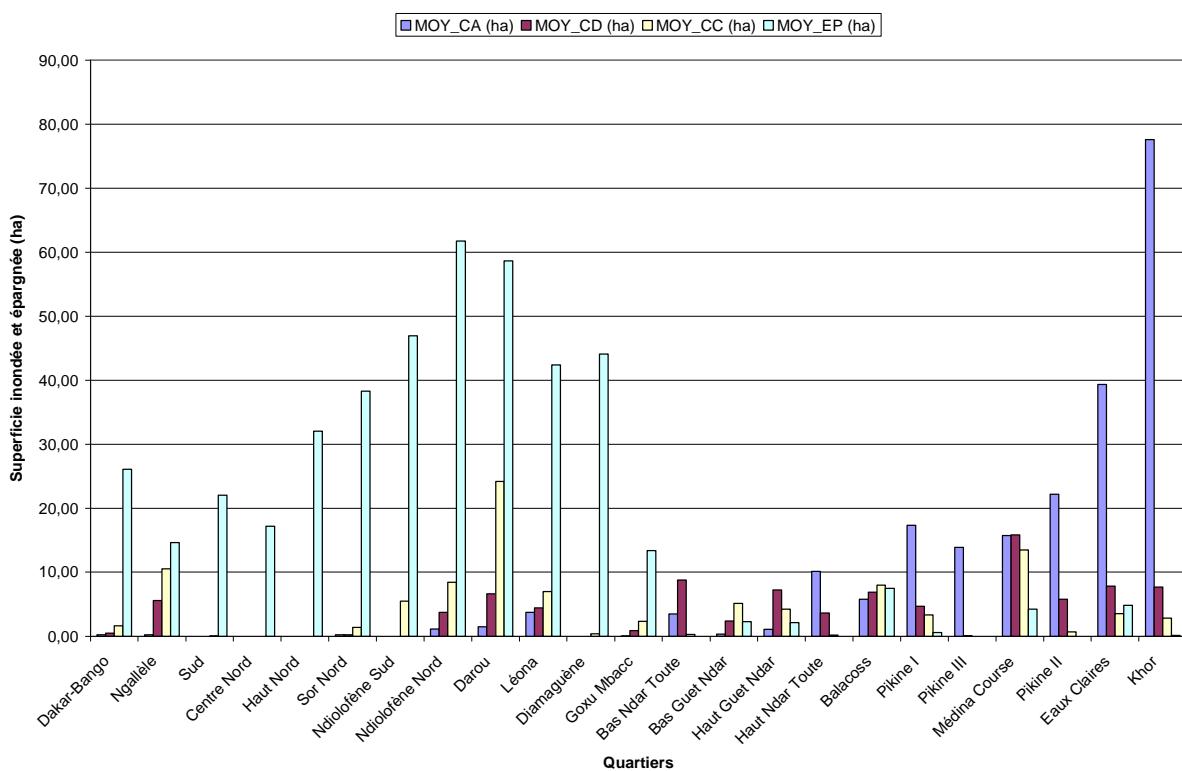


Figure 101 : Superficie inondée et épargnée par quartier dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006)

MOY_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

MOY_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic moyen

Les quartiers de l'île (Haut Nord, Centre Nord, Sud) bien protégés par les quais relevés, sont pratiquement hors d'atteinte de la montée des eaux dans le pronostic moyen. La Langue de Barbarie, peu protégée, est également dans l'ensemble, fortement affectée par la montée des eaux dans le pronostic moyen.

Le nombre de personnes sinistrées

Le nombre de sinistrés provoqués par la montée des eaux dans le pronostic moyen est sensiblement atténué par la présence des ouvrages de protection contre le risque d'inondation (tabl. 54).

Tableau 54 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	MOY_CA (ha)	MOY_CD (ha)	MOY_CC (ha)	POP_MOY_CA (nombre pers.)	POP_MOY_CD (nombre pers.)	POP_MOY_CC (nombre pers.)
Dakar-Bango	28,47	4706	165	0,24	0,73	2,37	40	120	392
Ngallèle	30,98	3753	121	0,24	5,80	16,36	29	702	1982
Goxu Mbacc	16,64	12829	771	0,04	0,90	3,23	27	695	2488
Haut Ndar Toute	13,90	3587	258	10,12	13,73	13,90	2610	3543	3587
Bas Ndar Toute	12,60	3860	306	3,48	12,29	12,60	1067	3766	3860
Bas Guet Ndar	10,08	12724	1262	0,31	2,68	7,81	394	3389	9859
Haut Guet Ndar	14,73	9516	646	1,09	8,33	12,59	701	5382	8137
Sud	22,07	4518	205	0,00	0,00	0,03	0	0	6
Haut Nord	32,03	4418	138	0,00	0,01	0,01	0	1	1
Centre Nord	17,19	4485	261	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201	0,00	0,00	5,49	0	0	1104
Sor Nord	40,18	11611	289	0,24	0,50	1,89	70	144	545
Balacoss	28,11	5793	206	5,77	12,63	20,60	1189	2604	4246
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	1,15	4,87	13,29	94	399	1089
Khor	88,29	4468	51	77,60	85,30	88,14	3927	4317	4460
Darou	90,96	8400	92	1,46	8,09	32,29	135	747	2982
Médina Course	49,30		0	15,73	31,56	45,04	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256	0,00	0,00	0,40	0	0	102
Léona	57,53	14373	250	3,72	8,14	15,13	929	2035	3780
Eaux Claires	55,51	8579	155	39,32	47,15	50,66	6077	7287	7829
Pikine III	13,96		0	13,86	13,96	13,96	0	0	0
Pikine II	28,64	20578	719	22,20	27,98	28,64	15954	20104	20579
Pikine I	25,90	8219	317	17,35	22,03	25,34	5505	6990	8041
Total		174502					38750	62226	85070
%							22	36	49

POP_MOY_CA = population sinistrée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

POP_MOY_CD = population sinistrée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

POP_MOY_CC = population sinistrée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen

Dans *la zone de Sor*, les quartiers protégés, légèrement affectés par la crue centennale combinée au niveau marin comptent quelques sinistrés ; c'est le cas de Léona avec 3 780

personnes, Darou, 2 982 personnes, Ndiolofène Sud, 1 104 personnes, Ndiolofène Nord, 1 089 personnes. Sor Nord (545 personnes affectées) et Diamaguène (102 personnes) comptent le moins de sinistrés dans ce secteur. Dans l'ensemble, la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic moyen affecte 32 527 personnes (30% de la population de Sor), la crue décennale associée au niveau marin dans le pronostic moyen, 41 480 personnes (38%) et la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic moyen, 47 773 personnes (43%).

Le nombre de sinistrés est quasi nul *au niveau de l'île* qui est efficacement protégée par les quais relevés contre la montée prévue des eaux dans le pronostic moyen.

Au total, dans le pronostic moyen et compte tenu des ouvrages de protection, la cote d'alerte combinée au niveau marin affecte 38 750 personnes dans la commune de Saint-Louis (22% de la population), la crue décennale combinée au niveau marin, 62 226 personnes (36%) et la crue centennale associée au niveau marin 85 070 personnes (49%).

3.5. Les impacts dans le pronostic élevé

3.5.1. Sans les ouvrages de protection

Les crues du fleuve Sénégal associées au niveau marin dans le pronostic élevé vont engendrer de fortes inondations dans la commune de Saint-Louis, compte non tenu des ouvrages de protection (fig. 102).

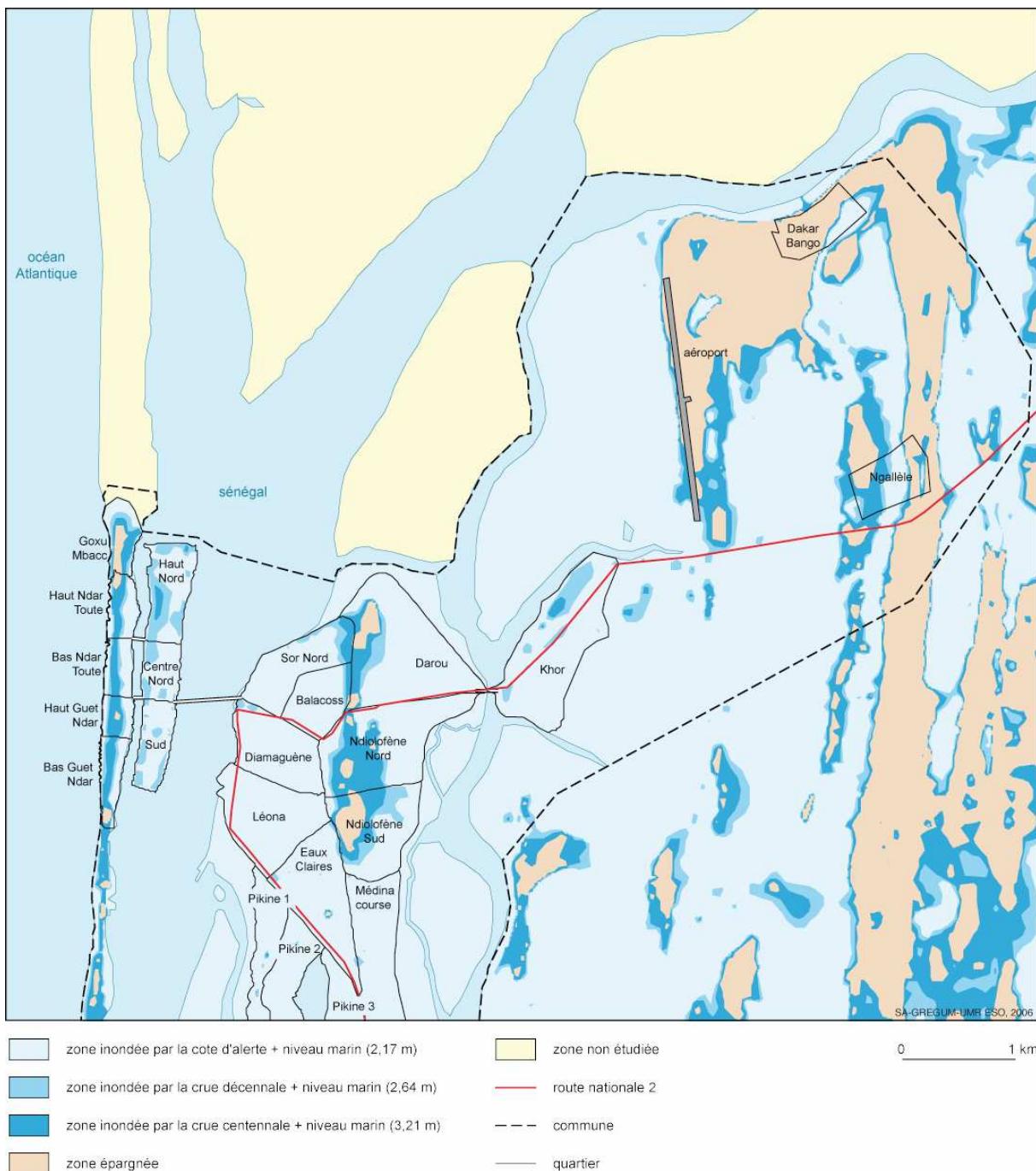


Figure 102 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006).

La quasi-totalité des quartiers est entièrement inondée ; seule une faible superficie de terre émergée est notée dans quelques rares quartiers (tabl. 55).

Tableau 55 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé sans les ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	ELV_CA (ha)	ELV_CA (%)	ELV_CD (ha)	ELV_CD (%)	ELV_CC (ha)	ELV_CC (%)	ELV_EP (ha)	ELV_EP (%)
Dakar-Bango	28,47	5,35	18,78	5,92	20,78	6,84	24,03	21,63	75,97
Ngallèle	30,98	8,30	26,78	12,25	39,54	22,43	72,40	8,55	27,60
Khor	88,29	76,39	86,52	86,73	98,23	88,29	100,00		0,00
Goxu Mbacc	16,64	6,01	36,12	8,83	53,07	13,28	79,83	3,36	20,17
Haut Ndar Toute	13,90	7,23	52,01	8,94	64,30	13,06	93,94	0,84	6,06
Bas Ndar Toute	12,60	7,60	60,30	9,40	74,59	12,60	99,99		0,00
Bas Guet Ndar	10,08	4,27	42,34	5,80	57,59	9,82	97,45	0,26	2,55
Haut Guet Ndar	14,73	6,68	45,32	8,76	59,47	13,92	94,51	0,81	5,50
Sud	22,07	17,38	78,76	22,07	100,00	22,07	100,00		0,00
Haut Nord	32,03	18,90	59,01	30,29	94,57	32,03	100,00		0,00
Centre Nord	17,19	13,37	77,76	17,19	100,01	17,19	100,01		0,00
Sor Nord	40,18	33,00	82,13	36,80	91,59	40,18	100,00		0,00
Balacoss	28,11	25,90	92,15	26,76	95,23	28,05	99,79	0,06	0,21
Darou	90,96	69,92	76,87	76,10	83,66	84,73	93,15	6,23	6,85
Ndiolofène Nord	75,06	47,49	63,27	52,63	70,11	72,62	96,75	2,44	3,25
Ndiolofène Sud	52,42	25,64	48,92	34,37	65,56	44,23	84,38	8,19	15,62
Médina Course	49,30	48,88	99,16	49,30	100,00	49,30	100,00		0,00
Diamaguène	44,47	43,54	97,90	44,47	100,00	44,47	100,00		0,00
Léona	57,53	57,52	99,98	57,53	100,00	57,53	100,00		0,00
Eaux Claires	55,52	53,51	96,39	55,20	99,42	55,40	99,79	0,12	0,21
Pikine III	13,96	13,96	99,96	13,96	99,96	13,96	99,96		0,00
Pikine II	28,63	28,52	99,62	28,64	100,03	28,64	100,03		0,00
Pikine I	25,90	25,50	98,43	25,83	99,70	25,90	100,00		0,00

ELV_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic élevé

Les impacts qui vont en découler seront également importants.

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé (2,17 m)

Dans la zone de Sor

Beaucoup de quartiers du secteur de Sor sont entièrement submergés par la montée des eaux dans ce scénario. C'est le cas de Pikine I, II, III, Léona, Médina Course et Diamaguène. Ceci correspond à 5 544 concessions qui peuvent être sous la menace des eaux. Les quartiers de Balacoss (92%), Khor (87%) et Sor Nord (82%) sont très fortement affectés. A Balacoss, 1 161 concessions sur 1 247 sont menacées par la montée des eaux. Ce nombre est de 256 maisons sur 293 à Khor et de 680 concessions sur 840 à Sor Nord. Les quartiers de Ndiolofène Nord et de Ndiolofène Sud, respectivement inondés à 63% et 49%, sont fortement

affectés. A Ndiolofène Nord, 567 maisons sur 891 sont menacées par les eaux tandis qu'à Ndiolofène Sud, ce nombre est de 566 concessions sur 1 158.

Au niveau de l'île

Les quartiers de l'île de Saint-Louis sont très fortement affectés par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé. Sud inondé à 79%, compte 355 concessions sur 449 menacées par la montée des eaux. Centre Nord dont 78% de la superficie est inondé, enregistre 342 concessions sur 541 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux. Haut Nord qui est submergé à 59% compte 244 maisons sur 406 sous la menace des eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers de Bas Ndar Toute (60%) et Haut Ndar Toute (52%) sont très fortement affectés dans ce scénario de montée des eaux. A Bas Ndar Toute, 198 concessions sur 346 sont sous la menace des eaux. Ce nombre est de 279 concessions sur 558 à Haut Ndar Toute. Les quartiers de Haut Guet Ndar (45%) et Bas Guet Ndar (42%) sont moyennement affectés. A Haut Guet Ndar 486 concessions sur 1 069 sont menacées par la montée des eaux tandis qu'à Bas Guet Ndar ce nombre est de 579 maisons sur 1 371. Le quartier de Goxu Mbacc inondé à 36%, est le moins affecté dans ce secteur ; ainsi, 486 concessions sur un total de 1 355 sont sous la menace des eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Ngallèle et de Dakar-Bango sont à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario.

Impacts liés à la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé (2,64 m)

Dans la zone de Sor

Plusieurs quartiers sont entièrement inondés par la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan dans ce scénario. Il s'agit de Pikine I, II, III, Eaux Claires, Léona, Diamaguène, Khor, Médina Course. Cela correspond à 7 082 concessions qui sont sous la menace des eaux. D'autres quartiers comme Balacoss (95%), Sor Nord (92%), Darou (84%), Ndiolofène Nord (70%), Ndiolofène Sud (66%), sont très fortement affectés par la montée des eaux dans ce scénario. A Balacoss, 1 204 concessions sur 1 247 sont sous la menace des eaux. Ce nombre est de 780 maisons sur 840 à Sor Nord et de 628 concessions sur 891 à Ndiolofène Nord. Enfin, le quartier de Ndiolofène Sud compte 768 maisons sur 1 158 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux.

Au niveau de l'île

Les quartiers de Centre Nord et de Sud sont entièrement inondés par la montée des eaux dans ce scénario ; ce qui peut affecter 990 concessions. Haut Nord qui est inondé à 95% compte 392 concessions sur 406 menacées par les eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers situés sur la flèche littorale sont très fortement affectés par la montée des eaux dans ce scénario. Bas Ndar Toute qui inondés à 75% compte 272 concessions sur un total de 346 menacées par les eaux. Haut Ndar Toute dont 64% de la superficie est inondé enregistre 372 maisons sur 558 sous la menace des eaux. A Haut Guet Ndar, ce nombre est de 632 concessions sur 1 069 tandis qu'à Bas Guet Ndar, il passe à 792 maisons sur un total de 1 371. Enfin, Goxu Mbacc qui est inondé à 53% compte 716 concessions sur 1 355 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux.

Au niveau de la périphérie

Les quartiers de Ngallèle et de Dakar-Bango situés sur d'anciens cordons littoraux à une dizaine de kilomètres du centre ville sont pratiquement à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario.

Impacts liés à la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

(3,21 m)

Dans la zone de Sor

La plupart des quartiers sont totalement inondés par la montée des eaux dans ce scénario. Il s'agit de Pikine I, II, III, Eaux Claires, Diamaguène, Léona, Khor, Médina Course, Ndiolofène Nord, Balacoss, Sor Nord. Cela fait un total de 10 060 concessions sous la menace des eaux. Le quartier de Darou est inondé à 93%. Le quartier de Ndiolofène Sud dont 84% de la superficie est submergé, compte 969 concessions sur un total de 1 158 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux.

Au niveau de l'île

Les quartiers de la partie insulaire de la commune de Saint-Louis sont entièrement inondés par la montée des eaux dans ce scénario. Un ensemble de 1 396 concessions se trouve ainsi sous la menace des eaux.

Au niveau de la Langue de Barbarie

Les quartiers de Bas Ndar Toute et Bas Guet Ndar sont totalement inondés par la montée des eaux dans ce scénario. Ainsi, 1 717 concessions sont menacées par les eaux. Les autres quartiers de la flèche littorale sont très fortement submergés. Haut Ndar Toute, inondé à 94%

compte 496 maisons sur un total de 558 sous la menace des eaux. Ce nombre est de 1 020 concessions sur 1 069 à Haut Guet Ndar. Enfin, le quartier de Goxu Mbacc dont 80% de la superficie est inondé compte 1 074 maisons sur 1 355 qui risquent d'être affectées par la montée des eaux.

Au niveau de la périphérie

Le quartier de Ngallèle dont 72% de la superficie est inondé dans ce scénario, peut compter 137 concessions sous la menace des eaux. Par contre, Dakar-Bango est pratiquement à l'abri de la montée des eaux et apparaît comme le quartier le plus sûr par rapport aux inondations ; 76% de sa superficie reste hors d'atteinte des eaux dans ces conditions extrêmes de montée des niveaux du fleuve et de la mer.

Les quatre groupes de quartier sont dans l'ensemble fortement inondés par les différents niveaux de crue dans le pronostic élevé ; quelques rares terres restent encore hors d'atteinte après la crue centennale combinée à l'élévation du niveau marin (fig. 103).

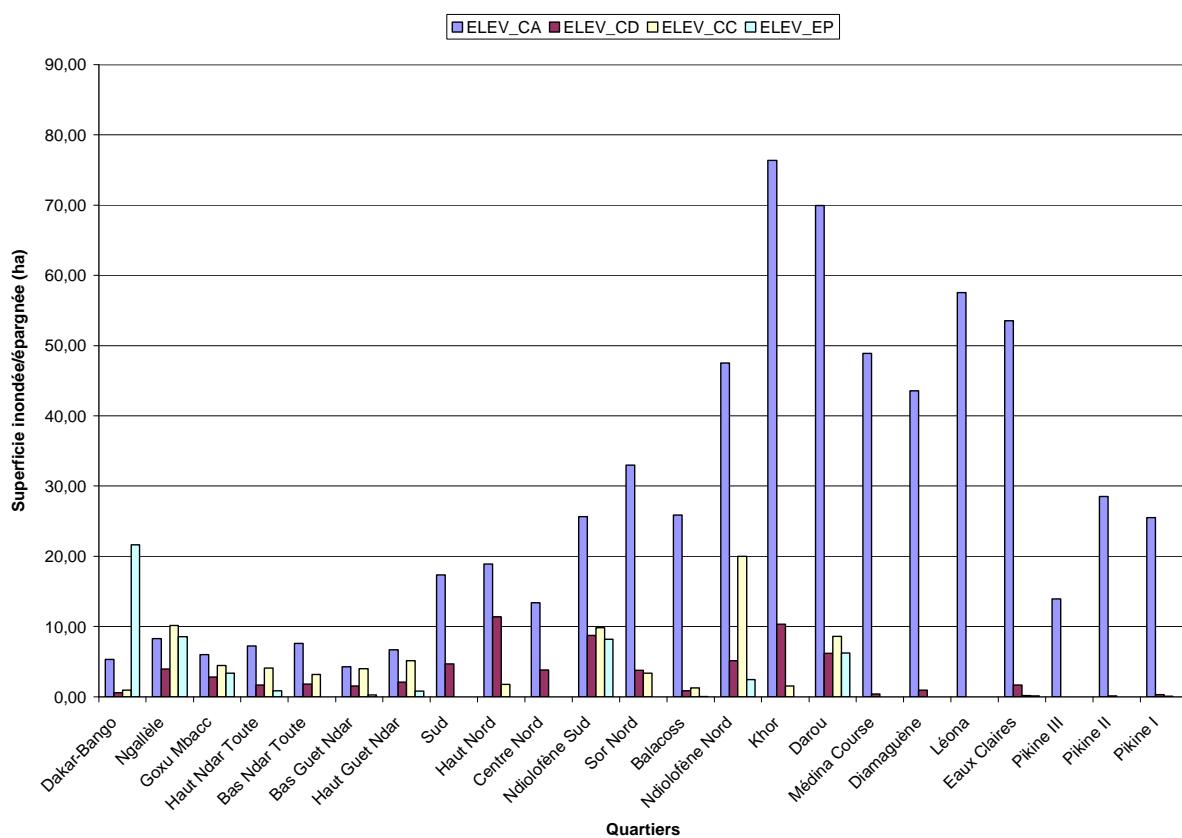


Figure 103 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le pronostic élevé sans les ouvrages de protection, M. Sall (2006)

ELV_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic élevé

Le nombre de personnes sinistrées

Le nombre de personnes affectées par la montée des eaux variera dans les différents groupes de quartier en fonction des niveaux d'inondation.

Dans la zone de Sor, la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé, qui submerge fortement la plupart des quartiers, va affecter 96 630 personnes correspondant à 88% de la population du secteur (tabl. 56). Ce chiffre sera porté à 101 867 sinistrés (93%) si la crue décennale combinée au niveau marin intervient tandis que 107 660 personnes (98%) seront affectées dans le cas de la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé.

Au niveau *des quartiers de l'île*, la cote d'alerte combinée au niveau marin va créer 9 653 sinistrés soit 72% de la population insulaire ; Dans le cas de la crue décennale combinée au niveau marin, ce chiffre atteint 13 182 personnes (98%) tandis que la crue centennale combinée au niveau marin affecte la totalité de la population insulaire (13 421 personnes).

Dans la *Langue de Barbarie*, la cote d'alerte associée au niveau marin affecte 18 527 personnes soit 44% de la population du secteur ; la crue décennale combinée au niveau marin porte ce chiffre à 24 981 sinistrés (59%) tandis que la crue centennale combinée au niveau marin va affecter 38 863 personnes correspondant à 91% de la population du cordon littoral.

Tableau 56 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé sans les ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	ELV_CA (ha)	ELV_CD (ha)	ELV_CC (ha)	POP_ELV_CA (nombre pers.)	POP_ELV_CD (nombre pers.)	POP_ELV_CC (nombre pers.)
Dakar-Bango	28,47	4706	165	5,35	5,92	6,84	884	978	1131
Ngallèle	30,98	3753	121	8,30	12,25	22,43	1005	1484	2717
Goux Mbacc	16,64	12829	771	6,01	8,83	13,28	4633	6809	10241
Haut Ndar Toute	13,90	3587	258	7,23	8,94	13,06	1865	2306	3370
Bas Ndar Toute	12,60	3860	306	7,60	9,40	12,60	2328	2879	3860
Bas Guet Ndar	10,08	12724	1262	4,27	5,80	9,82	5388	7327	12399
Haut Guet Ndar	14,73	9516	646	6,68	8,76	13,92	4313	5659	8993
Sud	22,07	4518	205	17,38	22,07	22,07	3559	4518	4518
Haut Nord	32,03	4418	138	18,90	30,29	32,03	2607	4178	4418
Centre Nord	17,19	4485	261	13,37	17,19	17,19	3488	4485	4485
Khor	88,29	4468	51	76,39	86,73	88,29	3865	4389	4468
Sor Nord	40,18	11611	289	33,00	36,80	40,18	9536	10635	11611
Balacoss	28,11	5793	206	25,90	26,76	28,05	5339	5516	5781
Darou	90,96	8400	92	69,92	76,10	84,73	6457	7028	7824
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	47,49	52,63	72,62	3892	4313	5951
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201	25,64	34,37	44,23	5153	6907	8890
Médina Course	49,30		0	48,88	49,30	49,30	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256	43,54	44,47	44,47	11159	11399	11399
Léona	57,53	14373	250	57,52	57,53	57,53	14370	14373	14373
Eaux Claires	55,52	8579	155	53,51	55,20	55,40	8269	8529	8561
Pikine III	13,96		0	13,96	13,96	13,96	0	0	0
Pikine II	28,63	20578	719	28,52	28,64	28,64	20500	20584	20584
Pikine I	25,90	8219	317	25,50	25,83	25,90	8090	8194	8219
Total		174502					126699	142491	163793
%							73	82	94

POP_ELV_CA = population sinistrée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

POP_ELV_CD = population sinistrée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

POP_ELV_CC = population sinistrée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

Globalement, dans le pronostic élevé, la cote d'alerte combinée au niveau marin devrait provoquer 126 699 personnes sinistrées dans la ville de Saint-Louis correspondant à 73% de la population communale ; avec la crue décennale associée au niveau marin, ce chiffre s'élève à 142 491 personnes (82%) tandis que la crue centennale combinée au niveau marin engendre 163 793 sinistrés (94%). Dans ce cas de figure, c'est pratiquement l'ensemble de la commune qui est anéantie.

3.5.2. Avec les ouvrages de protection

Les ouvrages de protection réalisés autour de certains quartiers de la zone de Sor et au niveau de l'île, limitent les zones inondées dans la commune de Saint-Louis (fig. 104).

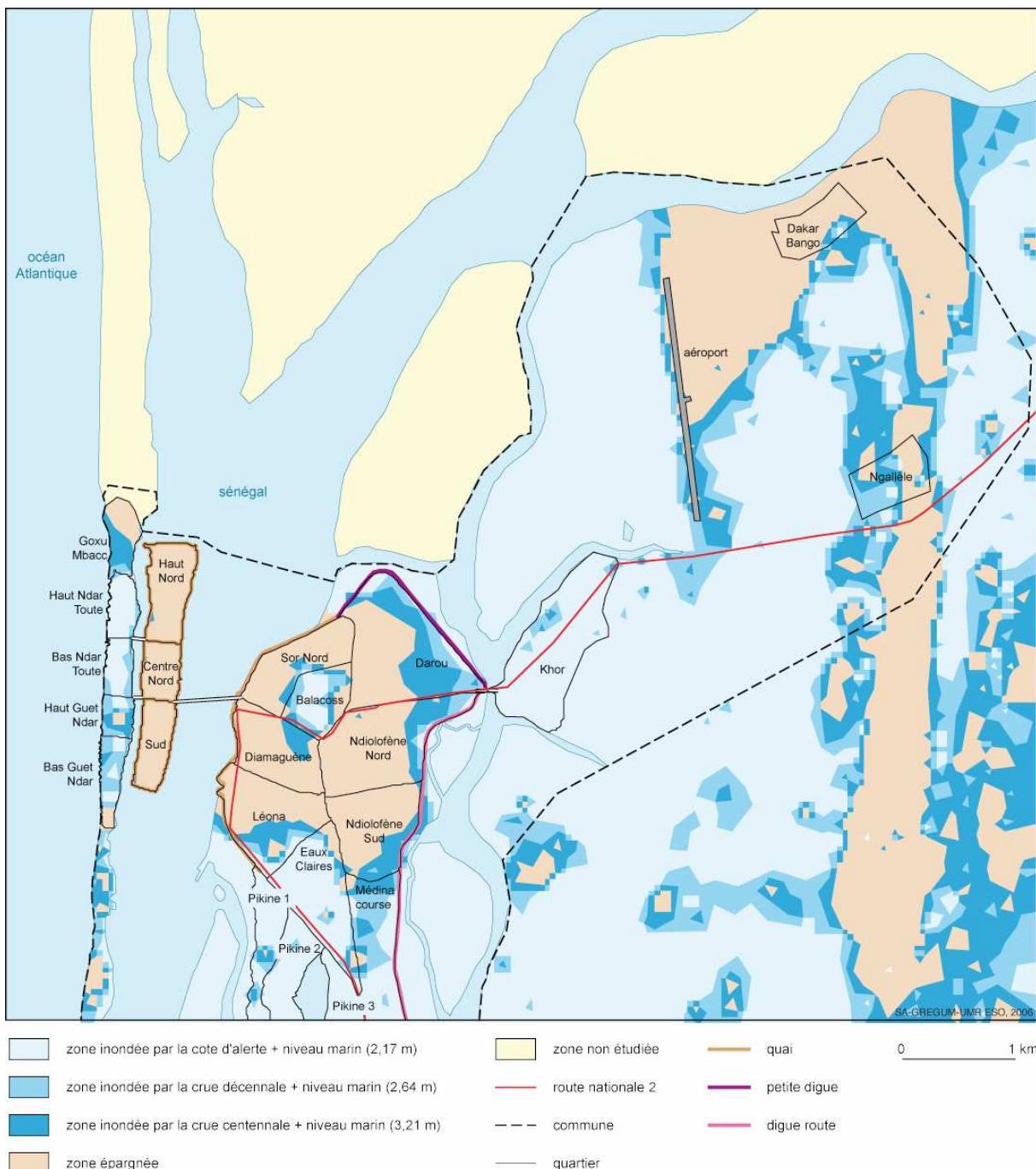


Figure 104 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006).

Les superficies submergées par la montée des eaux sont atténues (tabl. 57).

Tableau 57 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie totale (ha)	ELV_CA (ha)	ELV_CA (%)	ELV_CD (ha)	ELV_CD (%)	ELV_CC (ha)	ELV_CC (%)	ELV_EP (ha)	ELV_EP (%)
Dakar-Bango	28,47	0,38	1,32	1,81	6,34	3,95	13,89	24,51	86,12
Ngallèle	30,98	1,81	5,85	11,74	37,89	19,84	64,05	11,14	35,96
Goux Mbacc	16,64	0,29	1,75	1,90	11,40	9,42	56,61	7,22	43,40
Haut Ndar Toute	13,90	13,03	93,74	13,87	99,77	13,90	100,01	0,00	0,00
Bas Ndar Toute	12,60	9,43	74,86	12,52	99,40	12,60	100,00	0,00	0,00
Bas Guet Ndar	10,08	1,46	14,50	5,88	58,33	9,11	90,38	0,97	9,62
Haut Guet Ndar	14,73	3,42	23,25	11,61	78,82	12,60	85,52	2,13	14,48
Sud	22,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	6,05	20,73	93,95
Haut Nord	32,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	3,54	30,90	96,46
Centre Nord	17,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	4,47	16,42	95,53
Ndiolofène Sud	52,42	0,00	0,00	0,63	1,21	11,97	22,84	40,44	77,16
Sor Nord	40,18	0,41	1,01	1,45	3,61	4,30	10,70	35,88	89,30
Balacoss	28,11	10,45	37,17	16,97	60,39	22,98	81,78	5,12	18,22
Ndiolofène Nord	75,06	2,70	3,60	7,65	10,19	18,77	25,01	56,29	74,99
Khor	88,29	83,02	94,03	87,35	98,94	88,29	100,00	0,00	0,00
Darou	90,96	4,04	4,45	16,16	17,76	45,11	49,59	45,85	50,41
Médina Course	49,30	23,35	47,36	38,95	79,00	47,07	95,49	2,23	4,51
Diamaguène	44,47	0,00	0,00	0,00	0,00	5,17	11,62	39,31	88,38
Léona	57,53	5,43	9,43	9,24	16,05	20,20	35,11	37,34	64,90
Eaux Claires	55,51	45,09	81,23	49,00	88,26	51,90	93,49	3,62	6,52
Pikine III	13,96	13,96	100,00	13,96	100,00	13,96	100,00	0,00	0,00
Pikine II	28,64	27,09	94,58	28,64	100,00	28,64	100,01	0,00	0,00
Pikine I	25,90	21,07	81,34	23,72	91,58	25,75	99,40	0,16	0,60

ELV_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic élevé

Les impacts qui en découlent sont également atténus.

Impacts sur l'habitat

Impacts liés à la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé (2,17 m)

Dans la zone de Sor

La plupart des quartiers protégés par les ouvrages (Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud, Sor Nord, Darou, Diamaguène, Léona) sont à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario. L'habitat est bien préservé dans ces quartiers. Sans les ouvrages, ils étaient presque entièrement submergés par les eaux dans ce scénario. Malgré la digue route, Médina Course est inondé à 47%. Le quartier de Balacoss est également affecté à 37% comptant ainsi 473 concessions sur 1 247 sous la menace des eaux.

Au niveau de l'île

Le relèvement des quais protège totalement les quartiers de l'île de la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan dans le pronostic élevé. Sans ces ouvrages, ils étaient inondés entre 60% et 80% dans ce scénario.

Impacts liés à la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé (2,64 m)

Dans la zone de Sor

La plupart des quartiers protégés (Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud, Léona, Sor Nord, Darou, Diamaguène) restent à l'abri de la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan dans le pronostic élevé. L'habitat est ainsi protégé dans ces quartiers qui étaient presque entièrement inondés en l'absence des ouvrages. Médina Course est très fortement inondé (79%) malgré la digue route. Balacoss qui est également inondé à 60% compte ainsi 731 concessions sur 1 247 menacées par la montée des eaux.

Au niveau de l'île

Le relèvement des quais protège totalement les quartiers de l'île de la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan dans le pronostic élevé. L'habitat est ainsi préservé. Sans les ouvrages, ces quartiers étaient presque entièrement inondés dans ce scénario.

Impacts liés à la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

(3,21 m)

Dans la zone de Sor

Les quartiers de Diamaguène et de Sor Nord sont pratiquement à l'abri de la montée des eaux dans ce scénario compte tenu des ouvrages de protection. L'habitat est ainsi préservé dans ces quartiers. Sans les ouvrages, ces quartiers étaient totalement inondés dans ce scénario. D'autres quartiers protégés sont très fortement affectés ; c'est le cas de Médina Course (95%), Balacoss (82%) et Darou (50%). A Balacoss, 1 032 concessions sur un total de 1 247 peuvent ainsi être sous la menace des eaux. Le quartier de Léona dont 35% de la superficie est inondé, est moyennement affecté ; il peut compter 293 maisons sur 879 menacées par la montée des eaux. D'autres quartiers comme Ndiolofène Sud, Ndiolofène Nord et Sor Nord, sont très faiblement affectés et l'habitat y est bien préservé.

Au niveau de l'île

Le relèvement des quais protège totalement les quartiers de l'île de la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan dans le pronostic élevé. L'habitat y est ainsi préservé tandis que sans les ouvrages ces quartiers étaient entièrement inondés dans ce scénario.

Dans le pronostic élevé et compte tenu des digues et des quais, les quartiers du secteur de Sor restent assez bien protégés. C'est le cas de Sor Nord dont 89% de la superficie est hors d'atteinte des eaux, Diamaguène (88%), Ndiolofène Sud (77%), Ndiolofène Nord (75%) et Léona (65%). Par contre, le quartier de Darou est à moitié inondé par la crue centennale, malgré le relèvement des quais et la présence de la petite digue. De même, Médina Course, malgré la digue route, est inondée à 79% par la crue décennale associée au niveau marin et à 95% par la crue centennale associée au niveau marin. Les autres quartiers de Sor pas ou peu protégés comme Pikine I, II, III et Khor sont fortement submergés par les eaux (fig. 105).

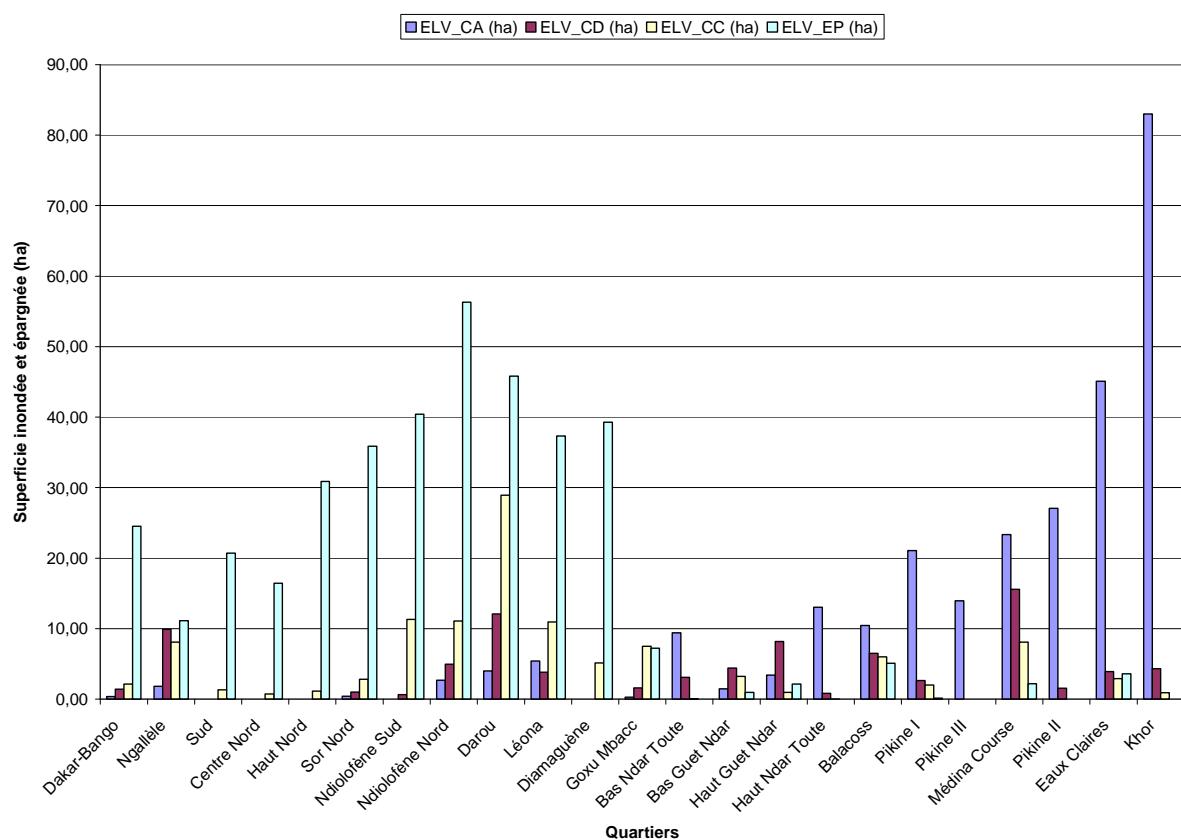


Figure 105 : Superficie inondée et épargnée par quartier dans le pronostic élevé compte tenu des ouvrages de protection, M. Sall (2006)

ELV_CA = superficie inondée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CD = superficie inondée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_CC = superficie inondée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

ELV_EP = superficie épargnée par la montée des eaux dans le pronostic élevé

Les quartiers de l'île, très bien protégés par les quais relevés sont pratiquement à l'abri de la montée des eaux dans les différents scénarios ; 94% de la superficie de Sud est épargné par la crue centennale associée au niveau contre 96% pour Haut Nord et Centre Nord.

Les quartiers de la Langue de Barbarie, pas ou peu protégés, sont fortement submergés par la montée des eaux.

Le nombre de personnes sinistrées

Au niveau des quartiers protégés, le nombre de personnes sinistrées par les crues est sensiblement atténué (tabl. 58).

Tableau 58 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé compte tenu des ouvrages de protection

QUARTIERS	Superficie (ha)	Nombre d'habitants	Densité (hbts/ha)	ELV_CA (ha)	ELV_CD (ha)	ELV_CC (ha)	POP_ELV_CA (nombre pers.)	POP_ELV_CD (nombre pers.)	POP_ELV_CC (nombre pers.)
Dakar-Bango	28,47	4706	165	0,38	1,81	3,95	62	298	654
Ngallèle	30,98	3753	121	1,81	11,74	19,84	220	1422	2404
Goxu Mbacc	16,64	12829	771	0,29	1,90	9,42	225	1462	7262
Haut Ndar Toute	13,90	3587	258	13,03	13,87	13,90	3362	3579	3587
Bas Ndar Toute	12,60	3860	306	9,43	12,52	12,60	2890	3837	3860
Bas Guet Ndar	10,08	12724	1263	1,46	5,88	9,11	1845	7422	11499
Haut Guet Ndar	14,73	9516	646	3,42	11,61	12,60	2212	7501	8138
Sud	22,07	4518	205	0,00	0,00	1,33	0	0	273
Haut Nord	32,03	4418	138	0,00	0,00	1,13	0	0	156
Centre Nord	17,19	4485	261	0,00	0,00	0,77	0	0	200
Ndiolofène Sud	52,42	10535	201	0,00	0,63	11,97	0	128	2406
Sor Nord	40,18	11611	289	0,41	1,45	4,30	118	419	1242
Balacoss	28,11	5793	206	10,45	16,97	22,98	2153	3499	4738
Ndiolofène Nord	75,06	6151	82	2,70	7,65	18,77	222	627	1538
Khor	88,29	4468	51	83,02	87,35	88,29	4201	4421	4468
Darou	90,96	8400	92	4,04	16,16	45,11	373	1492	4166
Médina Course	49,30		0	23,35	38,95	47,07	0	0	0
Diamaguène	44,47	11399	256	0,00	0,00	5,17	0	0	1324
Léona	57,53	14373	250	5,43	9,24	20,20	1355	2307	5046
Eaux Claires	55,51	8579	155	45,09	49,00	51,90	6969	7572	8021
Pikine III	13,96		0	13,96	13,96	13,96	0	0	0
Pikine II	28,64	20578	719	27,09	28,64	28,64	19464	20579	20579
Pikine I	25,90	8219	317	21,07	23,72	25,75	6685	7527	8170
Total		174502					52356	74090	99732
%							30	42	57

POP_ELV_CA = population sinistrée par la cote d'alerte combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

POP_ELV_CD = population sinistrée par la crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

POP_ELV_CC = population sinistrée par la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé

Dans *la zone de Sor*, Diamaguène n'est que faiblement affecté par la crue centennale combinée au niveau marin qui provoque 1 324 sinistrés. Dans ce même secteur, Ndiolofène

Sud est inondé par les crues décennale et centennale associées au niveau marin qui y engendrent respectivement 128 et 2 406 sinistrés. A Sor Nord et Ndiolofène Nord, la crue centennale combinée au niveau marin y affecte respectivement 1 242 et 1 538 personnes tandis qu'à Darou et Léona le nombre de sinistrés atteint respectivement 4 166 et 5 046 personnes.

Dans les quartiers pas ou peu protégés, le nombre de personnes affectées par la montée des eaux reste élevé. Globalement, au niveau de Sor, la cote d'alerte associée au niveau marin engendre 39 048 sinistrés soit 35% de la population, la crue décennale combinée au niveau marin 43 898 sinistrés (40%) et la crue centennale combinée au niveau marin 51 773 sinistrés (47%).

Dans les *quartiers de l'île* (Haut Nord, Centre Nord, Sud), seule la crue centennale associée au niveau marin affecte 5% de la population insulaire tandis qu'au niveau de la *Langue de Barbarie* peu protégée, le nombre de sinistrés reste important.

3.6. La sensibilité des différents quartiers à la montée des eaux

Sans les ouvrages de protection, les quartiers de la zone de Sor sont les plus sensibles à la montée des eaux, suivis de ceux de la Langue de Barbarie, de l'île et enfin de la périphérie. La sensibilité étant définie ici comme le niveau d'exposition à l'aléa. *Dans la zone de Sor*, il est possible de distinguer trois groupes de quartier en fonction de leur sensibilité à la montée des eaux :

- les quartiers à **très forte** sensibilité : il s'agit de Pikine I, Pikine II, Pikine III, Médina Course et Khor qui sont sous l'influence du fleuve Sénégal et du marigot de Khor ; ils sont déjà inondés par la cote d'alerte dans les conditions actuelles, qui est le plus faible niveau de débordement des eaux du fleuve ;
- les quartiers à **forte** sensibilité : ce sont Léona, Eaux Claires, Diamaguène et Balacoss qui sont affectés par la crue décennale dans les conditions actuelles ;
- enfin, les quartiers à sensibilité **moyenne** : il s'agit de Sor Nord, Darou, Ndiolofène Nord et surtout Ndiolofène Sud ; ils sont surtout affectés par la crue centennale dans les conditions actuelles.

Les quartiers de la Langue de Barbarie peuvent également être classés en trois groupes selon leur sensibilité à la montée des eaux :

- les quartiers à **forte** sensibilité à la montée des eaux : il s'agit de Bas Ndar Toute et de Haut Ndar Toute qui sont déjà affectés par la cote d'alerte dans les conditions actuelles ;
- les quartiers à sensibilité **moyenne**, qui sont représentés par Haut Guet Ndar et Bas Guet Ndar ; ils sont affectés par la crue décennale dans les conditions actuelles ;
- enfin, le quartier de Goxu Mbacc à **faible** sensibilité ; il est affecté par la crue centennale dans les conditions actuelles.

Au niveau de l'île, on peut distinguer :

- le quartier de Centre Nord qui présente une sensibilité **moyenne** à la montée des eaux ; il est fortement inondé par la crue décennale dans les conditions actuelles ;
- les quartiers de Haut Nord et de Sud qui montrent une **faible** sensibilité à la montée des eaux ; ils ne sont affectés qu'à partir de la crue centennale à l'état actuel même si Haut Nord reste moins inondé que Sud.

Au niveau de la périphérie, les quartiers présentent une **très faible** sensibilité à la montée des eaux même si Ngallèle est affecté par la crue centennale associée au niveau marin dans le pronostic moyen.

Avec les ouvrages de protection, la sensibilité des quartiers protégés, à la montée des eaux diminue fortement : ils sont moins exposés à l'aléa. *Dans la zone de Sor*, trois groupes de quartiers peuvent ainsi être distingués :

- les quartiers à **forte** sensibilité : il s'agit de Médina Course et de Balacoss qui sont faiblement protégés par rapport à la crue décennale dans les conditions actuelles;
- les quartiers à sensibilité **moyenne** : ce sont ceux de Léona, Ndiolofène nord et Darou qui sont bien protégés par rapport à la crue centennale dans le pronostic élevé ;
- les quartiers à **faible** sensibilité à la montée des eaux : il s'agit de Sor Nord, Diamaguène et Ndiolofène Sud qui sont très bien protégés par rapport à la crue centennale dans le pronostic élevé

Au niveau de l'île les quartiers sont d'une **faible** sensibilité à la montée des eaux : ils sont totalement protégés par rapport aux différents niveaux de montée des eaux (fig. 105).

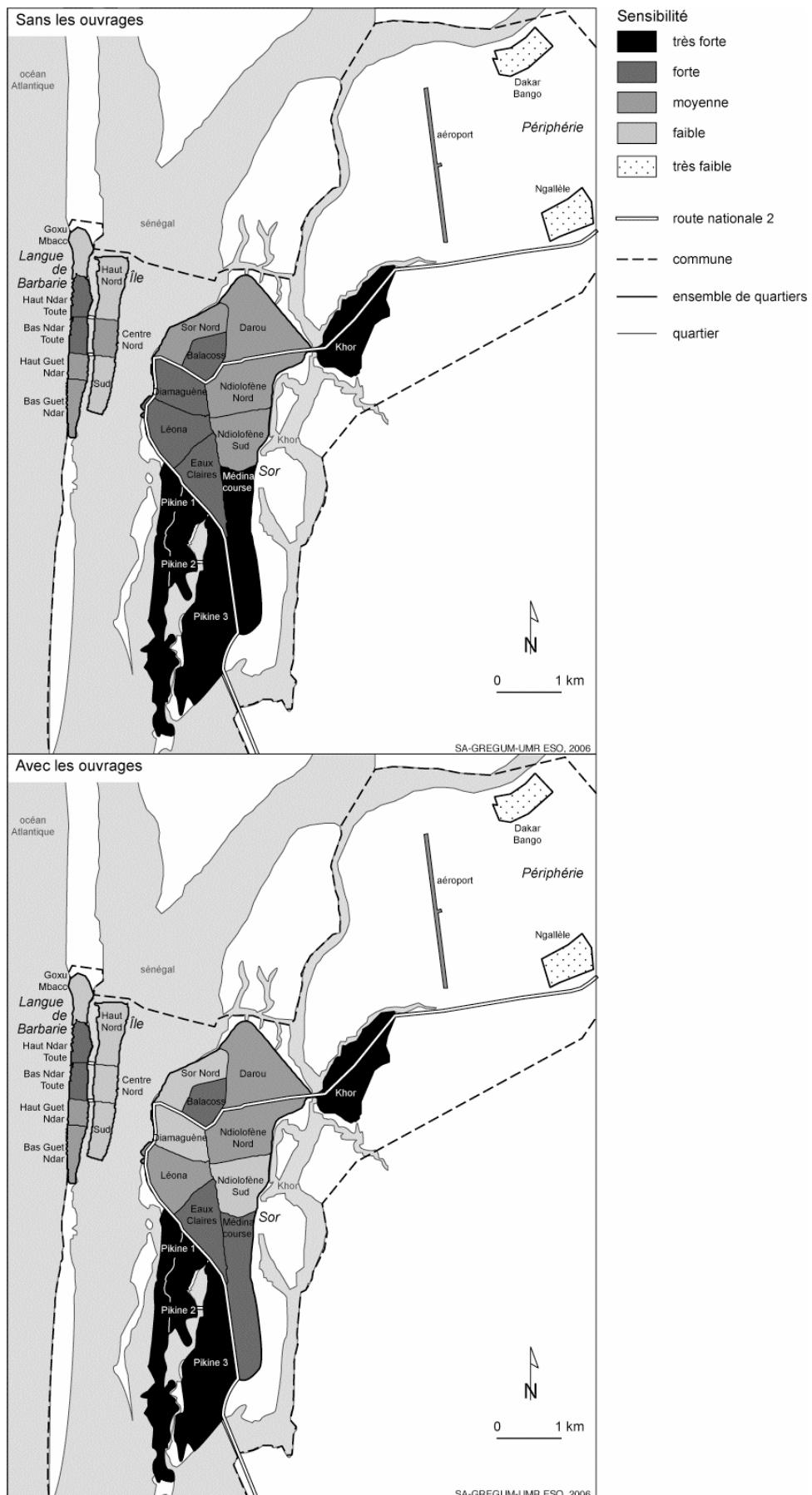


Figure 105 : Sensibilité à la montée des eaux des différents quartiers de la commune de Saint-Louis
M. Sall (2006)

Conclusion

L’élévation combinée du niveau des eaux du fleuve Sénégal et de l’Océan Atlantique constitue une menace constante (compte non tenu du canal de délestage) pour la commune de Saint-Louis. Sans les ouvrages de protection, elle se retrouve pratiquement submergée par la montée des eaux. La sensibilité de la commune à cette montée des eaux diffère en fonction des espaces géographiques, naturellement bien distincts. Mais au sein même de ces espaces, les quartiers sont diversement affectés par les inondations. Ainsi, la zone de Sor qui regroupe plusieurs quartiers bâtis sur d’anciennes vasières, s’avère la plus sensible à la montée des eaux. Déjà, dans les conditions actuelles, elle est fortement affectée par les différents niveaux de crue. Les quartiers limitrophes de ce secteur présentent une très forte sensibilité à la montée des eaux ; au nord-est, à l’est et au sud-est, ce sont les quartiers de Khor, Médina Course, bordés par le marigot de khor qui draine une partie de la crue. Au sud-ouest, ce sont les quartiers de Pikine I, II et III qui sont sous l’influence du fleuve Sénégal. A l’ouest, les quartiers de Léona, Diamaguène, Balacoss, qui font face au fleuve Sénégal, sont d’une forte sensibilité à la montée des eaux. Les quartiers de Ndiolofène Nord et surtout Ndiolofène Sud auxquels on peut rattacher ceux de Darou et de Sor Nord, situés plus à l’intérieur sur un espace plus élevé, présentent une sensibilité moyenne.

La partie insulaire de la commune de Saint-Louis est beaucoup moins sensible à la montée des eaux que la zone de Sor. Elle n’est réellement affectée que par la crue centennale dans les conditions hydrologiques actuelles, les crues décennales et centennales combinées au niveau marin dans le pronostic moyen et les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé. Le centre de l’île, représenté par le quartier de Centre Nord est d’une sensibilité moyenne à la montée des eaux. Il est déjà fortement affecté par la crue décennale à l’état actuel tandis que les quartiers de Sud et de Haut Nord ne sont véritablement inondés que par la crue centennale. Ces derniers présentent une faible sensibilité à la montée des eaux même si Haut Nord est moins affecté.

La flèche littorale de la Langue de Barbarie présente des parties plus basses que l’île qui sont rapidement inondées par les premiers débordements du fleuve (cote d’alerte et crue décennale à l’état actuel, cote d’alerte combinée au niveau marin dans les pronostics bas et moyen, crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas). Mais les quartiers de la Langue de Barbarie apparaissent moins sensibles que ceux de l’île aux crues centennales à l’état actuel et dans le pronostic bas ainsi qu’aux crues décennale et centennale associées au niveau marin dans le pronostic moyen et à tous les niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé. Cependant, la sensibilité à la montée des eaux au niveau de la flèche littorale suit la

même tendance que celle remarquée au niveau de l'île. Les quartiers situés au centre de la Langue de Barbarie, Bas Ndar Toute et Haut Ndar Toute, sont toujours les plus fortement affectés par les différents niveaux d'eau : ils présentent une forte sensibilité à la montée des eaux. Ils sont suivis par ceux situés au sud du cordon littoral, Haut Guet Ndar et Bas Guet Ndar qui sont d'une sensibilité moyenne. Enfin, Goxu Mbacc, situé au nord de la Langue de Barbarie, est faiblement sensible à la montée des eaux.

Les quartiers périphériques de Dakar-Bango et de Ngallèle, situés sur d'anciens cordons littoraux, à une dizaine de kilomètres du centre ville, sont les zones les plus sûres pour l'habitat par rapport à la montée des eaux. Ils montrent une très faible sensibilité à la montée des eaux même si Ngallèle est fortement affecté par les crues centennales associées au niveau marin dans les pronostics moyen et élevé. Dakar-Bango s'avère le quartier le plus à l'abri des inondations ; les possibilités d'extension de la commune peuvent également être explorées dans ses environs.

Les impacts des inondations sur l'habitat sont importants et augmentent en fonction de la sensibilité des différents quartiers à la montée des eaux. L'endommagement des maisons qui peut s'ensuivre constitue une contrainte socio-économique de taille pour les populations qui ont majoritairement investi dans la construction en dur. Le nombre de personnes affectées varie également en fonction de la sensibilité des différents quartiers à la montée des eaux.

Les ouvrages de protection édifiés (digues, quais) pour lutter contre le débordement des eaux ne couvrent pas l'ensemble des quartiers et se montrent précaires par endroits. Mais, globalement, ils remplissent pleinement leur fonction, réduisant sensiblement le nombre de personnes sinistrées par la montée des eaux. Les quartiers de Sor (les plus sensibles à la montée des eaux), situés en majorité sur d'anciennes vasières, sont en général bien sécurisés par les digues et les quais relevés. Le même constat est valable pour l'île protégée par les quais qui la mettent pratiquement à l'abri des crues dans les différents scénarios (tabl. 59).

Tableau 59 : Nombre de sinistrés par secteur pour différents niveaux de montée des eaux et dans les différents scénarios, avec et sans les ouvrages de protection

Scénarios			Secteurs					
			Sor		Ile		Langue de Barbarie	
			Nombre sinistrés	%	Nombre sinistrés	%	Nombre sinistrés	%
Etat actuel	Sans protection	CA	38 750	35	823	6	7 719	18
		CD	72 318	66	3 418	25	14 468	34
		CC	100 395	91	12 326	92	22 188	52
	Avec protection	CA	14 367	13	0	0	945	2
		CD	31 822	29	0	0	4 594	11
		CC	42 039	38	0	0	19 543	46
Pronostic bas	Sans protection	CA+NM	46 185	42	1 421	11	9 303	22
		CD+NM	83 181	76	5 044	38	15 902	37
		CC+NM	101 238	92	12 830	96	23 603	56
	Avec protection	CA+NM	18 127	16	0	0	1 312	3
		CD+NM	35 626	32	0	0	6 534	15
		CC+NM	43 148	39	0	0	21 521	51
Pronostic moyen	Sans protection	CA+NM	74 897	68	3 700	28	14 778	35
		CD+NM	99 750	91	11 853	88	21 266	50
		CC+NM	104 288	95	13 421	100	30 746	72
	Avec protection	CA+NM	32 527	30	0	0	4 800	11
		CD+NM	41 480	38	1	0,01	16 775	39
		CC+NM	47 773	43	7	0,05	27 931	66
Pronostic élevé	Sans protection	CA+NM	96 630	88	9 653	72	18 527	44
		CD+NM	101 867	93	13 182	98	24 981	59
		CC+NM	107 660	98	13 421	100	38 863	91
	Avec protection	CA+NM	39 048	35	0	0	10 534	25
		CD+NM	43 898	40	0	0	23 800	56
		CC+NM	51 773	47	630	4,69	34 347	81

CA = cote d'alerte ; CA+NM = Cote d'alerte + niveau marin

CD = crue décennale ; CD+NM = crue décennale + niveau marin

CC = crue centennale ; CC+NM = crue centennale + niveau marin

C'est pourquoi, l'investissement dans la maintenance et/ou la construction de nouvelles digues ou le rehaussement d'autres quais peut être poursuivi. Les digues peuvent également être rehaussées au niveau des quartiers les plus bas, comme Médina Course, pour les sécuriser davantage. Mais quelle que soit leur efficacité contre la montée des eaux, les digues et quais sont inefficaces par rapport aux eaux de pluies. Ainsi, un effort supplémentaire peut être consenti pour assainir convenablement l'ensemble de la commune.

3.7. Les impacts des inondations sur les équipements de la commune

La commune de Saint-Louis concentre beaucoup d'équipements liés en partie à son statut de capitale régionale (fig. 106).

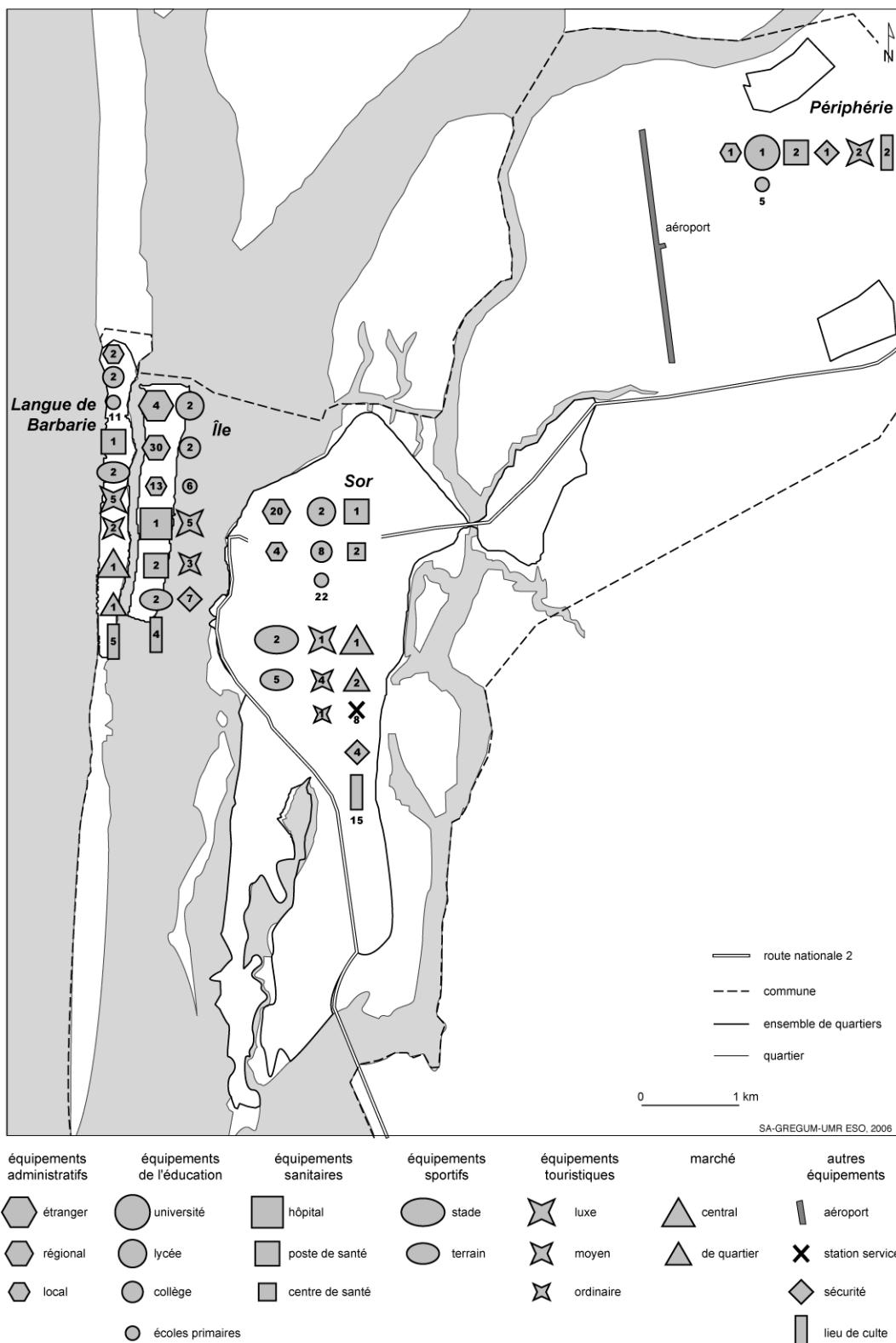


Figure 106 : Répartition des équipements dans les différents quartiers de la commune de Saint-Louis
M. Sall (2006)

Ainsi, pour les *équipements administratifs*, on y dénombre, en plus de la gouvernance, de la chambre de commerce et du conseil régional, 50 services régionaux, 11 agences et antennes de sociétés, 9 ONG et 4 représentations diplomatiques et organismes internationaux (DUA, 2003). Plus de la moitié de ces équipements (64%) sont localisés dans l'île dont 43,5% à Centre Nord et Haut Nord et 20,5% à Sud. Les autres se retrouvent à Sor Nord, Balacoss, Ndiolofène, Léona, Dakar-Bango, Khor, Ndar Toute, Eaux Claires, Guet Ndar.

Les *équipements scolaires et universitaires* : Saint-Louis qui constitue l'un des principaux pôles scolaires et universitaires du pays, comprend plusieurs établissements. En 2001/2002, la commune comptait 12 établissements préscolaires qui totalisaient 993 élèves, 41 écoles primaires disposant de 438 classes et enregistrant 23 821 élèves, 19 établissements d'enseignement moyen et secondaire comprenant 244 classes et 8 937 élèves et 5 établissements de formation professionnelle comptant 553 élèves. Les établissements préscolaires sont localisés à Ndar Toute, au Nord, à Dakar-Bango, Ngallèle et Sor Nord. Tous les quartiers sont au moins dotés d'une école primaire tandis que 40% des salles de classe de l'enseignement moyen secondaire et professionnel sont concentrées dans l'île et la Langue de Barbarie. Les autres établissements se retrouvent à Sor Nord, Léona et Ndiolofène Sud.

L'Université est située à la périphérie, dans la zone de Ngallèle.

Les *équipements sanitaires* : la commune compte un hôpital régional localisé dans le quartier de Sud ; il dessert les régions de Saint-Louis, Louga, Matam et reçoit même des patients de la Mauritanie voisine. Elle comprend également un centre de santé situé à Léona et 11 postes de santé répartis à Guet Ndar, Goxu Mbacc, Haut Nord, Sud, Diamaguène, Pikine II, Pikine III, Ngallèle et Dakar-Bango.

Les *équipements touristiques* : La région de Saint-Louis est la quatrième destination touristique du pays après celles de Dakar, Thiès et Ziguinchor du fait du développement de ses structures d'accueil. Le nombre de lits est passé de 364 à 1 443 entre 1991 et 2001. En 1996, le secteur a généré 4 milliards de FCFA et 275 emplois directs. Il a également contribué à redynamiser d'autres activités comme l'agriculture, la pêche, le commerce, le transport, l'artisanat (DUA, 2003). En 2002, la commune de Saint-Louis totalisait 23 réceptifs hôteliers sur les 29 que compte la région. Ils sont disséminés dans les différents quartiers. Dans la zone de Sor, se retrouvent 6 réceptifs hôteliers (surtout des auberges) situés à Sor Nord (2 auberges), Ndiolofène Nord (1 auberge, 1 hôtel), Léona (1 maison d'accueil) et Khor (1 auberge). Au niveau de l'île, se concentrent 8 complexes hôteliers de plus grande envergure. Ils sont localisés à Centre Nord (3 hôtels et 1 auberge) et à Sud (2 hôtels et 2 auberges). La

Langue de Barbarie totalise 7 réceptifs (5 hôtels et 2 campements) localisés dans le quartier de Bas Guet Ndar. Enfin, au niveau de la périphérie, se localise le ranch de Dakar-Bango (hôtel). Les *équipements marchands* : la commune compte deux marchés centraux localisés à Diamaguène et à Bas Ndar Toute ; le marché de Diamaguène couvre une superficie de 16 750 m² et comprend 570 cantines, 280 échoppes, 290 m² de hangar et 1 180 étales. Le marché central de Bas Ndar Toute s'étend sur 15 500 m² et comprend 347 cantines. Des marchés de quartier se trouvent également à Pikine, Eaux Claires et Goxu Mbacc.

Les *équipements liés à la sécurité, à l'ordre public et à la justice* : la commune compte 10 postes de sécurité essentiellement répartis dans l'île et dans la zone de Sor. Le commissariat central, la caserne des sapeurs pompiers ainsi qu'un camp militaire se trouvent à Haut Nord ; le tribunal régional est localisé à Centre Nord tandis que le poste de police municipale et la direction régionale des douanes sont à Sud. A Ndiolofène Nord, on dénombre un commisariat de police, deux brigades de gendarmerie et un camp militaire ; un poste de gendarmerie se trouve à Khor tandis qu'un camp militaire est localisé à Dakar-Bango.

Les *équipements sportifs* : deux stades sont situés à Diamaguène et à Médina Course. Six terrains de football sont répartis dans les quartiers de Haut Nord, Léona, Ndiolofène Sud et eaux claires. Un stadium de basket se trouve à Bas Ndar Toute tandis qu'un club de gymnase est localisé dans le quartier de Sud.

Les *équipements religieux et culturels* : Saint-Louis compte plus de quinze grandes mosquées réparties dans tous les quartiers. Elle compte également deux églises et trois chapelles situées à Sud et à Sor Nord. On y dénombre trois cimetières musulmans qui se trouvent à Guet Ndar et à Darou ainsi qu'un cimetière chrétien à Darou.

Les différents niveaux d'inondation de la commune de Saint-Louis peuvent affecter les équipements entraînant des impacts sur la qualité de vie de la population.

3.7.1. Les impacts liés aux établissements scolaires

La paralysie totale ou partielle de ces établissements suite aux inondations peut porter un grand préjudice à la scolarisation des enfants et des jeunes. Sans les ouvrages de protection, l'île qui comprend de nombreux établissements présente une faible sensibilité à la montée des eaux. Mais cette sensibilité est forte à moyenne dans la Langue de Barbarie et à Sor qui comptent également beaucoup d'établissements. Même si la période des inondations coïncide avec celle des vacances scolaires, le temps nécessaire à la remise en état des écoles affectées

peut retarder le démarrage des cours. D'autre part, les établissements scolaires peuvent être indirectement paralysés par les inondations. En effet, les écoles non inondées sont les centres d'accueil privilégiés des personnes affectées par la montée des eaux. Leur requisition peut largement se prolonger au-delà de la rentrée des classes privant ainsi un grand nombre d'élèves d'une reprise normale des cours. L'Université qui est située à la périphérie dans la zone de Ngallèle, est à l'abri des inondations.

3.7.2. Les impacts liés aux équipements sanitaires

La paralysie des structures sanitaires du fait des inondations, peut porter un lourd préjudice aux populations. Un ralentissement ou un arrêt de fonctionnement de ces structures souvent surchargées par la forte demande, constitue pratiquement une catastrophe. Selon DUA (2003), le centre de santé de Léona, polarise 156 000 personnes dans l'ensemble du département de Saint-Louis ; ce qui dépasse largement (trois fois) la norme de 50 000 personnes par poste de santé définie par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Or, ce centre se trouve dans un quartier qui est d'une forte sensibilité à la montée des eaux : sans les ouvrages de protection, il est déjà affecté, dans les conditions hydrologiques actuelles, par la cote d'alerte (32%) et la crue décennale (84%).

Ce constat est également valable pour les postes de santé situés à Guet Ndar et Goxu Mbacc sur la Langue de Barbarie, Haut Nord et Sud sur l'île, Diamaguène, Pikine II et III à Sor. Ces postes sont légèrement surchargés avec une fréquentation de 12 000 personnes pour une norme de 10 000 personnes. Par contre, les postes de santé de Ngallèle et de Dakar-Bango, sur les quartiers périphériques, peu sensibles à la montée des eaux, pourront à priori, jouer pleinement leur rôle. Enfin, l'hôpital régional est situé dans l'île, au niveau du quartier de Sud qui est surtout affecté par les crues décennale et centennale dans les différents scénarios, compte non tenu des ouvrages de protection. En 2002, sa capacité d'accueil était de 313 lits. Le ralentissement ou l'arrêt de fonctionnement de l'hôpital consécutif aux inondations aurait des conséquences très néfastes sur la santé de la population régionale.

3.7.3. Les impacts liés aux équipements touristiques

L'endommagement des infrastructures hôtelières par les inondations aura des conséquences socio-économiques considérables au niveau local, régional et même national. L'inondation des quartiers de Sor qui sont fortement affectés par la montée des eaux dans les différents

scénarios, engendre la baisse de la fréquentation touristique, la perte d'emplois et de recettes au niveau local, communal et régional. Sans les ouvrages de protection, les quartiers de Centre Nord et de Sud sont fortement affectés par les crues décennale et centennale dans les différents scénarios. Cela devrait également se traduire, sur le plan socio-économique, par des pertes encore plus importantes que dans la zone de Sor, à cause du standing plus élevé des infrastructures. La Langue de Barbarie, située entre l'Océan Atlantique et le petit bras du fleuve Sénégal, est fortement affectée par les crues décennale et centennale dans les différents scénarios. Il peut également subir les conséquences des conditions météorologiques extrêmes comme les tempêtes qui ont provoqué à plusieurs reprises des ruptures de la Langue de Barbarie. Dans ces conditions, la paralysie des équipements touristiques qui s'y trouvent peut entraîner des conséquences socio-économiques considérables, au moins comparables à celles de la partie insulaire. Enfin, le Ranch de Bango, à l'image du quartier devrait être à l'abri de la montée des eaux dans les différents scénarios.

3.7.4. Les impacts liés aux équipements marchands

Les marchés sont le lieu d'une activité économique informelle très florissante. Elle se déroule essentiellement dans les marchés centraux de Diamaguène et de Bas Ndar Toute ainsi que, dans une moindre mesure, dans les marchés des quartiers de Pikine, Eaux Claires et Goxu Mbacc. Ce commerce donne des résultats économiques probants : 10 milliards de FCFA sont générés (DUA, 2003). Le marché central de Diamaguène est le plus dynamique ; son influence s'étend sur toute la région. Il mobilise 2 197 commerçants dont 86% habitent dans le secteur de Sor. Ceci fait que la paralysie de ces activités par inondation du marché porte un grand préjudice socio-économique au niveau local et régional. Or, le quartier de Diamaguène est très fortement affecté par les différents niveaux de crue dans tous les scénarios. Même avec les ouvrages de protection, il n'est pas complètement à l'abri de la montée des eaux. Le marché central de Bas Ndar Toute compte 681 commerçants qui s'y activent dont 49,6% habitent la zone de Sor et 44,2% le secteur de la Langue de Barbarie. Ici, également l'inondation du quartier de Bas Ndar Toute qui est le plus sensible, sur la flèche littorale, à la montée des eaux dans les différents scénarios, engendre des conséquences socio-économiques importantes au niveau local et communal. L'inondation du marché de Pikine, spécialisé dans les denrées alimentaires, en plus de la perte d'emplois et la baisse de revenus, peut provoquer une pénurie de ces produits au niveau de la commune. Par contre, l'inondation des marchés de

Eaux Claires (18 cantines) et Goxu Mbacc (20 cantines), peu fonctionnels, n'aura pas de grandes conséquences.

3.7.5. Les impacts liés aux équipements relatifs à la sécurité, à l'ordre public et à la justice

La zone de Sor compte un commissariat de Police, un état major et deux brigades de la gendarmerie ainsi qu'un camp du Génie militaire, tous situés à Ndiolofène Nord. Un poste de la gendarmerie se trouve aussi à Khor. Le quartier de Ndiolofène Nord est d'une sensibilité moyenne à la montée des eaux : c'est le deuxième de la zone de Sor qui est le plus à l'abri des inondations. Néanmoins, il est très affecté par les crues décennale et centennale dans les différents scénarios. Par contre, le quartier de Khor présente une très forte sensibilité à la montée des eaux. Les inondations peuvent ainsi constituer une contrainte de taille au bon fonctionnement de ces services de sécurité qui assurent également un rôle administratif important (légalisation de documents, confection de pièces nationales d'identité, de passeports, etc.). La perturbation de ce service public peut ainsi engendrer des désagréments considérables à la population.

Au niveau de l'île, le quartier de Haut Nord abrite le commissariat central de la police, un camp militaire et la caserne des sapeurs pompiers. Il présente une faible sensibilité à la montée des eaux : c'est le quartier le plus à l'abri des inondations dans le secteur mais, sans les ouvrages de protection, il est très affecté par les crues décennale et centennale dans les différents scénarios. La paralysie totale ou partielle de ces services portera un grand préjudice à la population saint-louisienne. Le tribunal régional localisé dans le quartier de Centre Nord peut être affecté par l'inondation de ce quartier qui présente une sensibilité moyenne à la montée des eaux. De même, le fonctionnement de la police municipale et de la direction régionale des douanes situées dans le quartier de Sud, très affecté par les crues décennale et centennale dans les différents scénarios, peut être perturbé.

Au niveau de la périphérie, le camp militaire de Dakar-Bango ne devrait pas être affecté.

3.7.6. Les impacts liés aux équipements sportifs

La zone de Sor, très affectée par les inondations dans les différents scénarios de montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan, abrite les deux stades de la ville situés dans les quartiers de Diamaguène et de Médina Course qui, sans les ouvrages de protection, présentent respectivement une forte et une très forte sensibilité à la montée des eaux. Ces infrastructures

sont très sollicitées pour les manifestations sportives de la jeunesse, communément appelées « navétanes », très attendues pendant la période des vacances scolaire et universitaire (juillet-août-septembre) correspondant également à celle des crues. L'impraticabilité de ces stades suite aux inondations va plonger la commune dans une grande morosité d'autant plus que ces manifestations sont accompagnées d'un volet culturel très important. De même, la paralysie des terrains de football de Léona, Ndiolofène Sud, Eaux Claires va également porter préjudice aux activités de vacances de la jeunesse.

Au niveau de l'île, se localisent un terrain de football à Haut Nord et un club de gymnase (Hand-ball, Basket-ball, Volley-ball) à Sud. L'impraticabilité de ces infrastructures suite aux inondations de ces quartiers, très affectés par les crues décennale et centennale dans les différents scénarios de montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan, va porter un grand préjudice à la population.

Au niveau de la Langue de Barbarie, la paralysie du stadium de Basket-ball, situé à Bas Ndar Toute, très affecté par la montée des eaux dans les différents scénarios, sera également très contraignant surtout pour la jeunesse.

3.7.7. Les impacts liés aux équipements religieux et culturels

Saint-Louis conserve une forte pratique religieuse. Ainsi, les lieux de prière que sont les mosquées et les églises, constituent un patrimoine social auquel la population est très attachée. L'indisponibilité d'une partie ou de l'ensemble de ces équipements collectifs suite aux inondations, sera un handicap de taille.

L'inondation des cimetières (comme ce fut le cas en 1999 pour le cimetière musulman de Bas Guet Ndar), situés dans des quartiers très affectés par la montée des eaux dans les différents scénarios, causera également beaucoup de désagréments aux populations.

3.7.8. Les impacts liés à l'aéroport international de Saint-Louis

L'aéroport est situé à la périphérie de la commune non loin de Dakar-Bango. Il répond aux normes internationales ; son trafic a été largement amélioré avec les travaux qui ont allongé la piste à 1 900 m, permettant des vols charters et cargos. En 2001, 1 070 départs et arrivées ont été enregistrés pour 11 967 passagers (DUA, 2003).

L'aéroport est bordé sur sa façade Est par une zone marécageuse régulièrement inondée par les marées. La crue centennale, dans les différents scénarios de montée combinée des eaux du

fleuve et de l'océan, affecte ses extrémités nord et sud et sa partie centrale. Ceci devrait constituer un lourd handicap à l'économie de la commune et de la région en freinant l'arrivée des touristes et l'exportation des produits halieutiques et maraîchers locaux. De même, l'arrivée par voie aérienne de secours ou de matériel de lutte contre la montée des eaux, pourrait être compromise.

3.7.9. Autres impacts

Les huit stations d'essence de la commune de Saint-Louis sont toutes localisées dans la zone de Sor qui est très affectée par la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan. Leur paralysie partielle ou totale due aux inondations se répercutera très négativement sur le secteur du transport qui est très dynamique. Il peut également s'ensuivre une pollution du sol et de la nappe phréatique si les réservoirs de carburant sont affectés.

De même, le seul abattoir de la commune est localisé dans le quartier de Khor qui est très affecté déjà par un niveau de crue équivalent à la cote d'alerte dans les différents scénarios de montée des eaux. Sa paralysie devrait affecter l'approvisionnement du marché en viande.

Enfin, des problèmes sanitaires peuvent également subvenir surtout dans les zones de Sor et de la Langue de Barbarie où le niveau d'assainissement est faible. Dans ce cas, le développement d'épidémie comme le cholera est à craindre.

3.8. Le risque d'inondation des différents quartiers

Le risque fait appel, à la fois, à l'aléa et à la vulnérabilité qui peut se traduire par le niveau d'équipement des quartiers, la présence d'infrastructure, le nombre d'habitants, etc. Sur cette base, *sans les ouvrages de protection*, nous avons classé les différents groupes de quartiers de la commune de Saint-Louis selon le risque d'inondation décroissant suivant :

- les quartiers de l'île présentent un niveau de risque *très élevé* par rapport à la montée des eaux ; l'île est classée patrimoine mondial de l'Unesco depuis 2000 pour son architecture typique de l'époque coloniale ; en plus, elle concentre beaucoup d'hôtels, de services, de lieux de culte, d'établissements scolaires, l'hôpital régional ainsi que la totalité des organismes internationaux ;
- la zone de Sor est d'un niveau de risque *élevé* du fait de sa population qui représente 63% du total communal, de la présence du marché central le

- plus dynamique (Diamaguène) ; de plus, toutes les stations d'essence de la commune y sont localisées ainsi que plusieurs établissements scolaires ;
- les quartiers de la Langue de Barbarie présentent un risque **moyen** ; le cordon littoral contient des équipements touristiques, un marché central, des établissements scolaires mais il est moins équipé que les deux précédents groupes et est moins peuplée que la zone de Sor ;
 - enfin, les quartiers de la périphérie sont d'un niveau de risque **très faible** ; ils sont peu sensibles à la montée des eaux, peu peuplés et sous équipés.

Avec les ouvrages de protection, le risque d'inondation devient plus élevé dans la zone de Sor, qui est encore affectée par la montée des eaux que l'île qui est totalement protégée (fig. 107).

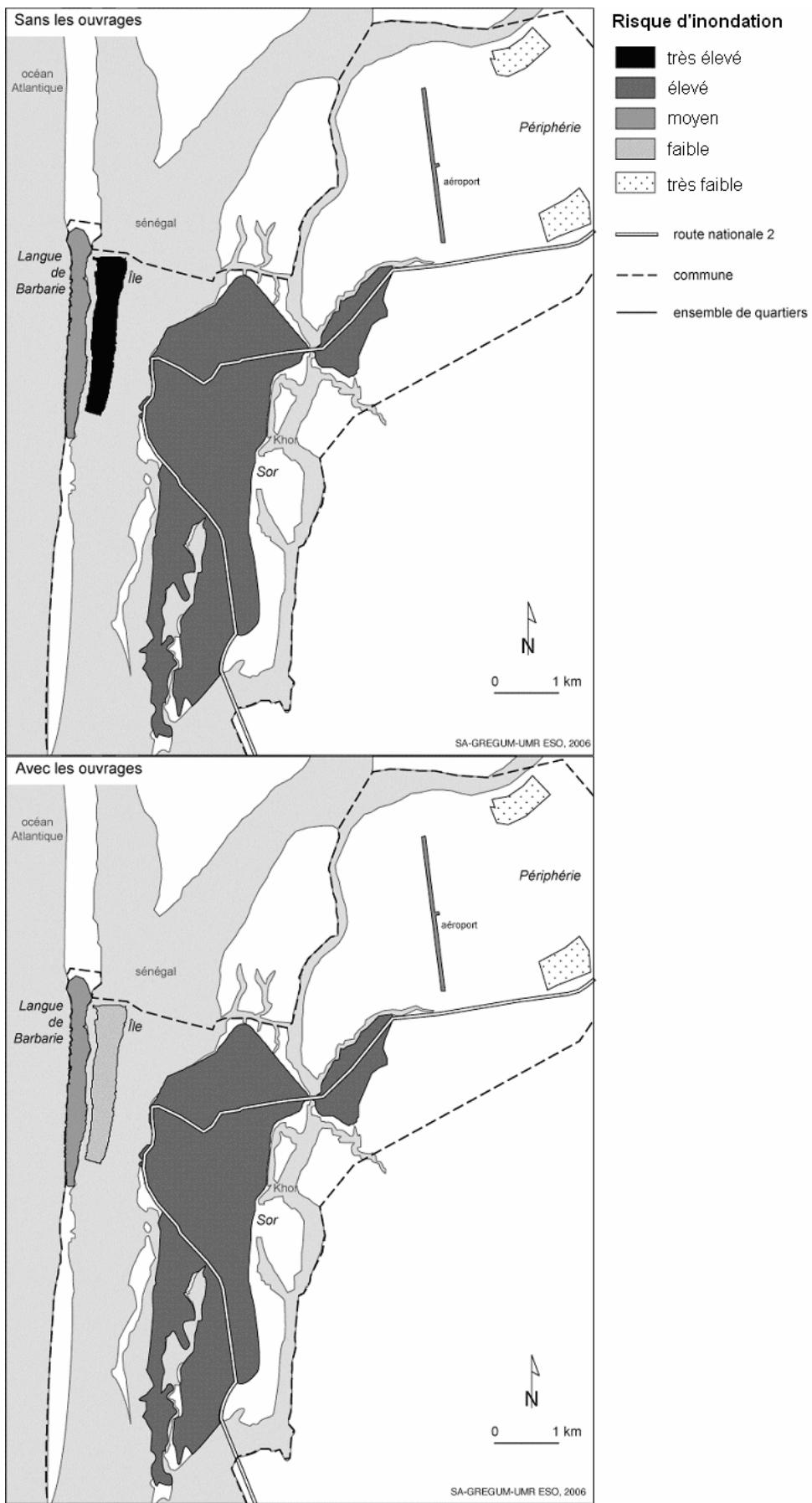


Figure 107 : Risque d'inondation des différents groupes de quartier de la commune de Saint-Louis
M. Sall (2006)

4. Mesures d'atténuation des impacts liés aux inondations

Une série de mesures qui intègrent les inondations dans la gestion quotidienne de la commune de Saint-Louis, peut être développée pour diminuer leur fréquence et/ou réduire leurs impacts. Elles peuvent porter sur les eaux de crue (la cause principale), en essayant de limiter les quantités qui parviennent dans l'estuaire ou en facilitant l'évacuation du surplus vers l'embouchure et vers le réseau de vallées fossiles du Ferlo : ce sont les *mesures ou solutions techniques* ; elles devraient principalement se baser sur la redynamisation du fonctionnement naturel du système hydrologique. D'autres mesures peuvent être développées sur la commune elle-même pour réduire sa sensibilité et sa vulnérabilité à la montée des eaux : ce sont les *mesures de protection*, à l'instar des digues et des quais ; elles peuvent également comporter un important volet d'assainissement des eaux (pluviales et usées) ; elles s'appuient aussi sur un programme consistant d'aménagement des sites destinés à l'habitat. Enfin, des *mesures administratives* peuvent être envisagées pour renforcer la réglementation en matière d'habitat dans la commune et pour prospecter de nouveaux sites d'extension.

4.1. Les mesures ou solutions techniques

Les inondations sont principalement le fait des grandes quantités d'eau qui parviennent dans l'estuaire en période de crue. Dès que la cote d'alerte est atteinte (1,40 m IGN), le surplus se déverse dans la ville surtout si son transit vers l'embouchure est ralenti pour diverses raisons (cf. deuxième partie, chap. I). Est-il possible d'activer d'autres exutoires afin de limiter les quantités d'eau qui parviennent à l'estuaire ? Cette alternative est partiellement remise en cause par l'artificialisation du fonctionnement du système hydrologique dans le bassin du fleuve Sénégal, que nous avons développée dans la deuxième partie. La mise en place des barrages de Manantali et de Diama vise, entre autres, à réduire les pertes d'eau par inondation du lit majeur en période de crue. Ce qui fait que normalement, les quantités qui parviennent dans l'estuaire sont plus importantes. D'autre part, au niveau du delta même, la digue de la rive gauche empêche l'inondation naturelle de la plaine alluviale qui aurait permis d'évacuer d'importantes quantités d'eau vers les cuvettes et vers le réseau de vallées du Ferlo. Les ouvrages vannés contrôlent strictement les flux entre le fleuve et la plaine alluviale en fonction des besoins de la culture irriguée. Mais, tout en respectant ce schéma, dont les objectifs sont tout de même justifiés, il peut être possible de mieux mettre à contribution les nombreux marigots défluents du fleuve et le lac de Guiers, pour évacuer une partie du surplus

d'eau vers le réseau de vallées fossiles du Ferlo. Cela permettrait, en plus, d'améliorer les conditions du cheptel dans cette grande zone d'élevage extensif (abreuvement, pâturages). D'autres activités telles que le maraîchage pourraient également se développer le long de ces vallées. Bien entendu, cela nécessite des études approfondies de faisabilité, de rentabilité, etc. Mais, une base de données et d'informations existe déjà parce que le projet de « remise en eau des vallées fossiles » a bien existé. Plusieurs études ont été d'ailleurs menées dans ce cadre : étude d'impact environnemental, cartographie de l'occupation/utilisation du sol sur l'emprise du réseau de vallées fossiles, etc.

Nous avons vu que la faible vitesse d'évacuation de la crue est également une source d'inondation de la commune de Saint-Louis. L'élévation du niveau marin, l'extension progressive de la Langue de Barbarie vers le sud, la diminution de la profondeur du chenal menant vers l'embouchure, en sont les principales causes. Ceci à tel point qu'en 2003, les autorités ont coupé la Langue de Barbarie à environ 6 km au sud de Saint-Louis pour éviter le débordement des eaux sur la commune. Des mesures plus douces pouvaient être tentées, comme le dragage du fleuve pour favoriser une évacuation plus rapide de la crue vers l'embouchure.

4.2. Les mesures de protection

La mise en place d'ouvrages de protection contre la montée des eaux au niveau de certains quartiers s'est révélée efficace. L'expérience mérite ainsi d'être renforcée et étendue vers d'autres quartiers qui n'en bénéficient pas.

Afin de leur permettre de jouer pleinement leur rôle, les digues doivent être régulièrement entretenues. Cela permettrait d'éviter les ruptures à certains endroits comme ce fut le cas en 1998 et 1999. Mais la cote des digues peut également être ajustée au niveau des quartiers les plus bas comme Médina Course qui est le quartier protégé le plus sensible à la montée des eaux. Des possibilités de construction de nouvelles digues peuvent être étudiées notamment pour le quartier de Khor qui est également très sensible à la montée des eaux. Les quartiers de la Langue de Barbarie peuvent aussi être mieux protégés par le relèvement des quais le long du petit bras du fleuve. Mais ils doivent surtout être dotés d'un ouvrage sur la façade maritime pour les protéger contre la houle et les variations du niveau de la mer.

Cependant, les ouvrages de protection contre la montée des eaux sont peu efficaces contre les eaux pluviales ; c'est pourquoi des mesures liées à l'assainissement et l'aménagement des sites devraient compléter le dispositif.

4.3. Les mesures liées à l'assainissement des quartiers et l'aménagement des sites d'habitat

Le niveau d'assainissement des quartiers par rapport aux eaux pluviales et aux eaux usées n'est pas uniforme. Si l'île dispose d'un réseau correct, la plupart des quartiers de Sor et de la Langue de Barbarie sont faiblement assainis. Ce qui fait que les eaux de pluie peuvent constituer des sources d'inondation importantes, masquant l'effort de mise en place des ouvrages de protection contre la montée des eaux. Il est urgent de mettre en place un réseau d'assainissement correct des eaux pluviales dans les quartiers les plus sensibles localisés dans la zone de Sor, particulièrement à Médina Course, Pikine I, II, III, Darou, Khor, Balacoss. Les actions en cours dans ce sens doivent être poursuivies.

Mais, l'aménagement des sites destinés à l'habitat peut être nettement amélioré. Les quartiers bâtis sur d'anciennes vasières ont juste été sommairement remblayés par les populations elles mêmes. Ce qui est insuffisant et crée des sortes de taudis à la périphérie de la commune. Des moyens techniques et matériels adéquats peuvent être déployés pour effectuer un travail correct de nivellement, de remblai, etc. pour sécuriser l'habitat. De ce fait, la mise en place des autres services et équipements comme l'accès à l'eau potable, à l'électricité, au système d'évacuation des eaux usées, est en même temps facilitée. Ainsi, les jalons d'un développement harmonieux de la cité et la création d'une ville durable seront posés.

4.4. Les mesures administratives

Beaucoup de quartiers, actuellement très affectés par les inondations, ne répondent à aucune norme d'urbanisation. Ils ont été irrégulièrement occupés par les populations issues de l'exode rural, à la suite de la sécheresse des années 1970. C'est le cas de Médina Course, Pikine, Darou, etc. Mais d'autres quartiers plus anciens comme Bas Guet Ndar et Haut Guet Ndar, sont également occupés de manière irrégulière. Pourtant, plusieurs plans d'organisation de l'occupation de l'espace communal sont élaborés depuis l'époque coloniale jusqu'à nos jours. Le dernier en date, est le plan directeur d'urbanisme à l'horizon 2025 élaboré en 2003. Par ailleurs, toute construction est normalement assujettie à une autorisation préalable délivrée par les services compétents. C'est le défaut d'application stricte de la loi dans ce domaine qui fait prospérer le phénomène d'occupation irrégulière des quartiers. Des mesures administratives adéquates peuvent être prises dans ce sens pour remédier à cette situation.

L'administration compétente peut également s'investir dans l'exploration de sites plus propices à l'habitat dans le secteur de Dakar-Bango, le quartier le plus sûr par rapport à la

montée des eaux. Même si le quartier proprement dit est saturé, il existe de vastes domaines privés à proximité, présentant les mêmes caractéristiques. Certaines portions appartiennent à l'armée mais n'ont jamais été réclamées. Il est peut être possible de rediscuter ou renégocier le statut de ces terres et les mettre à la disposition des populations.

Sur le plan international, les pouvoirs publics (qui ont ratifié la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques) peuvent poursuivre et renforcer leur engagement à lutter, auprès des autres nations, contre le réchauffement global de la planète qui est à la base de l'élévation du niveau de la mer.

III. Les mesures additionnelles proposées

La lutte contre les inondations saisonnières de la commune de Saint-Louis devrait être une préoccupation permanente de différents acteurs (autorités administratives, chercheurs, populations) ; elle revêt des formes variées à court, moyen ou long terme.

1. Le renforcement des mesures d'urgence et des plans directeurs d'assainissement (court terme)

Dans un premier temps, la capitalisation des dispositifs et mécanismes de lutte, acquis dans le cadre des mesures d'urgence et surtout des plans directeurs d'assainissement des eaux pluviales et usées, semble être une priorité.

Si les mesures d'urgence et le projet prioritaire n° 1 ont été complètement exécutés, le projet prioritaire n° 2, qui était fixé à l'horizon 2000, a tardé à se réaliser. Ce projet prévoit un important réseau de caniveaux secondaires utiles à la collecte des eaux pluviales. Jusqu'en novembre 2005, les travaux n'avaient pas démarré ; néanmoins, tous les préalables d'ordre administratif sont réglés et sa mise en œuvre est incessante.

L'accent devrait être ainsi mis sur l'exécution complète de ces plans qui affichent un caractère prospectif intéressant dans la prévention des inondations. Ils peuvent faire l'objet d'une évaluation annuelle (à partir des observations et des enquêtes sur le terrain), au cours de la saison des pluies, pour appréhender l'efficacité des mesures et infrastructures réalisées. Ceci devrait permettre de corriger les imperfections du dispositif d'évacuation des eaux pluviales (canalisations, stations de pompage) ou de protection contre la montée des eaux de crue du fleuve (digues, quais).

Mais, ces plans peuvent prévoir de prendre en compte, périodiquement, les résultats des travaux de recherche en cours dans la zone pour ajuster, par exemple, les caractéristiques techniques des infrastructures de protection contre la montée des eaux du fleuve et de l'océan. Enfin, une attention particulière devrait être accordée aux quartiers les moins assainis (Khor, Eaux Claires, Guet Ndar) et qui présentent un risque considérable par rapport aux inondations.

2. Le développement des études et de la recherche (moyen terme)

Les variations du niveau des eaux dans le delta du fleuve Sénégal sont naturellement très complexes, en fonction de la pluviométrie enregistrée dans le haut bassin mais aussi des fluctuations saisonnières et pluriannuelles du niveau de la mer. A cela s'ajoutent les conséquences des multiples tentatives de maîtrise des crues du fleuve (digues, barrages) et plus récemment de l'ouverture du canal de délestage. Il s'avère ainsi important de pouvoir comprendre les modalités de fonctionnement du système hydrologique en fonction de tous ces paramètres. Le défaut de dragage du fleuve suffit-il, seul, à expliquer la recrudescence des inondations au cours de cette dernière décennie ? Quelle est la part réelle de l'élévation du niveau de la mer liée aux changements climatiques à l'échelle mondiale ? Quel rôle direct ou indirect joue le barrage de Diama dans le rythme de dépôt ou de transport de sédiments au niveau de l'estuaire ? Quelle est l'efficacité des mesures de protection préconisées ? Etc. La recherche semble incontournable pour répondre efficacement à ces questions et proposer des solutions durables au phénomène des inondations à Saint-Louis. Elle pourrait s'articuler autour des thèmes suivants :

- connaissance fine de la topographie à l'échelle de la commune et/ou du delta ;
- modélisation de l'écoulement des eaux dans le delta ;
- suivi de l'évolution du canal de délestage : rôle dans la lutte contre les inondations, impacts sur l'environnement ;
- démographie et urbanisation : occupation rationnelle de l'espace communal ;
- etc.

Cependant, ces études devraient être organisées en capitalisant au maximum les travaux en cours ou déjà réalisés dans la zone et en intégrant dès à présent les grands projets de l'OMVS comme le futur port de Saint-Louis. Elles peuvent également être mieux coordonnées à travers des groupes de recherche liés aux universités Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar et

Gaston Berger (UGB) de Saint-Louis. A ce propos, le programme « Gestion des Catastrophes Naturelles (GESCAN) » coordonné au niveau de l’Institut des Sciences de la Terres (IST, UCAD) et les travaux de modélisation de l’écoulement des eaux initiés au département de Mathématiques de l’UGB, constituent une bonne base. Enfin, une plus grande synergie devrait être développée entre les chercheurs ainsi qu’une collaboration étroite avec les autorités administratives et les structures techniques locales.

3. L’intégration de la stratégie du recul (long terme)

La lutte contre les inondations ne doit pas seulement consister à l’édification d’infrastructures de protection de la commune contre la montée des eaux. La « résistance » peut avoir un coût élevé sans pour autant garantir un succès total, dans la mesure où l’aléa peut revêtir un caractère exceptionnel, qui déjoue tous les pronostics de base ayant servi à la détermination des caractéristiques techniques des ouvrages. En outre, dans le cas de la commune de Saint-Louis en particulier, sous la pression démographique, beaucoup de quartiers ont été édifiés sur d’anciennes vasières exposées à la remontée de la nappe phréatique (photo 9).



Photo 9 : Vue d’une partie du quartier de Khor édifié sur d’anciennes vasières (photo M. Sall, novembre 2005)

La conquête de ces espaces, une fois protégés de la montée des eaux du fleuve (digue) et sommairement remblayés, est même planifiée pour répondre à la forte demande foncière (photo 10).



Photo 10 : Occupation d'anciennes vasières protégées par la petite digue dans le quartier de Darou

(Photos : M. Sall, novembre 2005 et février 2006)

Cette situation peut tout de même s'avérer précaire. Le projet de développement de la nouvelle ville de Ngallèle dans le Plan Directeur de l'Urbanisme à l'horizon 2025, peut constituer une alternative plus durable par rapport aux inondations (photo 11).



Photo 11 : Vue d'une partie du site de la nouvelle ville de Ngallèle (photo, M. Sall, février, 2006)

Ce secteur est situé sur les dunes sableuses qui peuvent atteindre près de 10 m d'altitude et facilitent l'infiltration des eaux pluviales. Ce type d'espace peut également être exploité, entre autres, dans le secteur de Dakar-Bango et de Maka Toubé. A l'échelle de la communauté rurale de Gandon, les possibilités sont plus grandes ; l'extension de la limite communale vers

le continent peut être envisagée, à l'amiable, avec les conseils ruraux. Cette réserve foncière permettra de libérer, autant que possible, les zones exposées aux inondations. La stratégie consiste ainsi à reculer par rapport au risque. Elle peut paraître moins coûteuse et plus simple, mais peut être difficile à mettre en œuvre à cause de la réticence des populations à changer les habitudes ; en outre, ces dernières ont besoin de rester à proximité des activités économiques fructueuses de la ville. De ce fait, des mesures d'accompagnement efficaces seront nécessaires pour les convaincre à conquérir ces nouveaux espaces : en d'autres termes, il s'agira de créer des quartiers modernes bien équipés et constituant des pôles économiques importants.

C'est pourquoi, cette option peut s'inscrire dans le long terme.

Conclusion de la troisième partie

La commune de Saint-Louis qui concentre 38% de la population du delta et l'essentiel des équipements sanitaires, scolaires, commerciales, l'aéroport ainsi que les services de sécurité, est vulnérable par rapport à la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan. Sans les ouvrages de protection, elle est très fortement affectée par la crue décennale combinée au niveau marin, comme nous l'avons montré dans les différents scénarios. Les quartiers de la zone de Sor, bâtis pour l'essentiel sur d'anciennes vasières, sont les plus sensibles à la montée des eaux. Déjà, avec le niveau de la cote d'alerte, dans les conditions hydrologiques actuelles, les quartiers qui sont situés à l'Est de la commune, sous l'influence du marigot de Khor, sont très affectés. Il s'agit surtout de Médina Course et de Khor. Au sud-ouest les quartiers de Pikine qui sont sous l'influence du fleuve Sénégal, sont également très sensibles à la montée des eaux. Dans ce secteur, le quartier de Ndiolofène Sud qui garde 16% de sa superficie hors d'atteinte de la crue centennale combinée au niveau marin dans le pronostic élevé, est le moins affecté par les inondations. Sans les ouvrages de protection, la zone de Sor qui regroupe 63% de la population communale, la totalité des stations d'essence, plusieurs établissements scolaires, est le deuxième groupe de quartier le plus à risque par rapport à la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan, après l'île. Avec les ouvrages de protection, la sensibilité à la montée des eaux diminue. Les quartiers de Ndiolofène Sud, Sor Nord, Diamaguène, Léona sont très bien protégés. Mais d'autres comme Médina Course, Balacoss, restent encore très menacés. Ainsi, la zone de Sor devient la plus à risque par rapport à la montée des eaux devant la partie insulaire qui est totalement protégée.

Sans les ouvrages de protection, les quartiers de l'île sont le troisième groupe de quartier le plus sensible à la montée des eaux dans les différents scénarios, après ceux de la zone de Sor et de la Langue de Barbarie. Ils sont très fortement affectés par la crue centennale dans les conditions hydrologiques actuelles. L'île est inscrite sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO ; elle contient l'hôpital, plusieurs équipements touristiques, l'essentiel des établissements scolaires, 64% des équipements administratifs et la totalité des organismes internationaux. De ce fait, elle constitue le secteur le plus à risque par rapport à la montée des eaux. Mais avec le relèvement des quais qui la protège totalement des inondations dans tous les scénarios, ce niveau de risque devient plus faible que la zone de Sor qui n'est pas totalement à l'abri.

Les quartiers de la Langue de Barbarie sont peu protégés. Ils sont moins sensibles à la crue centennale que ceux de l'île dans les conditions actuelles mais sont plus affectés par la cote d'alerte et la crue décennale. Ils concentrent des établissements scolaires, un marché central, des équipements sportifs et constituent ainsi le deuxième groupe de quartier le plus sensible à la montée des eaux (après Sor) et le troisième le plus à risque (après Sor et l'île). La construction d'un ouvrage de protection contre la houle et la montée du niveau marin, pourrait être envisagée dans ce secteur.

Les quartiers périphériques de Ngallèle et surtout de Dakar-Bango qui sont les moins affectés par la montée des eaux dans les différents scénarios et les moins équipés, présentent un risque moindre par rapport aux inondations. L'extension de la commune dans cette zone peut être renforcée et élargie vers d'autres secteurs qui présentent les mêmes caractéristiques comme la communauté rurale de Gandon.

Les impacts des inondations sur l'habitat sont considérables. Plusieurs maisons sont menacées par la montée des eaux dans les différents scénarios et dans tous les quartiers. Elles sont construites en dur et ont accès à l'électricité, l'eau courante, etc., traduisant l'effort d'investissement consenti par les populations. Leur endommagement par les inondations constitue ainsi un grand préjudice socio-économique. Le nombre de personnes qui peuvent être affectées est également important. Sans les ouvrages, dans la zone de Sor, le niveau de crue équivalent à la cote d'alerte dans les conditions actuelles peut affecter 34% de la population. Mais avec les ouvrages, seuls 13% de la population du secteur est affecté dans ce même scénario.

L'édification des ouvrages de protection est donc utile et leur extension vers les quartiers les moins protégés peut être justifiée. Mais d'autres mesures d'atténuation des impacts, comme la mise à contribution du réseau de vallées fossiles du Ferlo dans l'évacuation du surplus d'eau

dans le delta en période de crue, peuvent être élaborées, sur la base d'études de faisabilité suffisamment poussées. Ces mesures peuvent aussi porter sur la mise en place de méthodes plus douces d'amélioration de l'évacuation de la crue vers l'embouchure. Elles s'appuient également sur l'amélioration du niveau d'assainissement de la commune ; l'extension du réseau prévue dans le plan directeur d'assainissement des eaux usées à l'horizon 2020 est un de ces jalons posés par les pouvoirs publics ; mais il se heurte néanmoins à l'urbanisation anarchique de certains quartiers. D'où la nécessité de promouvoir l'aménagement adéquat des sites avant toute occupation et la mise en place d'un système de suivi et de contrôle des constructions.

Conclusion générale

Le delta du fleuve Sénégal s'est formé à la suite de la transgression marine du Nouackchottien datée à 5 500 ans BP. Il constitue l'extrême nord-ouest du vaste bassin versant du fleuve Sénégal qui s'étend sur environ 300 000 km², répartis entre quatre pays riverains : la Guinée, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal, qui le gèrent en commun, à travers l'OMVS. Le fleuve Sénégal est formé à Bafoulabé, au Mali, par la confluence du Bafing et du Bakoye qui prennent leur source dans la zone montagneuse du Fouta Djalon, en Guinée. Il parcourt 1 790 km pour se jeter dans l'Océan Atlantique à une trentaine de kilomètres au sud de Saint-Louis. Les conditions édaphiques et climatiques du bassin versant du fleuve Sénégal sont très diversifiées.

Le bassin supérieur s'étend des massifs du Fouta Djalon jusqu'à Bakel. Le relief est marqué ; il est constitué de hauts plateaux pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres avec des points culminants à plus de 1000 m d'altitude. Le sol est constitué de roches anciennes granitiques correspondant à des affleurements du socle précambrien. Il est soumis à un climat tropical de type guinéen à soudanien caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 800 à 1000 mm. Les formations végétales spécifiques sont représentées par la savane boisée et la forêt.

Le bassin inférieur s'étend de Bakel à l'embouchure. C'est une vaste plaine alluviale, à faible pente, constituée surtout de terrains meubles correspondant aux dépôts du Quaternaire. Le lit majeur du fleuve s'étend sur 12 000 km². L'altitude est faible ; elle ne dépasse pas 50 m aux environs de Bakel où sont notées les valeurs maximales. Le climat est de type soudanien nord et sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 500 et 200 mm. Les formations végétales sont représentées par des savanes et steppes arbustives à arborées.

Le régime du fleuve Sénégal est complexe, caractérisé par une période de hautes eaux correspondant à la saison pluvieuse (juillet à octobre) et une période de basses eaux qui intervient en saison sèche (novembre à juin). L'essentiel des flux d'eau qui parviennent au delta est généré à partir du haut bassin. Ces flux sont très variables dans le temps et fluctuent suivant les conditions pluviométriques qui règnent dans l'ensemble du bassin. Sur la période étudiée (1903-2004), on peut distinguer une phase humide avant 1970 et une phase sèche qui s'est installée après cette date. Pendant la phase d'abondance hydrologique notée à Bakel entre 1904 et 1950, un volume moyen annuel de 43 milliards de mètres cubes s'est écoulé dans cette station contre seulement une quantité de 14 milliards de mètres cubes au cours de la phase 1968-2004 ; soit un déficit d'écoulement de 67% par rapport à la première période. A

Dagana, à l'entrée du delta, le volume moyen annuel de 25 milliards de mètres cubes a été enregistré pendant la phase d'abondance hydrologique 1950-1967 contre seulement 14 milliards de mètres cubes au cours de la période 1968-1988 correspondant à un déficit d'écoulement de 44% par rapport à la première période. Cependant, la période déficitaire est superposée à celle de mise en place des barrages antisel de Diama, en 1985, à 54 km de l'embouchure et hydroélectrique de Manantali, en 1988, à environ 1000 km de l'embouchure. De ce fait, l'influence de ces ouvrages sur les flux, est difficile à mettre en évidence ; toujours est il que leur objectif est d'arrêter la remontée de la langue salée, réguler le débit du fleuve à 300 m³/s à Bakel, apporter un soutien de crue en période de basses eaux pour subvenir aux besoins de la culture irriguée. L'inondation du lit majeur est ainsi limitée, portant préjudice à certaines activités traditionnelles comme les cultures de décrue ; néanmoins, les flux qui parviennent au delta sont optimisés.

D'ailleurs, ce processus d'artificialisation du fonctionnement du système hydrologique du fleuve Sénégal, date de l'époque coloniale et s'est poursuivi après l'indépendance. En 1964, la digue de la rive gauche édifiée le long du fleuve Sénégal entre Dakar-Bango et Richard-Toll, empêche désormais l'inondation naturelle de la plaine alluviale et des cuvettes. Les transferts d'eau sont effectués vers la plaine alluviale selon les besoins de la culture irriguée à travers des ouvrages vannés. Certaines connexions hydrauliques naturelles comme le système lac de Guiers-Niéti yone qui alimentait en eau la cuvette du Ndial, ont été éliminées dans le but d'assurer les besoins en eau de la culture irriguée de la canne à sucre. C'est ainsi que les crues contrôlées ne permettent plus l'alimentation du Ndial à partir du sud par les trois marigots. Or, ces cuvettes sont le lieu d'une riche biodiversité reconnue au niveau international (site Ramsar) qui peut être compromise par ce déficit d'approvisionnement en eau. De même, le réseau de marigots défluents du fleuve Sénégal, jouait un grand rôle dans l'évacuation des eaux de crue. Aujourd'hui, cette possibilité est limitée par les enjeux de la mise en valeur du delta ; ces marigots constituent actuellement des relais pour l'irrigation et le drainage des périmètres irrigués. En outre, le gigantesque réseau de vallées fossiles du Ferlo s'est fossilisé alors qu'il pouvait absorber une grande quantité du surplus d'eau qui se déverse dans le delta en période de crue.

Finalement, tous ces facteurs concourent à favoriser l'arrivée massive des eaux vers l'estuaire d'autant plus que depuis le début des années 1990, les conditions pluviométriques ont tendance à s'améliorer dans le bassin, se traduisant sur le plan hydrologique, par une augmentation des flux d'eau. C'est ce qui explique d'ailleurs au moins en partie, la

recrudescence des inondations des localités côtières du delta au cours de cette dernière décennie.

Cependant, plusieurs autres facteurs participent à favoriser le débordement des eaux du fleuve : la faible vitesse d'évacuation de la crue, la diminution de la profondeur du chenal menant vers l'embouchure, l'élévation du niveau de la mer. L'analyse des cotes moyennes journalières sur plusieurs années à Dagana (1903-2004) et à Saint-Louis (1964-2003) montre que les eaux stagnent longtemps dans l'estuaire, en moyenne pendant un mois, lors des années d'inondation comme en 1950, 1994, 1999. La vitesse d'évacuation de la crue était une fois et demi plus rapide pendant les années 1970-1980 que durant les années 1990-2000. La faible vitesse d'évacuation de la crue notée au cours de cette dernière période peut être engendrée par l'allongement progressif du cordon littoral de la Langue de Barbarie qui sépare le fleuve et l'océan jusqu'à l'embouchure. Cet allongement est consécutif aux dépôts de millions de mètres cubes de sédiments provoqués par la dérive littorale. L'embouchure s'éloigne ainsi de plus en plus, augmentant le temps de transit de la crue dans l'estuaire.

La diminution de la profondeur du chenal menant vers l'embouchure est également en cause dans le ralentissement de la vitesse d'évacuation de la crue. Enfin, l'élévation saisonnière du niveau de la mer freine l'évacuation de la crue et augmente le temps de transit dans l'estuaire. En effet, pendant la saison des pluies, les eaux tropicales chaudes parviennent aux côtes saint-louisiennes tandis que la mousson souffle à partir du sud-ouest. Ces évènements ont tendance à provoquer pendant cette saison, une élévation du niveau de la mer qui peut être de l'ordre de 20 cm (Rebert, 1983).

L'élévation du niveau de la mer va d'ailleurs s'accentuer d'ici à 2100 du fait du réchauffement global de la planète en liaison avec les changements climatiques qui s'opèrent au niveau mondial. Les modèles basés sur plusieurs scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, prévoient une élévation de 0,09 à 0,88 m d'ici à 2100. Ainsi, à l'image de toutes les zones côtières basses du monde, le delta du fleuve Sénégal est menacé par la montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan.

La cartographie diachronique de l'occupation et de l'utilisation du sol que nous avons réalisée à partir d'images satellites Landsat prises, en période de hautes eaux (octobre 1999) et en période de basses eaux (juin 2002), confirme que les ouvrages hydrauliques réalisés dans le delta préservent très bien la plaine alluviale des débordements du fleuve. Les zones d'inondation naturelle sont surtout localisées autour de la commune de Saint-Louis. C'est la principale localité du delta qui concentre 38% de la population, polarise l'essentiel des activités liées à la pêche maritime et au tourisme, détient les principaux équipements

sanitaires, scolaires, l'aéroport, etc. Les inondations peuvent ainsi y entraîner des impacts importants surtout que la nature sablo-argileuse du sol, la proximité de la nappe phréatique (3 m), le faible niveau d'assainissement des quartiers, sont des facteurs qui aggravent le phénomène. En outre, plusieurs quartiers comme Pikine, Médina Course se sont irrégulièrement étendus ou construits sur d'anciennes vasières inadéquates pour l'habitat sans un aménagement approprié. C'est ainsi que l'Est de la commune de Saint-Louis est sous l'influence des crues du fleuve Sénégal par l'intermédiaire de son exutoire, le marigot de khor. Les quartiers de Khor, Darou, Ndiolofène nord, Ndiolofène Sud, Médina Course, qui sont cernés par ce marigot, sont très fragilisés. Les villages de Leybar et de Ngaye ngaye, dans la communauté rurale de Gandon, sont également sous l'influence des eaux d'inondation de ce marigot. Les eaux de crue du fleuve Sénégal qui traverse la ville de Saint-Louis, menacent directement les quartiers de Sor nord, Diamaguène, Léona et Pikine. Les quartiers de l'île (Haut Nord, Centre Nord, Sud) qui sont entourés par les deux bras du fleuve Sénégal sont directement sous l'influence de la crue. Sur la Langue de Barbarie, les quartiers de Goxu Mbacc, Haut Ndar Toute, Bas Ndar Toute, Bas Guet Ndar, Haut Guet Ndar qui sont situés entre l'Océan Atlantique et le fleuve Sénégal, sont directement sous l'influence de la montée des eaux marines (houle, marée) et de la crue. Les quartiers périphériques de Ngallèle et de Dakar-Bango sont longés par une zone dépressionnaire qui reçoit les eaux débordant de la branche aval du Djeuss au nord et du Ngalam vers le sud. L'aéroport international de Saint-Louis est sous l'influence de la partie nord du marigot de Khor et de la branche aval du Djeuss au moment où elle rejoint le fleuve Sénégal. Les villages de Keur Barka, Mbambara, Dieulembam, Doun, Toug Ouolof, situés au sud de la ville de Saint-Louis, le long du fleuve Sénégal ou à proximité d'exutoires, sont également sous la menace des inondations.

Des mesures d'adaptation sont prises par les pouvoirs publics depuis les premières inondations de la dernière décennie, en 1994. C'est ainsi que des digues ceinturent les quartiers de la partie Est de la commune qui sont sous l'influence du marigot de Khor tandis que les quais sont relevés autour de l'île. Le plan directeur d'assainissement des eaux pluviales à l'horizon 2020 (**PDAEP**) élaboré en 1999, préconise la reprise du réseau avec la réfection ou le remplacement de stations de pompage défectueuses, la création de caniveaux secondaires à travers plusieurs quartiers, etc. Le plan directeur d'assainissement des eaux usées à l'horizon 2020 (**PDAEU**), élaboré en 2005, prévoit de porter le taux de la population raccordée de 15% à 51%. Le plan directeur d'urbanisme à l'horizon 2025 (**PDU**), élaboré en 2003, préconise d'explorer des zones d'extension de la commune plus propices à l'habitat, dans la zone de Ngallèle notamment. Mais la mesure la plus spectaculaire fut l'ouverture du

canal de délestage en octobre 2003, sur la Langue de Barbarie, à environ 6 km au sud de Saint-Louis pour éviter le débordement des eaux sur la ville. Le résultat est probant mais les conséquences environnementales d'un tel ouvrage peuvent être très néfastes et ne sont pas encore complètement cernées.

Les analyses spatiales que nous avons effectuées à partir du modèle numérique de terrain élaboré sur la commune de Saint-Louis, sont basées sur douze scénarios de montée combinée des eaux du fleuve et de l'océan. Nous avons établi ces scénarios en prenant en compte la cote d'alerte (1,40m IGN), la crue décennale (1,87 m IGN), la crue centennale (2,44 m IGN) ainsi que différents niveaux prévus d'élévation de la mer d'ici à 2100 (0,11 m, 0,5 m, 0,77 m). Ceci a permis de caractériser le niveau d'exposition à l'aléa (ou la sensibilité) ainsi que le niveau de risque des différents quartiers à la montée des eaux. La zone de Sor qui regroupe plusieurs quartiers bâties sur d'anciennes vasières, s'avère la plus sensible à la montée des eaux. Déjà, dans les conditions actuelles, elle est fortement affectée par les différents niveaux de crue. Les quartiers limitrophes de ce secteur présentent une très forte sensibilité à la montée des eaux ; au nord-est, à l'est et au sud-est, ce sont les quartiers de Khor, Médina Course, bordés par le marigot de khor qui draine une partie de la crue. Au sud-ouest, ce sont les quartiers de Pikine I, II et III qui sont sous l'influence du fleuve Sénégal. A l'ouest, les quartiers de Léona, Diamaguène, Balacoss, qui font face au fleuve Sénégal, sont d'une forte sensibilité à la montée des eaux. Les quartiers de Ndiolofène Nord et surtout Ndiolofène Sud auxquels on peut rattacher ceux de Darou et de Sor Nord, situés plus à l'intérieur sur un espace plus élevé, présentent une sensibilité moyenne.

La partie insulaire de la commune de Saint-Louis est beaucoup moins sensible à la montée des eaux que la zone de Sor. Elle n'est réellement affectée que par la crue centennale dans les conditions hydrologiques actuelles, les crues décennales et centennales combinées au niveau marin dans le pronostic moyen et les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé. Le centre de l'île, représenté par le quartier de Centre Nord est d'une sensibilité moyenne à la montée des eaux. Il est déjà fortement affecté par la crue décennale à l'état actuel tandis que les quartiers de Sud et de Haut Nord ne sont véritablement inondés que par la crue centennale. Ces derniers présentent une faible sensibilité à la montée des eaux même si Haut Nord est moins affecté.

La flèche littorale de la Langue de Barbarie présente des parties plus basses que l'île qui sont rapidement inondées par les premiers débordements du fleuve (cote d'alerte et crue décennale à l'état actuel, cote d'alerte combinée au niveau marin dans les pronostics bas et moyen, crue décennale combinée au niveau marin dans le pronostic bas). Cependant, les quartiers de la

Langue de Barbarie apparaissent moins sensibles que ceux de l'île aux crues centennales à l'état actuel et dans le pronostic bas ainsi qu'aux crues décennale et centennale associées au niveau marin dans le pronostic moyen et à tous les niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé. Néanmoins, la sensibilité à la montée des eaux au niveau de la flèche littorale suit la même tendance que celle remarquée au niveau de l'île. Les quartiers situés au centre de la Langue de Barbarie, Bas Ndar Toute et Haut Ndar Toute, sont toujours les plus fortement affectés par les différents niveaux d'eau : ils présentent une forte sensibilité à la montée des eaux. Ils sont suivis par ceux situés au sud du cordon littoral, Haut Guet Ndar et Bas Guet Ndar qui sont d'une sensibilité moyenne. Enfin, Goxu Mbacc, situé au nord de la Langue de Barbarie, est faiblement sensible à la montée des eaux.

Les quartiers périphériques de Dakar-Bango et de Ngallèle, situés sur d'anciens cordons littoraux, à une dizaine de kilomètres du centre ville, sont les zones les plus sûres pour l'habitat par rapport à la montée des eaux. Ils montrent une très faible sensibilité à la montée des eaux même si Ngallèle est fortement affecté par les crues centennales associées au niveau marin dans les pronostics moyen et élevé. Dakar-Bango s'avère le quartier le plus à l'abri des inondations ; les possibilités d'extension de la commune peuvent également être explorées dans ses environs.

Les impacts des inondations sur l'habitat sont importants. L'endommagement des maisons qui peut s'ensuivre constitue une contrainte socio-économique de taille pour les populations qui ont majoritairement investi dans la construction en dur. Le nombre de personnes affectées par les inondations peut être élevé. Sans les ouvrages de protection, la cote d'alerte à l'état actuel entraîne 38 750 sinistrés dans la zone de Sor soit 35% de la population du secteur. Ce chiffre est de 7 719 sinistrés au niveau de la Langue de Barbarie correspondant à 18% de la population du cordon littoral tandis que sur l'île, on en dénombra 823 soit 6% de la population. Par contre, dans le cas de la crue centennale associée au niveau marin dans le pronostic élevé, ce nombre est de 107 660 (98%) à Sor, 38 863 (91%) au niveau de la Langue de Barbarie tandis que l'ensemble de la population sera affectée sur l'île. Les ouvrages de protection édifiés (digues, quais) pour lutter contre le débordement des eaux ne couvrent pas l'ensemble des quartiers et sont défectueux par endroits. Cependant, ils remplissent pleinement leur fonction, réduisant pratiquement de moitié le nombre de personnes sinistrées par la montée des eaux dans les différents quartiers. Les quartiers de Sor (les plus sensibles à la montée des eaux), situés en majorité sur d'anciennes vasières, sont en général bien sécurisés par les digues et les quais relevés. Le même constat est valable pour l'île protégée par les quais qui la mettent pratiquement à l'abri des crues dans les différents

scénarios. En effet, en prenant en compte ces ouvrages, la cote d'alerte à l'état actuel n'engendre que 14 367 sinistrés (13% de la population) dans le secteur de Sor qui n'est pas totalement protégé. Par contre, au niveau de l'île complètement entourée par les quais relevés, aucun sinistré ne sera enregistré. De même, la crue centennale associée au niveau marin dans le pronostic élevé n'affectera que 47% de la population de Sor et 5% des habitants de l'île. Ainsi, la résistance peut être préconisée au niveau d'autres quartiers moins protégés comme Khor et ceux de la Langue de Barbarie. Mais d'autres mesures visant à atténuer les inondations et leurs impacts peuvent être considérées en agissant à divers niveaux. C'est ainsi que des mesures techniques peuvent être envisagées pour remettre à contribution les vallées fossiles du Ferlo dans l'évacuation du surplus d'eau dans le delta. Dans ce cas, des études préalables suffisamment poussées seront nécessaires mais une base consistante existe déjà, avec les données du projet de revitalisation des vallées fossiles qui n'a malheureusement pas été poursuivi. La réflexion peut aussi être menée sur les possibilités d'améliorer le mécanisme d'évacuation de la crue vers l'embouchure avec des méthodes plus douces, sans destabiliser l'équilibre du milieu. A ce niveau, les institutions universitaires, les structures de recherche, ont un rôle important à jouer en rapport avec les pouvoirs publics. Il est également possible d'intervenir sur le site même en améliorant le niveau d'assainissement et d'aménagement des zones d'habitat. La poursuite des efforts notés dans l'extension du réseau d'assainissement des eaux pluviales et des eaux usées est une nécessité. De même, la réglementation du mécanisme d'occupation de l'espace communal peut être affinée et complétée par un système de suivi et de contrôle plus rigoureux. A long terme, la stratégie du recul basée sur l'occupation d'espaces d'habitat plus propices, loin des zones inondables, avec les mesures d'accompagnement nécessaires, est certainement la solution qui s'inscrit dans la durabilité.

Enfin, les résultats et les informations issues de ce travail, pourraient être intégrés dans le système d'information géographique de la commune de Saint-Louis pour renforcer les outils d'aide à la décision développés dans le cadre de la stratégie de lutte contre les inondations de la localité.

Références bibliographiques

- Aarninkhof, S., G., J., Turner, I., L., Dronkers, D., T., Caljouw, M., Nipius, L. (2003) - A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry. 10 fig, 1 tabl, Coastal Ingineering 49 (2003) 275-289. Elsevier.*
- Anthony, E., J. (2004) - Sediment dynamics and morphological stability of estuaire mangrove swamps in Sherbro Bay, West Africa. 11 fig, Marine Geology. Article in press. 18p. Elsevier.*
- Ardiansyah, P.,O., D., Yokoyama, R. (2002)- DEM generation method from contours lines based on the steepest slope segment chain and a monotone interpolation function. In ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 57 (2002) 86-101; 4 tabl, 16 fig., Elsevier, Japan.*
- Audibert, M. (1970)- Delta du fleuve Sénégal : etude hydrogéologique. Rapport OERS/PNUD/FAO, Saint-Louis (Sénégal), 1-2, 68p.*
- Audry, P. (1961)- Etude pédologique du cercle du Guidimakha (rep. Islamique de Mauritanie). Rapp. Off. Rech. Sci.Tech.O-mer, 7 fig. 131p. Annexes.*
- Ba, K. (2004)- Etude de l'évolution de la Langue de Barbarie et propositions de fixation de l'embouchure du fleuve Sénégal. Mémoire de DEA.12 tabl, 37 fig, 98p.*
- Ba, M. (1993)- Les masses d'eau de la partie estuarienne in L'après barrages dans la vallée du Sénégal, modifications hydrodynamiques et sédimentologiques, conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles-Résultats des travaux du projet CAMPUS 1989-1992. Chap. IV, p. 41-51. Presses universitaires de Perpignan.*
- Bader, J.C., Lamagat, J.P., Guiguen, N. (2003)- Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal : analyse quantitative d'un conflit d'objectifs. Journal des Sciences Hydrologiques, 48 (4), 8 fig., 4 tabl., pp. 525-538.*
- Badiane, A. (1993)- La dynamique actuelle de l'estran de la langue de Barbarie dans son secteur proximal. Mémoire de Maîtrise. UCAD. 105p.*
- Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R., G. (1990) - U-Th ages obtained by mass spectrometry in Corals from Barbados: sea level during the past 130,000 years. Nature 346, 456-458.*
- Barusseau, J., P. (1980)- Essai d'évaluation des transports littoraux sableux sous l'action des houles entre Saint-Louis et Joal (Sénégal). Bulletin ASEQUA, 58-58, pp. 31-39.*
- BBL-SW (1985)- Etudes des ports et escales du fleuve Sénégal. Port de Saint-Louis. Etude hydrogéologique. Rapport n° 20, 149p. Annexes.*
- Beauchamp, J. (2002)- Cours de sédimentologie-chap. 10. Site web Université de Picardie Jules Verne.*
- Berger, A. (1992)- Le climat de la terre : un passé pour quel avenir ? 30 tabl., 98 fig. 479p. De Boeck Université. Belgique.*

Betts, H., Deroose, R., C. (1999) - Digital elevation models as a tool for monitoring and measuring gully erosion. 6 fig., 3 tabl. JAG-volume1-issue 2. pp. 91-101. Elsevier.

Bissels, S., Holzel, N., Donath, T., W., Otte, A. (2004) - Evaluation of restoration success in alluvial grasslands under contrasting flooding regimes. 3 tabl., 2 fig., Biological Conservation 118 (2004) 641-650. Elsevier.

Blanchot, A. (1956)- Les formations récentes de Mauritanie occidentale. Bull. dir. fed. mines Geol. Afr. occ. fr., Dakar, n° 20, 7 fig., pp. 9-93.

Blomgreen, S. (1999) - A digital elevation model for estimating flooding scenarios at the Falsterbo Peninsula. In Environmental Modelling and Software. Pp 579-587. 7 fig., 1 tabl., Elsevier.

Bonnefond, PH., Caneill, J., Lericollais, A., Weigel, J.Y. (1981)- La vallée du fleuve Sénégal et ses aménagements. Etudes scientifiques. 3 tabl., 4 fig., 42p. ORSTOM.

Bonfils, P., Faure, J. (1957-1958)- Etudes des sols du Bao-Bolon (région de Nioro du Rip). Ann. Centre Rech. Agron. Bambey, Sénégal, n° 18, pp. 29-49.

Bouma, J., J., François, D., Troch, P. (2004) - Risk assessment and water management. 2 tabl. Environmental Modelling & Software. Article in press. 11p. Elsevier.

Capon, S., J. (2004) - Flood variability and spatial variations in plant community composition and structure on a large arid floodplain. 6 tabl., 8 fig., 20p. Journal of Arid Environments. Article in press. Elsevier.

Cecchi, P. (1992)- Phytoplankton et conditions du milieu dans l'estuaire du fleuve Sénégal: effets du barrage de Diama. Th. Doctorat, Univ. Montpellier II. 176 fig. 43 tabl. Annexes. 582p.

Cembrano, G., Quevedo, J., Salamero, M., Puig, V., Figueras, J., Martí, J. (2004) - Optimal control of urban drainage systems. A case study. 12 fig., 2 tabl. Control Ingeneering Practice 12 (2004) 1-9. Permagon.

Choubert, G., Faure-Muret, A., Maarleveld, J., C. (1967)- Nouvelles dates isotopiques du Quaternaire marocain et leur signification. C.R. Acad. Sci., D., Fr., p.434-437.

Choudhury, N., Y., Paul, A., Paul, B., K. (2004) - Impact of coastal embankment on the flash flood in Bangladesh: a case study. 5 tabl., 6 fig. Applied Geography 24 (2004) 241-258. Elsevier.

Chou, T., Y., Lin, W., T., Lin, C., Y., Chou, W., C., Huang, P., H. (2004)- Application of the PROMETHEE technique to determine depression outlet location and flow direction in DEM. 11 fig., 2 tabl. Journal of Hydrology 287 (2004) 49-61. Elsevier.

Church, J., A., Gregory, J., M., Hybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nkuan, M., T., Qin, D., Woodworth, P., L. (2001) - Change in sea level. In: Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/UNEP. Cambridge University Press.

Climap Project Members (1984)- The last interglacial Ocean. Quaternary Research, 21, 123-224.

Cogels, F., X., Carn, M., Niang, A., Gac, J., Y. (1993)- La qualité des eaux du lac de Guiers. 1 : bilan qualitatif. 2 : effets des aménagements. 3 : première utilisation d'un modèle de gestion qualitative. ORSTOM-CEE, 52p.

Cogels, F.X. (1994)- La qualité des eaux de surface dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers. 30 fig., 5 tabl., 48p. Orstom, Dakar.

Colby, J., D., Mulcahy, K., A., Wang, Y. (2000) - Modeling flooding extent from Hurricane Floyd in the coastal plains of North Carolina. 4 fig. Environmental Hazards 2 (2000) 157-168. Pergamon.

Coly, A. (1996)- Le système fluvio-lacustre du Guiers : étude hydrologique et gestion quantitative intégrée. 102 fig., 68 tabl., 5 annexes, 319p. UCAD, Dakar.

Debaud, E. (1950)- La barre du Sénégal après l'hivernage 1945. In : 2^{ème} conférence intern. Africanistes de l'ouest, Bissau, 1947, Ministères Colonies, Lisbonne, 1, 151-160, 1 tabl., 2pl.

DEFCCS (1998)- Plan de gestion de la réserve de faune du Ndialé (1999-2003). 3 fig., 3tabl. 20 photos. 21p. OMPO.

Dennis, K., C., Niang-Diop, I., Nicholls, R., J. (1995)- Sea level rise and Senegal: potential impacts and consequences in Journal of Coastal Research, n° 14, 243-261. Fort Lauderdale. Florida.

Denton, G., H., Hughes, T., J. (1981) - The last Great Ice Sheets. J. Wiley and Sons. New York.

Deque, M. (2000)- Modélisation numérique des impacts climatiques in Impacts potentiels des changements climatiques en France au XXI^e siècle. p22-45. Seconde édition. MIES, SRP. 128p.

Da Boit, M. (1993)- Impacts des aménagements hydroagricoles sur la nappe superficielle de la basse vallée du fleuve Sénégal (Thiagar, Richard-Toll, Dagana). Mémoire de DEA de Géologie Appliquée mention Hydrogéologie. Dept. Geol., Fac. Sci., UCAD, Dakar, 94p.

Davies, O. (1964) - The Quaternary in the Coast-lands of Guinea. Jackson Son & Co, Glasgow, 300p., 120 fig., 8 pl.

Dia, A., M. (2000)- Ecoulements et inondations dans l'estuaire du fleuve Sénégal : le cas de la ville côtière de Saint-Louis. « Gestion intégrée et développement durable des régions côtières et des petites îles ». Mémoire de DEA. 11 fig. 5 cartes. 3 tabl. 65p. UCAD, IRD, UNESCO.

Diagana, A. (1994)- Etudes hydrogéologiques dans la vallée du fleuve Sénégal De Bakel à Podor : relations eaux de surface/eaux souterraines. Thèse. Univ. Ch. Anta Diop. 123p. Dakar.

Diakhaté, M. (1988)- Ecodynamiques des milieux et effets d'impacts potentiels du barrage de Diamal dans le delta du fleuve Sénégal. Th. Doctorat 3^{ème} cycle, Univ. Lyon II, 450p.

Diao, S., M. (1992)- Etude des aquifères alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal (secteurs Rosso, Dagana, Lac de Guiers). 25 fig. 8 tabl., Annexes, 71p.

Diaw, A., C. (1999)- Villes informelles et sécurité foncière : les tentatives d'organisation d'une gestion concertée du développement urbain à Saint-Louis ; communication à la conférence des Nations Unies sur les établissements humains ; forum international sur la pauvreté urbaine. Naïrobi, 12-14 octobre 1999. 21p.

Dieng, B. (1997)- Synthèse et analyse des données hydrogéologiques de la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Rapport de synthèse, OMVS, Sénégal, 42p.

Diop, M., D. (1992)- Hydrologie du bassin du Djoudj. Mémoire de Maîtrise de Géographie. 28 fig., 13 tabl., 3 cartes, 13 annexes. 144p. Université Cheikh Anta Diop. Dakar.

Direction de la Prévision et de la Statistique-Service régional de Saint-Louis (2003)- Situation économique et sociale de la région de Saint-Louis. Ministère de l'Economie et des Finances. 132 tabl., 118p.

Direction de l'Urbanisme et de l'Architecture-Commune de Saint-Louis (DUA) (2003)- Plan Directeur d'Urbanisme : Saint-Louis horizons 2025. Rapport sur le livre blanc. Consultants Associés. 37 tabl., 162p.

Domain, F. (1977)- Carte sédimentologique du plateau continental sénégambien. Extension à une partie du plateau continental de la Mauritanie et de la Guinée bissau. ORSTOM ed., Paris, notice explicative n° 68, 17p. 3 cartes.

Doniol, R. (1956)- Les variations saisonnières du niveau moyen à Dakar. Bull. Inf. C.O.E.C., Paris, VII (5), 225-240, 11 fig., 3 tabl.

Douglas, B., C. (1991) - Global sea level rise. J. Geophys. Res., Washington, 96 (C4), 6981-6992, 11 fig., 11 tabl.

Duplessy, J., Cl., Arnold, M., Maurice, P., Bard, E., Duprat, J., Moyes, J. (1986) - Direct dating of the oxygen-isotope record of the last deglaciation by ¹⁴C accelerator mass spectrometry. Nature, 320 n° 6060, 350-352.

Dwars, Heederik et Verhey Ingenieurs Conseils (1979)- Rapport sur l'étude de la protection du rivage de la petite côte. Ministère Equipement, Rép. Sénégal, 92p., 24 fig.

Emery, K., O., Aubrey, D., G. (1991) - Sea levels, land levels and tide gauges. Springer Verlag, New York, 113 fig., 237p.

Fan, S., Swift, D., J., P., Traykovski, P., Bentley, S., Borgeld, S., C., Reed, C., W., Niedoroda, A., W. (2004) - River flooding, storm resuspension, and event stratigraphy on the northern California shelf : observations compared with simulations. 14 fig., 2 tabl. 25p. Marine Geology. Article in press. Elsevier.

Fashi, A., Tsegaye, T., Tadesse, W., Coleman, T. (2000) - Incorporation of digital elevation models with Landsat TM data to improve land cover classification accuracy. 1 fig., 5 tabl. Forest Ecology and Management 128 (2000) 57-64. Elsevier.

Faure, H., Fontes, J., C., Hebrard, L., Monteillet, J., Pirazzoli, P., A. (1980) - Geodal change and shore-level tilt along Holocene estuaries: Senegal river area, West Africa. Science, Washington, 210 (4468), 421-423, 2 fig., 1 tabl.

Faye, A. (1996)- Les critères de gestion optimum des ressources en eau dans le delta du fleuve Sénégal. Thèse de doctorat de 3ème cycle de géographie, Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, 201p. Annexes.

Gac, J.Y., Cogels, F.X. (1986)- Le lac de Guiers : paramètres du milieu actuel et évaluation des répercussions de l'aménagement de la vallée du fleuve Sénégal, in water quality bulletin, 1986,11,2 ; 10 fig., 1 tabl., pp82-87.

Gac, J., Y., Coly, A., Niang, A., Carn, M., Cogels, F., X. (1993)- Bilan hydrologique du lac de Guiers en 1992; vers une gestion concertée des crues du fleuve Sénégal? Rapport CEE, Projet Equessen, 22p.

Gaume, E., Livet, M., Desbordes, M., Villeneuve, J., P. (2004)- Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 november 1999. 16 fig., 2 tabl., Journal of Hydrology 286 (2004) 135-154. Elsevier.

Gens, R., (1999) - Quality assessment of interferometrically derived digital elevation models. 6 fig., 1 tabl. JAG- volume 1, Issue 2 (1999) 102-108.

GIEC (2001)- Incidences de l'évolution du climat dans les régions : évaluation de la vulnérabilité. Rapport spécial. Chapitre 2 : Afrique. OMM, PNUE. 53p. 278p.

Girard, P., Da Sylva, C., J., Abdo, M. (2003) - River groundwater interactions in the Brazilian Pantanal. The case of the Cuibà River. 4 fig., 1 tabl., Journal of Hydrology 283 (2003) 57-66. Elsevier.

Guèye, O. (2002)- Les systèmes de production agro-pastorale autour des dépressions marginales du bas delta du fleuve Sénégal. Mémoire de DEA de Géographie, Université du Maine, 20 fig., 2 tabl., 84p.

Guilcher, A., Nicolas, J., P. (1954)- Observations sur la Langue de Barbarie et les bras du Sénégal aux environs de Saint-Louis. Bull. Inf. C.O.E.C., Paris, VI (6), 227-242, 9 pl.

Hamilton, G., S., Spikes, V., B. (2004) - Evaluating a satellite altimeter-derived digital elevation model of Antarctica using precision kinematic GPS profiling. 8 fig. Global and Planetary Change 42 (2004) 17-30. Elsevier.

Hebrard, L. (1968)- Contribution à l'étude des formations quaternaires de l'Aftout es Sahéli et de la partie nord-ouest du delta du Sénégal (Mauritanie). Rapp.Lab.Geol.Fac.Sci.Univ. Dakar, n° 25, 29p. 16 fig. Annexes.

Hervouet, J.P. (1971)- Les éleveurs riziculteurs du moyen delta du fleuve Sénégal (les Peuls et l'aménagement). Mémoire de Maîtrise de Géographie, Dakar.

Hirano, A., Welch, R., Lang, H. (2003) - Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. 11 fig., 4 tabl. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 57 (2003) 356-370. Elsevier.

Hoozemans, F., Marchand, M., Pennekamp, H. (1993) - Sea level rise: a global vulnerability assessment. Vulnerability assessments for population, coastal wetlands and rice production on a global scale. Second revised edition. Delft Hydraulics-Rijkswaterstaat. 184 p.

Jansen, E., Veum, T. (1990) - Evidence for two steps deglaciation and its impact on North Atlantic deep water circulation. Nature, 343 (6260), 612-616.

Kane, A. (1985)- Le bassin du Sénégal à l'embouchure, flux continentaux dissous et particulaires, invasion marine dans la vallée du fleuve (contribution à l'hydrologie fluviale en milieu tropical humide et à la dynamique estuarienne en domaine sahélien). Th. Doctorat 3^{ème} cycle de géographie Physique. Vol. VII. 52 tabl., 75 fig., Univ. Nancy II. ORSTOM. Centre International de l'eau de Nancy. 205p.

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 de Géographie physique. 124 tabl., 162 fig., 569p. UCAD.

Kane, A. (2000)- Crues et inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal; in Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales. Pp197-208. 3 fig., 3 photos, Séminaire international, Bamako du 20 au 23 juin 2000.

Kenward, T., Lettenmaier, D., P., Wood, E., F., Fielding, E. (2000) - Effects of Digital Elevation Model Accuracy on hydrologic predictions. 5 tabl., 7 fig. Remote Sensing & Environment, pp 432-444. Elsevier.

Lacroix, M., P., Martz, L., W., Kite, G., W., Garbrecht, J. (2002) - Using digital terrain analysis modeling techniques for the parameterization of a hydrologic model. 5 tabl. 7 fig. Environmental Modelling & Software 17 (2002) 127-136. Elsevier.

Lamagat, J., P., Seguis, L., Dubee, G., Pepin, Y. (1990)- Campagne de jaugeage sur le canal de la Taouey (hivernage, 1990). Rapport OMVS, Projet « prévision des débits de gestion des ouvrages communs de l'OMVS ». ORSTOM-Dakar, 11p.

Lamagat, J., P. (2000)- Inondation de la ville de Saint-Louis. Diagnostic. 12p.

Lapperiere, V., Lucchetta, J. (2003)- La dynamique du risque d'inondation à Saint-Louis du Sénégal. Mémoire de Maîtrise.19 cartes, 24 fig., 4 tabl., 23 photos. 167p.

Lavieren, B., V., Wetten, V., J. (1990)- Profil de l'environnement de la vallée du fleuve Sénégal. 40 fig., 16 photos, 68p. Euroconsult, RIN.

Le Treut, H. (2000)- L'augmentation anthropique des gaz à effet de serre : un problème global in Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle. p15-21. Seconde édition. MIES, SRP. 128P.

Louise, P. (1918)- Considérations sur le littoral des environs de Saint-Louis du Sénégal. Bull. Com. Et. Hist. Scient. A. O. F., Paris, 1-16, 3 fig.

Loyer, J., Y. (1989)- Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation, distribution et évolution sous cultures. 14 photos, 24 tabl., 27 fig., ORSTOM-Paris, 132p.

Macmillan, R., A., Jones, R., K., Mc Nabb, D., H. (2004) - Defining a hierarchy of spatial entities for environmental analysis and modelling using digital elevation models (DEMs). 8 fig. Computers, Environment and Urban Systems 28 (2004) 175-200. Elsevier.

Mahe, G. (1993)- Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique : étude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences de la Terre. 59 tabl. 135 fig. 4 annexes. 438p. Université Paris XI, Orsay. Collection Etudes et Thèses. ORSTOM, Paris.

Maignien, (1959)- Les sols subarides au Sénégal. Agron.tropic., Fr., n° 5, p.535-571.

Masse, J., P. (1968)- Contribution à l'étude des sédiments actuels du plateau continental de la région de Dakar (République du Sénégal). Rapp. Lab. Geol., Fac. Sci, Univ. Dakar, 23, 81p., 38 pl.

Michel, P. (1973)- Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Tomes 1, 2, 3. 9 planches, 6 cartes (hors texte), 37 tabl., 170 fig., 91 photos. 810p. ORSTOM, Paris.

Mietton, M., Humbert, J. (1992)- Le projet de remise en eau du Ndial (Sénégal), préfaisabilité hydraulique, bilan hydrologique et impacts. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg. 81p.

Mietton, M., Humbert, J. (1994)- dynamique du milieu naturel et transformation par l'homme dans le delta du fleuve Sénégal, la cuvette du Ndial hier, aujourd'hui et demain. In Espaces tropicaux, 13, pp345-365.

Milankovitch, M., M. (1941) - Canon of Insolation and Ice-Age problem. Published for the US Department of Commerce and the National Science Foundation, 1969.

Mittlestaedt, E. (1983) - The upwelling area off northwest Africa. A description of phenomena related to coastal upwelling. Prog. Oceanogr., Oxford, 12, 307-331, 17 fig.

Mix, A.C., Ruddiman, W.F., Mc Intyre, A. (1986)- Late quaternary paleoceanography of the tropical Atlantic, 1: spatial variability of annual mean sea surface temperatures, 0-20,000 years B.P., Paleoceanography, Washington, 1 (1), 43-66, 8 fig., 5 tabl.

Montgomery, D., R. (2003) - Prediction landscape-scale erosion rates using digital elevation models. 2 fig. C.R. Geoscience 335 (2003) 1121-1130. Elsevier.

Mörner, N., A. (2004) - Estimating future sea level changes from past records. 4 fig., 2 tabl. Global and Planetary Change 40 (2004) 49-54. Elsevier.

Naegele, A. (1969)- Etude des pâturages naturels de la forêt classée des six forages ou réserve sylvo-pastorale du Koya. Rapp. Dir. Elevage industries animales, Dakar.

Nardari, B. (1993)- Analyse de la houle sur les côtes sénégalaises. Application à la pointe de Sangomar. Rapport stage U.T.I.S., ISRA, ORSTOM, Dakar, 31p., 26 fig; Annexes.

Ndiaye, B., Isabel, D. (1999) - Geostatistical analysis of hydrogeology and agricultural land reclamation in Senegal river delta; in Journal of the American Water Resources Association (JAWRA); n° 2, vol. 35. Pp265-276. 2 tabl., 10 fig.

Newsha, A., K., Gupta, H., Wagener, T., Sorooshian, S. (2004) - Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system. 14 fig., 4 tabl. Journal of Hydrology (2004), Article in press, 24p. Elsevier.

Niang-Diop, I. (1995)- L'érosion côtière sur la petite côte du Sénégal à partir de Rufisque. Passé- présent- futur. Th. Doctorat. 29 tabl., 39 fig., Univ. d'Angers. 477p. TDM, ORSTOM. Paris.

Niang-Diop, I. (2003) - Les apprentis sorciers in Walfadjri, Contributions.

Nicholls, R., J. (2004) - Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. 21 tabl., 5 fig. Global Environmental Change 14 (2004) 69-86. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, UK. Elsevier.

Olivry, J., C. (1982)- Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). 7 tabl., 9 fig. In cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XX, n°1, 1983. pp47-69.

OMVS (1981)- Evaluation des effets sur l'environnement d'aménagements prévus dans le bassin du fleuve Sénégal. Rapport partiel sur la climatologie. Gannott Fleming Corddry & Carpenter, Inc. USA. Orgatec, Société Africaine d'Etudes Techniques, Dakar, Sénégal. 37p.

OMVS (1989)- Projet d'aménagement des eaux souterraines : situation. 5 tabl., 1 fig., 10p.

OMVS (1995)- Etudes des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal. Synthèse générale. 8 tabl., 5 fig., 4 cartes, FAC. 166p.

OMVS (1995)- Etudes des problèmes environnementaux et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal. Phase I. Bilan et diagnostic. Synthèse et recommandations. FAC, BDPA, SCETAGRI, ORSTOM, SECA, AFID, SERADE.

OMVS, IRD (1998)- Impacts potentiels de la gestion des ouvrages et des eaux de surface du fleuve Sénégal sur la dynamique des eaux souterraines. Rapport de synthèse, version provisoire. Tome 5.4. Mission Française de Coopération. 29p.

OMVS, IRD (1999)- Programme d'Optimisation de la Gestion des réservoirs (P.O.G.R.) : impacts potentiels de la gestion des ouvrages et des eaux de surface du fleuve Sénégal sur la qualité des eaux. Rapport de synthèse. Version provisoire. Tome 5.5. Mission Française de Coopération. 10p.

OMVS, IRD (2001)- Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs. Manuel de gestion du barrage de Diama. Version finale. 16 fig., 10 tabl., 2 annexes, 79p.

OMVS, IRD (2001)- Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs. Phase III. Manuel de gestion du barrage de Manantali. Version finale. 16 fig., 10 tabl., 60p.

ONAS (1999)- Etude d'assainissement des eaux pluviales de la ville de Saint-Louis. Rapport III : plan directeur de drainage des eaux pluviales. SETICO, Dakar. 66p. Annexes.

ONAS (1999)- Programme de lutte contre les inondations dans la région de Saint-Louis. Mémoire descriptif, explicatif et justificatif. 7 tabl., 39p. SETICO.

ONAS (2005)- Plan directeur de réhabilitation, de renforcement et d'extension des infrastructures d'assainissement de la ville de Saint-Louis. Rapport définitif. BRL Ingenierie. Groupe INGETEC. 100p. Annexes.

Paskoff, R. (2000)- Impacts à attendre d'une élévation du niveau de la mer sur les côtes françaises in Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle. p46-53. Seconde édition. MIES, SRP. 128p.

Peckham, S., D. (2003) - Fluvial landscape models and catchment-scale sediment transport. 10 fig. Global and Planetary Change 39 (2003) 31-51. Elsevier.

Petit, M. (2000)- Rappel des principaux résultats du GIEC concernant l'effet de serre in Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle. p12-14. Seconde édition. MIES, SRP. 128p.

Petterson, J., E., Baldwin, A., H. (2004) - Seeding emergence from seed banks of tidal freshwater wetlands: response to inundation and sedimentation. 20 tabl., 2 fig. Aquatic Botany 78 (2004) 243-254. Elsevier.

Philippe, C. (1993)- Aménagements hydro-agricoles et évolution de quelques aspects de l'environnement dans l'axe Gorom-Lampsar (delta du fleuve Sénégal). Mémoire de DEA, ULP-UFR, Géographie, CEREG, Strasbourg, 1993, 109p.

Pirazzoli, P.A. (1986) - Secular trends of relative sea level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. J. Coastal Res., Fort Lauderdale (Flo), Sp. Issue, n°1, 1-26, 13 fig., 1 tabl.

Planchon, O. (1996)- Les climats maritimes dans le monde. Thèse de Doctorat de Géographie, Spécialité : Climatologie. 42 tabl., 113 fig. 233p. Université de Bourgogne.

Quinn, W.H., Neal, V.T., Antunez de Mayolo, S.E. (1987)- El niña occurrences over the past four and a half centuries. J.Geophys. Res., Washington, 92 (13), 14449-14461, 3 fig., 2 tabl.

Rebert, J., P. (1983)- Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc.Scient.Centr.Rech.Oceanogr., Dakar-Thiaroye, n°93, 186p.

Reinfelds, I., Cohen, T., Batten, P., Brierly, G. (2003) - Assessment of downstream trends in channel gradient, total and specific stream power: a GIS approach. 6 fig., 2 tabl. Geomorphology (2003) Article in press. 14p. Elsevier.

Réseau Zones Humides du Sénégal (1998)- Typologie et problématique environnementale des zones humides de la rive gauche du bassin du Sénégal. Commission Fleuve Sénégal. 13 fig., 31 tabl. 119p. UICN, Dakar.

Rochette, C. (1974)- Le bassin du fleuve Sénégal. Monographies hydrologiques ORSTOM n° 1. 45 fig., 37 tabl. 450p. Paris.

Roy, C. (1989)- Réponse des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l'ouest : analyse et modélisation. ORSTOM ed., Paris, Coll. Etudes et Thèses, 146p., 45 fig., 7 tabl., Annexe.

SAED (1999)- Suivi environnemental du delta du fleuve Sénégal. 10 fig., 10 tabl., 5 planches, 4 photos, 37p.

Sagna, P. (1990)- Apport pluviométrique des lignes de grains au Sénégal de 1981 à 1985. in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, n°3, pp 279-287.

Sall, M., M. (1982)- Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal occidental. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Louis Pasteur. Strasbourg, 604p., 138 fig. Annexes.

Sall, M. (1989)- Les problèmes de l'intégration de l'élevage dans les grands aménagements hydro-agricoles au sahel : cas du delta du fleuve Sénégal (rive gauche). 12 cartes, 11 tabl., 3 fig. EISMV, UNESCO, Dakar, 88p.

Saos, J., L., Zante, P. (1985)- Le "bouchon-barrage" de Kheune, son influence sur les eaux de nappe alluviale et du fleuve Sénégal. ORSTOM, Dakar.

Sarnthein, M., Thiede, J., Pflaumann, U., Erlenkeuser, H., Futterer, D., Koopmann, B., Lange, H., Seibold, E. (1982)- Atmospheric and oceanic circulation patterns off northwest Africa during the past 25 millions years. In: Von Rod U. et al. (eds) Geology of the northwest African Continental margin. Springer Verlag, Berlin, 545-604, 26 fig., 2 tabl.

Seguy, J. (1955)- Rapport sur les mesures de débits solides du fleuve Sénégal à Dagana (Campagne 1955). Bull. De la MAS, 42p.

Shackleton, N., J. (1987) - Oxygen isotope, ice volume and sea level. Quaternary Science Research, 6 n° ¾, 183-190.

SOGREAH Ingénieurs Conseils (1981)- Etude de la houle, du vent, du courant sur le site de Port Sédar (République du Sénégal). Miferso, Dakar, Rpt R35, 1160a, 47p. 38pl.

Sow, A., A. (1984)- Pluie et écoulement fluvial dans le bassin du fleuve Sénégal : contribution à l'hydrologie fluviale en domaine tropical humide africain. Th. Doctorat 3^{ème} cycle de Géographie physique. Université de Nancy II. 53 fig. 25 cartes. 79 tabl. Vol. V. 442p.

Surveyer, Nenniger, Chenevert (1972)- Etude de la navigabilité des ports du fleuve Sénégal. Etudes portuaires à Saint-Louis, Kayes et Ambidédi. En collaboration avec C. Ostenfield et W. Jonson. Danish institute of Applied Hydraulics. Projet ONU 51/71 Saint-Louis, OMVS.

Thiandooum, M. (1994)- Caractérisation piézométrique et hydrochimique de la nappe superficielle dans la zone de Nianga-Podor (moyenne vallée du fleuve sénégal). Influence de la culture irriguée. Mémoire d'ingénieur de conception. Univ. Ch. Anta Diop. 71p. Dakar.

Thoms, M., C. (2003) - Floodplain-river ecosystems: lateral connections and the implications of human interference. 6 fig., 4 tabl. Geomorphology 56 (2003) 335-349. Elsevier.

Thompson, A., S. (1999) - Hydrology for water management. 191 fig., 98 tabl. 362p.

Touzi, S. (1998)- Formalisation des échanges fleuve-nappe en présence de zones d'inondation : cas de la régularisation des crues du fleuve Sénégal. Mémoire de DEA. 10 tabl., 36 fig., 13 annexes. 101p. ENGREF, ORSTOM, Université de Montpellier.

Trenous, J., Y., Michel, P. (1971)- Etude de la structure du dome de Guiers (Sénégal nord-occidental). Bull. Soc. Geol. De France, 7, XIII, n° 1-2, pp. 133-139.

Tricart, J. (1961)- Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal. Mem.Bur.Rech.Geol.Min., Paris, n°8, 137p., 9 pl. photos, 3 cartes.

Tricart, J. (1968)- Précis de géomorphologie. Tome 1 : géomorphologie structurale. 114 fig., 322p. Paris V^{ème}.

Trochain, J. (1940)- Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Mem.Inst.Fr.Afr.Noire, n°2 Larose, Paris 433p., 30 fig., 30 pl.

Verstraete, J., M. (1985)- Contre-courants équatoriaux et variations saisonnières du contenu thermique et du niveau moyen dans l'Atlantique tropical Est. Oceanol. Acta, Paris 8 (3), 249-261, 13 fig., Annexe.

Voinov, A., A., Voinov, H., Costanza, R. (1999) - Surface water flow in landscape models: 2. Patuxent watershed case study. 3 tabl., 12 fig. Ecological Modelling 119 (1999) 211-230. Elsevier.

Voiturez, B., Chuchla, R. (1978) - Influence of the Southern Atlantic Central Water on the distribution of salinity and oxygen in the northeast tropical Atlantic Ocean. Deep Sea Res., Oxford, 25 (1), 107-117, 9 fig.

Warrick, R., A., Le Provost, C., Meier, M., F., Oerlemans, J., Woodworth, P.L. (1995) - Changes in sea level. In: Climate change 1995: the Science of climate change. Contribution of working group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pp363-405. WMO/UNEP. Cambridge University Press.

Wooster, W., S., Bakun, A., Mc Lain, D., R. (1976) - The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. J. Mar. Res. New Haven, 34 (2), 131-141, 6fig.

ANNEXES

ANNEXE I

Tableau 1 : Pluviométrie totale mensuelle à Saint-Louis (1892-2004).

Source des données : Olivry (1982) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Années	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	JUIL.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total (mm)	Nombre de jours	
1892					1,4	13,6	40,8	263,9	9,6	55,8			385,1		
1893	9				18,4	94,6	44,5	143,1	133,4	107,5	2,5		553		
1894			1			20	5	181,5	140,9		14,9		363,3		
1895		2,2					95,5	87,7	63				248,4		
1896	9,3						68,7	26	54,3	11			169,3		
1897			0,3			17,5	88,8	103	101,3	13,9	5,3		330,1		
1898						2,2	15,5	270,5	152,9	37			478,1		
1899					4,8	28,2	80,1	102,5	73,4	13		13,5	315,5		
1900		11				52	160,5	104,2	84,7	3			415,4		
1901						44,7	129,3	147,9	113,6				434,7		
1902				0,6	26,6	32	128,2	55,1	58,8				301,3		
1903						32,9	15,5	126	63,6				238	13	
1904						17,2	28,3	139,1	79,2	6,8	16	11,5	298,1	35	
1905		0,8	10,3			1,5	76,5	176,1	32,8	135,5	1,5	0,6	435,6	39	
1906			0,1			2,5	161,3	250,2	100,3	9,8	4,5	66,8	595,5	45	
1907	3,4		2,9				34,5	78	113,6	5,3			237,7	26	
1908			1,5			5	11,8	77,9	70,6	18			18,4	203,2	32
1909						16,7	33,8	170,5	97,9	15,1	1,5	3,1	338,6	44	
1910			2,5				88,4	182,4	37,1	10,1			343	29	
1911					1,5	1	60	97	78,3	16		7,2	261	19	
1912							83,4	381,5	210				674,9	23	
1913	12,9		1,3			16,9	63	44,8	5,5	5,5		0,2	150,1	28	
1914	0,3					16,9	63		38	5,5	20		143,7	16	
1916						22,8	65	225	154	37		49	552,8	33	
1917						144	3	214	163				524	30	
1918	42,2	25,2	0,2		1,8	64	126,1	225,9	123,7	54,4			663,5	43	
1919	1,7				0,5	33,6	228,3	260,5	79,9	0,1			604,6	27	
1920	12	66				2	55	59,5	79	44			317,5	34	
1921						17	38	39,5	105	12		2,5	214	28	
1922						2,9	21	30,3	81,2	183,9	12,5		331,8	24	
1923							24,3	79	191,5	9,7			304,5	21	
1924	1,8					25,7	46	49,5	210,8	1,8	1,8	4,6	342	24	
1925							45,1	33,2	157,5	89,7	22,1		347,6	24	
1926							40,5	104,8	255,2	119,2			519,7	24	
1927		1			3	58	70,4	273,1	124,1	131			660,6	31	
1928								78,2	769,5	252,4	39,3		1139,4	24	
1929							24,2	39,7	132,2	165,5	19,9		13,2	394,7	32
1930								93,3	195,4	374,2				662,9	23
1931						0,5	55	5	97	6,8			164,3	13	
1932							26,5	83,6	208,2	35,7				354	30
1933	10,2						19,1	109,2	179,3	96,2	26,4	6,6	2,6	449,6	34
1934							1,9	25,8	119,9	76,7	26,4	0,3		251	29
1935						0,2	2,6	42,1	243,2	227	6,5			521,6	32
1936							14,5	25	113,1	87,8	97,7	22	0,7	361,4	37
1937							1	14,1	262,2	86	61,7	24,4		449,4	38
1938	0,5	1,6	0,5					67,3	243,7	118,8	17,2			449,6	39
1939	0,2						5,2	24,8	176,7	144,6	67,2		1,5	420,2	37

1940		0,3			2,6	17,6	229,8	75,1	8,8			334,2	29	
1941					1,4	83,6	4,5	109,3	20,7			219,5	23	
1942		2,5				1	144,8	8,1	0,8	16,3		173,5	21	
1943		8,2		3,4	7	0,1	76,4	232,3	179,9	42		43,4	52	
1944		0,5				1,4	12,4	224,3	212,7	6,7		1,2	459,2	37
1945							85,6	99,2	16,7	4			205,5	28
1946							26,7	124,9	85,2	38,4			275,2	24
1947							12,9	250,6	160,6		0,4		424,5	30
1948		18				1,3	19	133,9	21,9	15			209,1	26
1949		0,4				0,6	9,7	290,2	30,8	25,5			357,2	30
1950		0,2			0,3	17	21,1	172,2	84,8	47,6			343,2	48
1951		1			5,2	0,6	52,9	131,5	57,9	186	20		455,1	42
1952				3,2	0,6		78,4	103,5	195,6	6,4			387,7	40
1953		2,8				6,9	83,2	61,3	94,9	39,6			288,7	43
1954		5,4				15,4	29,3	217,4	98,3	7,6			373,4	36
1955					2,2	70,7	69,5	161	76,4	36,4			416,2	38
1956		6,6					12,1	73,9	66,1	21,7		44,6	225	25
1957	5,1	1,5				0,2	4,3	84,6	297,8	109,8	1,5	6,1	510,9	41
1958	1,9						10,2	280,2	21,2	3,4	0,4		317,3	30
1959					6,3	17,7	42,4	42,2	83,9				192,5	24
1960							43,2	80,4	135,7				259,3	26
1961							49,2	40,5	190,7	3,4			283,8	26
1962						5,6	14,8	242,2	39,2	30			331,8	26
1963						0,5	87,5	72,5	83,5	229,4			473,4	33
1964							61,3	183,3	78,1				322,7	28
1965	7	8,5				10,8	103,7	41,6	140	11,8			323,4	29
1966						11,3	9,3	117	101,5	197,9		1,6	438,6	30
1967						10,8	19,7	156,6	173,7	54,8			415,6	31
1968		8,6				7,1	20,1	96,1	101,3	0,2			233,4	30
1969							128,7	236	97,5	68,8			531	37
1970							36,7	63,1	67,2	12,9			179,9	18
1971						6,3	52,6	100,6	17,5				177	18
1972						22	10,3	33	80,2	6,6			152,1	12
1973		0,3				0,34	13,8	119,4	47,2		6,3		190,4	18
1974			0,6			0,5	24,5	79,7	79	12,5			196,8	25
1975							182,8	92,8	74,9	38,9			389,4	28
1976		9,2	0,3	0,2		0,3	8,2	51,9	123,2	3		9,5	205,8	31
1977						0,3		31,1	67,9			3	102,3	15
1978		0,2				6,5	3,7	31,1	157,5	22,1	10	0,6	222,7	31
1979		21,1				28,2	33,1	52,9	80,2	2,2		2,8	220,5	28
1980		5,4					13,5	92,4	137,3	45,1		0,6	294,3	25
1981	6,8		0,7			15,3	49,2	168,7	94	1,1			335,8	26
1982							82,1	92,7	3,8	12,7			191,3	21
1983		1,6	3,1				20,5	60	14,5				99,7	12
1984						1,1	5	11,6	65	26,2		0,2	109,1	12
1985	1,4		0,4			4,2	30,2	137,1	87,4			0,6	261,3	27
1986		1,3	0,2		1,2		28,3	51,7	57,2	1	1,8		142,7	30
1987						1,5	39,3	31,6	270,3				342,7	19
1988	1,5	19			1,1	15,4	8,7	156,3	135,7			2,6	340,3	36
1989						37,5	27,7	144,1	30,2		1,4		240,9	31
1990	7	0,4	0,9				51,3	52,2	61,5	17,4			190,7	27
1991						6,8	35,6	52,7	40,9	43,6		12	180,8	17

1992		5,8				12,8	33,1	6,4	9			59	20
1993	5	0,1				7	126,8	106,2	0,2	1,2		246,5	24
1994						7,4	64,1	192,3	20,5			284,3	23
1995		2,3			2,5	37,6	101,5	125,9	11,2	0,9	33,3	315,2	38
1996			1,1		11,4	19,3	46,6	22,9	15,8			171,1	25
1997				3,2	8,7	0,1	146,2	62				220,2	25
1998		0,8				20	132,4	122,1	35			260,8	25
1999						53,6	146,6	33,3	127			360,5	31
2000						168,5	49,5	68,4	46,1			332,5	25
2001						70	83,5	102,1	19,1	0,6	275,3	34	
2002	67,8		0,4			27,7	28	47,4	88,8	1,6	261,7	26	
2003				1,7	1,2		9,9	47,7	228,6	62,3		351,4	30
2004		1,8	0	0	0,1	0,2	8,7	94,8					
Moyenne mensuelle (mm)	9,06	7,10	1,47	1,36	4,73	17,71	50,74	134,13	102,14	33,91	6,68	11,24	

Tableau 2 : Pluviométrie totale annuelle à Richard-Toll (1962-2000)

Source des données : Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Années	Pluviométrie totale (mm)	Années	Pluviométrie totale (mm)
1962	182	1979	300,6
1963	293	1980	242
1964	298,2	1981	242
1965	327	1982	137
1966	299	1983	31
1967	339	1984	104
1968	147	1985	161
1969	303	1986	187
1970	122	1987	208
1971	156	1990	205,8
1972	61	1991	96,6
1973	177	1992	104
1974	187	1993	226
1975	180	1994	49
1976	372	1998	229
1977	131	2000	314
1978	299		

Tableau 3 : Pluviométrie totale mensuelle à Kédougou (1950-2004)

Source des données : Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel (mm)	Moyenne annuelle (mm)	
1950					14,2	180	156,5	343,1	327,1	154,4	11		1186,3	169,47	
1951					42,7	7,5	159,3	341,7	243,6	294,7	417,9	20		1527,4	190,93
1952		0,3			43,4	181,5	300,1	173	372,1	160,5				1230,9	175,84
1953					37,2	137,9	288	390	271,2	67,5		4,4	1196,2	170,89	
1954		1,9			112,9	337	501,2	428,8	543,4	138,3	96,6		2160,1	270,01	
1955			2,2	28,6	65	148,7	334,6	360,7	222,7	86,8	6	1,4	1256,7	125,67	

1956		4,5		17,1	176,1	211	274,1	165,5	199,9	11,8		1060	132,50	
1957			14	0,9	241,1	337,6	399,4	364,7	194,9			1552,6	221,80	
1958			6,8	112,3	262,4	223,7	427,5	375,2	33,7	49,9		1491,5	186,44	
1959				26,4	100,9	277	463	211,7	37,7			1116,7	186,12	
1960			1,8	58,3	245,3	294	275	288,1	48,9	19,1		1230,5	153,81	
1961				47,7	193,2	195,3	504,9	388,8	65,7			1395,6	232,60	
1962				97,8	183,1	264	420,1	394,9	81,3	3		1444,2	206,31	
1963				13,3	177,8	286,2	383,6	305,4	192,9	15,5		1374,7	196,39	
1964				86	204,6	242,8	459,3	298,6	70,2			1361,5	226,92	
1965				35,1	196,7	190,5	361,8	216,1	320,7	51,2		1372,1	196,01	
1966			7,6	26,7	251,8	282,3	181,1	392,2	311,8		0,2	1453,7	181,71	
1967				46	250,9	223,4	48,8	329,7	177,4	2,4		1078,6	154,09	
1968		5,6	0,1	16	70,4	212,3	304	306,4	128,7	8,1		1051,6	116,84	
1969				29,7	120,3	403,6	199,3	324,3	259,4			1336,6	222,77	
1970			0,5	11,9	85,1	310,9	378,1	204	36,3	0,1		1026,9	128,36	
1971				2	10,7	174,6	197,8	422	329,9	39,2		1176,2	168,03	
1972				50,7	67,4	268,9	355,4	172,9	91,1	4,6		1011	144,43	
1973				6,1	95,8	154,8	346,5	351,5	217,2	28,7		1200,6	171,51	
1974				0,1	12,7	135,9	303,9	375,1	283,5	88,6	4,2		1204	150,50
1975					22,9	195,2	286,5	219,7	458,1	47,4			1229,8	204,97
1976				10,6	4,8	196,4	198,6	185,2	366,2	61,3	24,6	0,8	1048,5	116,50
1977				0,3	77,2	114,3	213	284,6	339,8	76,7			1105,9	157,99
1978					17,6	239,1	209,2	400,3	336,3	383,9	0,7	7,9	1595	199,38
1979			0,4		65,2	202	175,5	274,6	128,3	112,7	0,4		959,1	119,89
1980	0,1	0,4			50,6	212	221,2	337,3	211	23,2			1055,8	131,98
1981			2,8	7	121,2	116,4	291,6	386,6	294	85,9			1305,5	163,19
1982				0,1	14,4	160,2	215,7	237,6	194	135,4			957,4	136,77
1983		2,7			40,6	155,4	212,8	209,8	178	34			833,3	119,04
1984				4,1	91,5	272,3	270	247,9	211	109,3	16,9		1223	152,88
1985	0,1			27,3		190,8	316,1	377,2	319,7	39,6			1270,8	181,54
1986				11,4	178,8	99,2	229,4	279,9	327,7	51	0,7		1178,1	147,26
1987		0,1			75,9	85	326,9	182,7	241,3	190,9			1102,8	157,54
1988				5,4	35,8	83,3	295,2	264	217,2	83,1	7,6		991,6	123,95
1989					17,6	133,2	226,8	262,4	324,3	66,4			1030,7	171,78
1990				0,3	5,3	92	155	298,4	221,8	32,7			805,5	115,07
1991					0,8	105,5	412,2	224,1	294,2	86,6		1,1	1124,5	160,64
1992	0,2	0,1			61,2	136	306,9	208	167,2	55,9			935,5	116,94
1993			6,2		19,3	81,1	307,7	178,6	434,2	87,8	49,6		1164,5	145,56
1994			0,4	2,6	46,2	204,9	216,6	198,9	429,9	172,3	41,8		1313,6	145,96
1995			0,4		29,4	103,1	304,1	373,5	179,9	50,4		4	1044,8	130,60
1996					72,7	158,1	277,2	215,2	295,6	103,4	0,2		1122,4	160,34
1997				34,1	217,4	284	307,2	410,8	275,2	93,6			1622,3	231,76
1998	1,5			0,2	1,6	109,6	226,4	501	319,3	83,2			1242,8	155,35
1999	0,2				77,5	204,4	204,6	424,2	324,7	187,7	2,5		1425,8	178,23
2000				2,5	14	202	227,1	510,8	246,4	228,2	20,5		1451,5	181,44
2001					39	248,8	150,3	370,2	325,7	64,3	1,1		1199,4	171,34
2002	0,9				17,5	112	306,9	341,6	172	127,4		3,1	1081,4	135,18
2003	9,7			8,4	16,7	278,7	328	605,7	412,8	130,5	14,8		1805,3	200,59
2004				8,8	72,7	141,5	368						591	147,75
Moyenne Mensuelle (mm)	1,8	2	2,1	8,98	47,79	170,1	268,7	324,7	293,4	119,2	17,3	2,9		

Tableau 4 : Pluviométrie totale mensuelle à Bakel (1950-2004)

Source des données : Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel (mm)	Moyenne annuelle (mm)	
1950					8	36	85	205	237	61			632	105,33	
1951			2,4		15	4	136	237	124,1	111,1	13,4		643	80,38	
1952					23,4	51,9	149,5	106	273,8	102,8		1,1	708,5	101,21	
1953					13,3	78,9	184,2	275,5	184,9	23,6			760,4	126,73	
1954		5			5,5	104,1	52,4	223,5	122,1	39	49,9		601,5	75,19	
1955				1	2,5	45,1	153,9	195,2	201,6	18,2			617,5	88,21	
1956					4	149,9	93,2	206,2	98,5	43,3			595,1	99,18	
1957	3				1,4	46,3	120,7	190,1	238,7	59,8			660	94,29	
1958		0,6			0,9	103,9	138,5	259,9	69,9	16,7	16,6		607	75,88	
1959					1	64,5	90,2	157,9	358,2	17			688,8	114,80	
1960					6	16,5	76,5	229,9	66,5	27			422,4	70,40	
1961					5	114	173,5	93,3	116,6	23,3			525,7	87,62	
1962						12	187	217	30	37			483	96,60	
1963						41,4	242,5	207,9	51,1	54,2			597,1	119,42	
1964					11	118,2	171,9	175,1	151,9	25,7			653,8	108,97	
1965	2				0,5	88,6	118,2	365,2	152,1	60,1			786,7	112,39	
1966						111,8	164,8	180,1	218,5	92,6	3,6		771,4	128,57	
1967					6,9	91,9	168,7	384,8	227,7	19,9			899,9	149,98	
1968		10,2		3,3		36,7	250,6	96	79,6	5,3	2		483,7	60,46	
1969					0,8	41,4	149,5	166,9	84,8	131,6			575	95,83	
1970				0,2	0,2	82,8	96,1	188	88,9	0,5			456,7	65,24	
1971						47,4	133,4	196,7	151,4	5,7	6		540,6	90,10	
1972	2,4				33,8	43,7	63,2	130	123,7	15,1			411,9	58,84	
1973						1	37	147,9	146,2	70,9	7,5		410,5	68,42	
1974						49	182,9	273,4	114	62,2			681,5	136,30	
1975					0,3	21,3	349,7	138,8	100,7	56,3			667,1	111,18	
1976	0,7				2	21,3	85,5	128,6	49,3	32,2		1,1	320,7	40,09	
1977				7	1	40,7	73,7	33,3	234,3	1			391	55,86	
1978					4,5	39	122,1	139,4	193,9	29,4	28,2	6,5	563	70,38	
1979					11,6	33,9	151,4	139,5	54,6	13,8		4	408,8	58,40	
1980		11				5,1	85,4	187,9	94,2	21		5,4	410	58,57	
1981		0,4			1,8	1,5	158,7	313,7	56,3	0,5			532,9	76,13	
1982							126,4	149,4	212,5	45,2			533,5	133,38	
1983		3,2				75,4	102,8	178,2	87	6,1			452,7	75,45	
1984						9,8	58,1	34,9	90,5	40,4	26,7	0,5	260,9	37,27	
1985						2,2	44,2	153,3	204,1	118,6	7,8		0,2	530,4	75,77
1986						0,3	4,6	127,9	155,3	151,7	2,5			442,3	73,72
1987						0,3	21,2	96,4	126,7	113,3	31,4			389,3	64,88
1988						4,2	70,6	103,4	215,4	269,3				662,9	132,58
1989							88,6	89,7	236,7	14	30,4			459,4	91,88
1990							106,7	28,7	166,3	155,6	6,4			463,7	92,74
1991						4,2	26,3	88,5	182,7	128,2	42,7			472,6	78,77
1992	10,1	0,6			60,4	22,2	115,7	46,7	126,6	23,3			405,6	50,70	
1993						35,4	135	64,9	190,5	33,5			459,3	91,86	
1994			0,2		6,6	70	166,8	341,3	74	82,5			741,4	105,91	
1995			19,7			24,2	109,4	338,3	198,5	8,6			698,7	116,45	
1996					1,3	14	114,9	98,6	83,8	7,2			319,8	53,30	

1997				7,1	57,4	39,9	202,1	180,6	0,8			487,9	81,32
1998					18,9	96,9	131,4	201,1	2,4			450,7	90,14
1999				2,5	84,7	132,8	237,2	222,2	10,8			690,2	115,03
2000					102	201,1	112,2	155,1	63,6	8,9		642,9	107,15
2001				15,5	34,2	210,1	55,8	158,4	12,2	2,5		488,7	69,81
2002				5,5	103,2	58,2	206,4				0,7	374	74,80
2003					36,7	159,3	360,5	231,4	24,8			812,7	162,54
2004				2,8	0,8	79,2	255,4	237,1				575,3	115,06
Moyenne mensuelle (mm)	3,64	4,43	7,43	2,86	7,23	54,77	132,81	187,74	142,12	32,37	13,16	2,71	

Tableau 5 : Pluviométrie moyenne mensuelle (mm) à Labé (1923-1993)

Source des données : Coly (1996)

Labé	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total annuel (mm)
Moyenne 1923-1993	1,86	2,51	9,26	41,15	141,44	243,39	332,37	359,94	296,29	164,92	37,03	7,74	1637,9
Ecart Type	5,37	6,05	19,33	37,88	60,03	58,4	84,02	81,93	80,91	78,46	44,62	19,52	242,68
Maximum	29	34	115	177	281	365	591	573	527	430	246	108	2159
Minimum	0	0	0	0	12	93	147	208	125,9	37,5	0	0	1226,5

Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles dans le bassin du fleuve Sénégal

Source des données : Coly (1996) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Stations	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aôut	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Labé (1971-1980)	19,65	21,06	23,1	24,64	24,01	22,54	21,71	21,39	21,45	21,64	20,23	18,51
Kédougou (1953-2001)	25,9	28,5	30,9	32,8	32,4	28,9	27	26,4	26,6	27,7	26,9	25,3
Bakel (1979-2001)	25	28	30,6	33,5	35	33,4	30,2	28,5	28,5	30,2	28,5	25,8
Saint-Louis (1950-2003)	22,9	24	24,6	24,1	24,4	26,3	27,5	28,2	28,6	28,4	26,5	23,7

Tableau 7 : Température maximale moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal

Source des données : Coly (1996) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Stations	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Labé (1971-1980)	29,41	31,06	32,33	32,48	30,53	27,66	25,76	25,24	26,04	27,12	28,22	27,63
Kédougou (1961-2001)	34,2	36,9	38,7	39,6	38,7	34,5	31,4	31,2	31,7	33,5	34,5	33,6
Bakel (1979-2001)	32,72	36,23	38,96	41,96	42,31	39,81	35,77	33,94	34,36	37,73	37,21	33,7
Saint-Louis (1950-2003)	29,9	31,2	31,6	30,4	29,3	30	30,5	31,3	32,1	33,2	32,9	30,6

Tableau 8 : Température minimale moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal

Source des données : Coly (1996) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Stations	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Labé (1971-1980)	9,9	11,7	13,38	16,81	17,5	17,42	17,7	17,54	16,86	16,17	12,25	9,4
Kédougou (1961-2001)	17,4	20,1	23,07	25,59	25,9	23,42	22,2	21,82	21,4	21,67	19,28	16,7
Bakel (1979-2001)	17,3	19,8	22,14	25,06	27,7	26,89	24,6	23,15	22,58	22,58	19,74	18
Saint-Louis (1950-2003)	15,6	16,6	17,4	17,89	19,4	22,54	24,5	25,01	25,11	23,73	20,1	16,9

Tableau 9 : Insolation moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal

Source des données : Rochette (1974) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Labé (5 ans)	9,16	9,36	8,81	8,3	7,13	5,77	4,58	3,29	4,93	6,39	7,1	7,61
Kédougou (1967-2002)	8,54	8,85	8,97	9,02	8,6	8	6,9	6,5	6,9	7,8	8,4	8,2
Bakel (1984-2001)	8,08	8,2	14	14,4	14,2	8,3	8	7,8	7,7	8,5	8,4	7,9
Saint-Louis (1951-2003)	7,34	8,09	8,87	9,4	8,84	7,1	7,3	7,6	7,4	8,1	7,86	7,1

Tableau 10 : Evaporation moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal

Source des données : Rochette (1974) et Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Labé (7 ans)	835	986	952	803	494	273	174	155	170	265	420	639
Kédougou (1953-2001)	845	982	1078	1101	842	432	229	170	171	251	474	689
Bakel (1979-2000)	1145	1292	1371	1474	1495	1228	743	433	498	616	913	1024
Saint-Louis (1951-2003)	660	675	633	523	424	360	336	307	306	404	546	643

Tableau 11 : Débit moyen annuel à Bakel (1904-2004)

Source des données : Service Régional de l'Hydraulique de Saint-Louis

Années	Débit_moyen annuel (m ³ /s)	Années	Débit_moyen annuel (m ³ /s)	Années	Débit moyen annuel (m ³ /s)	Années	Débit_moyen annuel (m ³ /s)
1904	1165	1930	1485	1956	971	1982	318
1905	1127	1931	1313	1957	1025	1983	234
1906	1613	1932	1499	1958	1031	1984	231
1907	952	1933	1560	1959	827	1985	364
1908	1351	1934	1371	1960	642	1986	347
1909	1557	1935	2208	1961	947	1987	214
1910	1452	1936	1830	1962	776	1988	377
1911	966	1937	913	1963	685	1989	348
1912	1229	1938	1551	1964	974	1990	220
1913	595	1939	994	1965	1057	1991	356
1914	1000	1940	827	1966	857	1992	363
1915	1185	1941	844	1967	1044	1993	341
1916	1566	1942	846	1968	455	1994	712
1917	1410	1943	1298	1969	761	1995	592
1918	2052	1944	672	1970	569	1996	394
1919	1096	1945	1914	1971	604	1997	369
1920	1692	1946	1330	1972	290	1998	469
1921	927	1947	1388	1973	391	1999	768
1922	2094	1948	936	1974	795	2000	446
1923	1274	1949	904	1975	616	2001	432
1924	1959	1950	1834	1976	470	2002	390
1925	1352	1951	845	1977	343	2003	757
1926	918	1952	747	1978	499	2004	439
1927	2005	1953	650	1979	323		
1928	1540	1954	1062	1980	427		
1929	1621	1955	1050	1981	436		

Tableau 12 : Débit moyen annuel à Dagana (1903-1989)

Source des données : Direction pour la Gestion et la Planification des Ressources en Eau (DGPRE)

Années	Débit moyen (m ³ /s)	Années	Débit moyen (m ³ /s)	Années	Débit moyen (m ³ /s)
1903	812	1932	726	1961	767
1904	658	1933	764	1962	694
1905	713	1934	668	1963	637
1906	896	1935	878	1964	840
1907	405	1936	949	1965	848
1908	628	1937	568	1966	779
1909	777	1938	727	1967	931
1910	628	1939	532	1968	426
1911	478	1940	431	1969	767
1912	457	1941	362	1970	522
1913	255	1942	354	1971	527
1914	382	1943	575	1972	238
1915	513	1944	333	1973	356
1916	593	1945	745	1974	574
1917	552	1946	626	1975	492
1918	861	1947	503	1976	379
1919	467	1948	539	1977	264
1920	719	1949	440	1978	399
1921	419	1950	881	1979	258
1922	864	1951	794	1980	319
1923	669	1952	670	1981	388
1924	941	1953	606	1982	248
1925	689	1954	900	1983	292
1926	438	1955	890	1984	348
1927	828	1956	798	1985	498
1928	789	1957	871	1986	615
1929	772	1958	887	1987	544
1930	709	1959	665	1988	523
1931	647	1960	587	1989	516

Tableau 13 : Cote moyenne annuelle à Dagana (1903-2004)

Source des données : Service Régional de l'Hydraulique de Saint-Louis

Années	HA_moy.(cmIGN)	Années	HA_moy.(cmIGN)	Années	HA_moy.(cmIGN)
1903	218	1937	169	1971	153
1904	214	1938	224	1972	64
1905	216	1939	180	1973	95
1906	293	1940	135	1974	126
1907	141	1941	148	1975	86
1908	218	1942	168	1976	71
1909	222	1943	190	1977	52
1910	193	1944	113	1978	73
1911	157	1945	264	1979	49
1912	177	1946	233	1980	60
1913	107	1947	194	1981	70
1914	140	1948	181	1982	52
1915	194	1949	184	1983	44
1916	182	1950	241	1984	74
1917	200	1951	229	1985	110
1918	268	1952	209	1986	110
1919	41	1953	222	1987	92
1920	224	1954	272	1988	107
1921	151	1955	211	1989	85
1922	246	1956	190	1990	87
1923	218	1957	183	1991	113
1924	267	1958	205	1992	153
1925	209	1959	178	1993	172
1926	168	1960	176	1994	180
1927	238	1961	168	1995	177
1928	244	1962	164	1996	196
1929	231	1963	154	1997	200
1930	250	1964	176	1998	206
1931	213	1965	221	1999	235
1932	227	1966	179	2000	206
1933	223	1967	220	2001	211
1934	231	1968	111	2002	220
1935	258	1969	189	2003	237
1936	265	1970	128	2004	213

Tableau 14 : Cote moyenne annuelle à et cote maximale à Saint-Louis (1964-2003)

Source des données : Service Régional de l'Hydraulique de Saint-Louis

Années	Cote moyenne annuelle (cmIGN)	Cote maximale annuelle (cmIGN)	Années	Cote moyenne annuelle (cmIGN)	Cote maximale annuelle (cmIGN)
1964	168	248	1988	31	109
1965	236	289	1989	33	99
1969	128	190	1990	25	68
1970	99	173	1991	22	93
1971	116	187	1992	84	102
1972	33	75	1993	54	108
1973	64	136	1994	51	127
1979	25	63	1995	45	121
1980	21	73	1996	40	95
1981	31	84	1997	37	129
1982	38	79	1998	70	144
1983	25	61	1999	76	150
1984	19	54	2000	54	114
1985	27	89	2001	58	126
1986	28	90	2002	35	104
1987	22	62	2003	46	150

Tableau 15 : Variations de la position de l'embouchure du fleuve Sénégal par rapport à l'île depuis 1658

Source : DIA (2000)

Années	Distance (km)						
1658	2,5	1856	4,5	1906	15,7	1970	20
1692	20	1858	3,5	1908	16,5	1971	24,3
1707	4,5	1859	-0,5	1909	20	1973	15
1717	25	1860	5	1913	20	1977	16,3
1720	21	1861	10,9	1921	16	1978	19,6
1726	10	1862	8,5	1923	15	1980	21,5
1727	3,5	1863	2,5	1928	24,2	1981	21,8
1738	12	1864	6	1928	20,8	1983	21
1750	22	1865	8	1932	23,4	1986	23,5
1780	9	1866	1,5	1936	15,7	1989	27,5
1790	4,5	1867	16	1936	23,9	1990	28
1801	27,5	1870	12	1948	16,8	1992	25,8
1802	18	1872	12,4	1950	25,5	1998	27,8
1802	19	1872	10,3	1955	25,5	1999	28,8
1810	6	1874	11,5	1958	27		
1820	7	1874	13	1958	27		
1824	15	1882	17	1959	27		
1825	14,4	1883	17,4	1959	16,5		
1827	30	1883	14	1960	16,7		
1840	20	1884	18,3	1960	18,9		
1843	17	1884	14,4	1962	18		
1846	9	1887	12,1	1963	17,7		
1849	16,5	1889	15,7	1966	20,1		
1849	3,4	1894	14,3	1967	21,3		
1851	27,5	1897	12,8	1968	22,2		
1854	4,5	1904	18,3	1969	22,5		
1855	20	1905	15	1969	22,8		

Tableau 16 : Cote minimale annuelle à Dagana (1903-2004)

Source des données : Service Régional de l'Hydraulique de Saint-Louis

Années	HA_min.(cmIGN)	Années	HA_min.(cmIGN)	Années	HA_min.(cmIGN)
1903	41	1937	35	1971	2
1904	41	1938	41	1972	1
1905	32	1939	41	1973	4
1906	32	1940	31	1974	3
1907	34	1941	41	1975	1
1908	37	1942	36	1976	1
1909	41	1943	31	1977	1
1910	15	1944	40	1978	1
1911	40	1945	41	1979	1
1912	25	1946	41	1980	1
1913	36	1947	41	1981	1
1914	41	1948	41	1982	1
1915	41	1949	36	1983	1
1916	16	1950	18	1984	2
1917	28	1951	27	1985	1
1918	41	1952	41	1986	1
1919	41	1953	71	1987	1
1920	41	1954	41	1988	6
1921	41	1955	5	1989	10
1922	34	1956	18	1990	18
1923	41	1957	1	1991	28
1924	41	1958	12	1992	45
1925	30	1959	14	1993	146
1926	41	1960	17	1994	129
1927	41	1961	3	1995	151
1928	41	1962	11	1996	153
1929	41	1963	2	1997	173
1930	41	1964	5	1998	181
1931	41	1965	20	1999	171
1932	41	1966	8	2000	177
1933	41	1967	11	2001	178
1934	40	1968	1	2002	181
1935	41	1969	10	2003	180
1936	41	1970	4	2004	179

ANNEXE II

Les scénarios d'émissions du rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES)

A1. Le canevas et la famille de scénarios A1 décrivent un monde futur caractérisé par une croissance économique très rapide, une population mondiale qui atteint son maximum au milieu du siècle pour diminuer ensuite et l'apparition rapide de technologies nouvelles et plus efficaces. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre les régions, le renforcement des capacités et l'accroissement des interactions culturelles et sociales, conjugués à une réduction sensible de la disparité régionale du revenu par habitant. La famille de scénarios A1 se divise en trois groupes qui correspondent à différentes hypothèses concernant l'évolution technologique du système énergétique. Les trois groupes A1 se distinguent par leur orientation technologique : usage intensif de combustibles fossiles (A1FI), sources d'énergie autres que fossiles (A1T) et équilibre entre toutes les sources d'énergie (A1B) (la notion d'équilibre fait référence à une situation où l'on ne recourt pas de façon excessive à une source d'énergie particulière, en admettant que toutes les technologies propres à l'approvisionnement énergétique et à l'utilisation finale se perfectionnent à un rythme similaire).

A2. Le canevas et la famille de scénarios A2 décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les taux de fécondité régionaux convergent très lentement, ce qui se traduit par une augmentation constante de la population. Le développement économique obéit principalement à une orientation régionale, et la croissance économique par habitant comme le progrès technologique sont plus fragmentés et plus lents que dans les autres canevas.

B1. Le canevas et la famille de scénarios B1 décrivent un monde convergent doté des mêmes caractéristiques démographiques, la population mondiale atteignant son maximum au milieu du siècle pour diminuer ensuite (comme dans le canevas A1), mais avec une évolution rapide des structures économiques vers une économie axée sur les services et l'information, une moindre importance des activités productrices de matières et l'adoption de technologies propres et fondées sur une utilisation efficace des ressources. L'accent est mis sur la recherche de solutions mondiales en matière de viabilité économique, sociale et environnementale, y compris par le biais d'une plus grande équité, mais sans nouvelles initiatives ayant trait au climat.

B2. Le canevas et la famille de scénarios B2 décrivent un monde où l'accent est mis sur des solutions locales en matière de viabilité économique, sociale et environnementale. Ce monde se caractérise par une population mondiale qui augmente régulièrement – quoique à un rythme plus lent que dans le canevas A2 –, par un développement économique de niveau intermédiaire et par un progrès technologique moins rapide et plus divers que dans les canevas A1 et B1. Ce scénario est également axé sur la protection de l'environnement et l'équité sociale et privilégie l'approche locale et régionale.

D'après GIEC, 2001

Le Phénomène El niño/Oscillation australe (ENSO)

Le phénomène *El Niño*/oscillation australe (ENSO) est la plus forte fluctuation naturelle du climat à une échelle de temps interannuelle. A l'origine, «*El Niño*» désignait un courant océanique chaud de faible intensité qui, chaque année, aux alentours de Noël, longeait la côte péruvienne en direction du sud; ce n'est que plus tard qu'il a été associé à des réchauffements d'une ampleur inhabituelle. Toutefois, ce réchauffement côtier va souvent de pair avec un réchauffement anormal de plus grande ampleur de l'océan, qui se manifeste jusqu'à la ligne internationale de changement de date. C'est ce phénomène intéressant l'ensemble du bassin du Pacifique qui constitue le lien avec les anomalies du climat mondial. La composante atmosphérique liée à «*El Niño*» est appelée l'«oscillation australe». Les scientifiques désignent souvent ce phénomène d'origine à la fois atmosphérique et océanique par le sigle «ENSO» (*El Niño/Southern Oscillation*).

Le phénomène ENSO est un phénomène naturel qui, d'après les données fournies par les coraux et les carottes glaciaires prélevées dans les Andes, a débuté il y a des milliers d'années. Dans la partie tropicale du Pacifique, les conditions océaniques et atmosphériques sont rarement moyennes et ont plutôt tendance à fluctuer de façon assez irrégulière entre les épisodes *El Niño* et leur contraire, à savoir les épisodes «*La Niña*», qui consistent en un refroidissement de l'ensemble du bassin du Pacifique tropical. Ce cycle se déroule généralement sur une période de trois à six ans, chaque épisode étant marqué par une phase de forte intensité qui dure habituellement un an environ.

Le phénomène ENSO est précédé d'une configuration très particulière des températures à la surface du Pacifique. Les principaux éléments de cette configuration sont : le «réservoir d'eaux chaudes» du Pacifique Ouest tropical, où se trouvent les eaux océaniques les plus chaudes du monde; les eaux beaucoup plus froides du Pacifique Est; et une langue d'eaux froides le long de l'équateur, dont l'extension atteint un maximum vers octobre et un minimum en mars. Dans la zone tropicale, les alizés d'est repoussent les eaux chaudes vers l'ouest, provoquant une élévation de 60 cm du niveau de la mer le long de l'équateur. Les vents provoquent la formation de courants océaniques de surface, qui déterminent les lieux de convergence et de divergence

des eaux de surface. C'est ainsi que des eaux froides, riches en substances nutritives, remontent à la surface le long de l'équateur et des côtes occidentales des Amériques, favorisant le développement du phytoplancton, du zooplancton et, par conséquent, des poissons. Comme les phénomènes de convection et les orages se produisent de préférence au-dessus des eaux chaudes, la configuration des températures de la mer en surface détermine la distribution des pluies dans la zone tropicale, qui détermine à son tour la configuration du réchauffement atmosphérique par libération de la chaleur latente. Ce réchauffement engendre les phénomènes de circulation à grande échelle de type mousson dans les régions tropicales et est donc à l'origine des vents. C'est cet étroit couplage entre l'atmosphère et l'océan dans la zone tropicale qui donne naissance au phénomène *El Niño*.

Pendant les épisodes *El Niño*, les eaux chaudes de la partie tropicale du Pacifique Ouest se déplacent vers l'est à mesure que les alizés faiblissent. Ce déplacement modifie la configuration des tempêtes de pluie tropicales, ce qui contribue à affaiblir encore les alizés, et accentue les variations de la température de la mer. Le niveau de la mer baisse à l'ouest, mais peut s'élèver de 25 cm à l'est par suite de l'afflux d'eaux chaudes le long de l'équateur. Toutefois, les variations de la circulation atmosphérique, loin de se limiter aux régions tropicales, s'étendent à l'ensemble du globe et exercent leur influence sur les courants-jets et les trajectoires des tempêtes aux latitudes moyennes. Des configurations à peu près inverses caractérisent les épisodes *La Niña*.

Les changements liés au phénomène ENSO entraînent, dans le monde entier, de fortes variations du temps et du climat d'une année à l'autre. Ces variations ont souvent de profondes répercussions sur les sociétés humaines en raison des sécheresses, des inondations, des vagues de chaleur et autres changements qui peuvent grandement perturber l'agriculture, les pêches, l'environnement, la santé, la demande d'énergie ou la qualité de l'air et augmenter les risques d'incendie. Le phénomène ENSO joue également un rôle de premier plan dans la modulation des échanges de CO₂ avec l'atmosphère. Ainsi, la remontée habituelle des eaux froides riches en substances nutritives et en CO₂ dans la partie tropicale du Pacifique cesse pendant les épisodes *El Niño*.

D'après GIEC, 2001

La fonction de distribution normale ou Gaussienne

La distribution normale est une distribution théorique symétrique utilisée pour les variables continues (THOMPSON, 1999). La fonction de densité de probabilité cumulée est caractérisée par une symétrie des valeurs par rapport à la moyenne : 50% de la surface sous la courbe de la fonction de densité de probabilité cumulée est inférieure à la moyenne et 50% de cette surface est supérieure à la moyenne (fig. 1). Elle est définie par l'équation suivante :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_X} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu_X}{\sigma_X}\right]^2}$$

μ = moyenne

σ = écart type

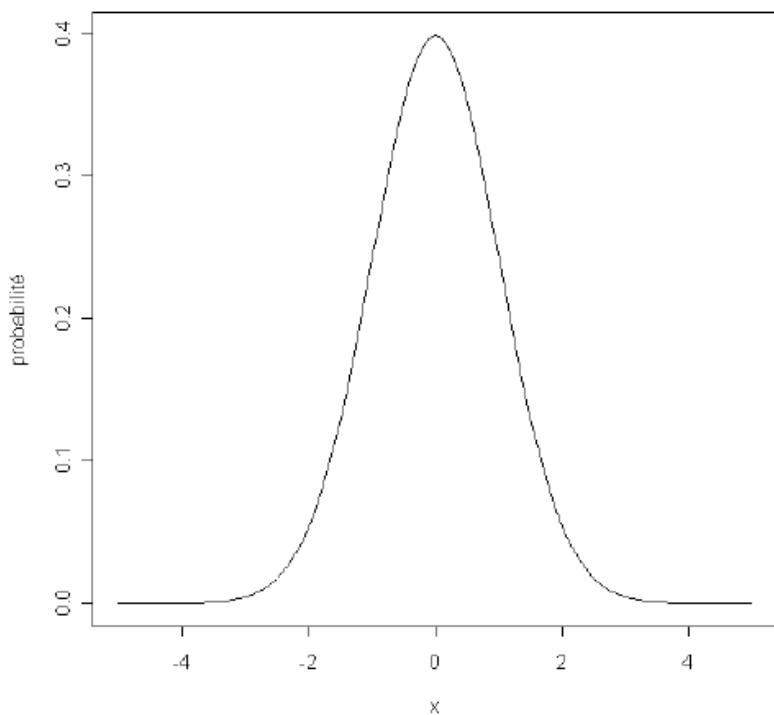


Figure 1 : Représentation graphique de la fonction de densité de probabilité cumulée de la loi normale

La densité de probabilité est plus grande à proximité de la moyenne que vers l'extrémité de la distribution qui s'étend de $-\infty$ à $+\infty$. Ainsi, la probabilité d'obtenir une valeur proche de la moyenne est plus élevée que celle d'obtenir une valeur qui s'en éloigne. La distribution normale est utilisée pour assigner des probabilités à des données dont la distribution s'approche de la loi normale. La fonction densité de probabilité est ajustée par rapport à la moyenne et à l'écart type des données. Une normalisation, standardisation ou transformation z est nécessaire afin de procéder aux calculs de probabilité des données qui suivent une distribution normale. Cette transformation se fait à partir de la formule suivante :

$$z = \frac{(xi - \bar{x})}{\sigma}$$

x_i = observation

\bar{x} = moyenne

σ = écart type

La transformation z standardise la largeur de la distribution normale en lui affectant une moyenne égale à 0 et un écart-type égal à 1 : elle est centrée et réduite. La fonction de distribution cumulée $F(z)$ pour la variable transformée est ainsi définie :

$$F(z) = \int_{-\infty}^z f(u) du$$

Le tableau 1 donne les valeurs de la fonction de densité de probabilité standardisée, entre $-\infty$ et z .

Tableau 1 : Probabilité cumulée pour une distribution normale

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,10	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,20	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,30	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,40	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,50	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,60	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,70	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,80	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,90	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,00	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,10	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,20	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,30	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,40	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,50	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,60	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,70	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,80	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,90	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,00	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,10	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,20	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,30	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,40	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,50	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,60	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,70	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,80	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,90	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,00	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,10	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,20	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,30	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,40	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998	

Liste des figures

- Figure 1 : Localisation et présentation de la zone d'étude
Figure 2 : Les différents sous bassins du fleuve Sénégal
Figure 3 : Hypsométrie et cadre morphologique du bassin versant du fleuve Sénégal
Figure 4 : Coupes géologiques à travers les bassins des fleuves Sénégal et Gambie
Figure 5 : Découpage du bassin du fleuve Sénégal
Figure 6 : Hydrographie du bassin du fleuve Sénégal
Figure 7 : Réseau hydrographique dans le delta du fleuve Sénégal
Figure 8 : Les marigots dans le parc national du Djoudj
Figure 9 : Le système hydrologique du lac de Guiers
Figure 10 : Croquis géomorphologique et géologique du delta du fleuve Sénégal
Figure 11 : Les transgressions marines depuis le Secondaire au Sénégal et dans le sud-ouest de la Mauritanie
Figure 12 : Evolution de la basse vallée du Sénégal depuis la dernière transgression
Figure 13 : Morphologie d'un delta
Figure 14 : Cartographie de l'épaisseur (m) de la nappe alluviale du delta du fleuve Sénégal
Figure 15 : Cartographie de la conductivité (cm/s) de la nappe alluviale du delta du fleuve Sénégal
Figure 16 : Répartition des sols en fonction de la topographie
Figure 17 : Les différents types de sols du delta et de la basse vallée en fonction de la topographie et de la durée de submersion
Figure 18 : Représentation schématique de la végétation dans le delta du fleuve Sénégal
Figure 19 : Steppe à halophytes dans la zone de Ross-Béthio
Figure 20 : Quelques aires protégées dans le delta du fleuve Sénégal
Figure 21 : Les principaux habitats de la faune aviaire dans le delta du fleuve Sénégal
Figure 22 : Découpage administratif de la région de Saint-Louis
Figure 23 : Contexte géographique de la commune de Saint-Louis et répartition de la population
Figure 24 : Les différents domaines climatiques du bassin du fleuve Sénégal
Figure 25 : Les stations de collecte de données climatiques utilisées
Figure 26 : Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de Saint-Louis (1892-2004)
Figure 27 : Variation interannuelle de la pluviométrie à la station de Saint-Louis entre 1892 et 2004
Figure 28 : Ecart de la pluviométrie totale annuelle (1892-2004) à la normale 1961-1990 à Saint-Louis
Figure 29 : Variations spatiales de la pluviométrie dans le delta du fleuve Sénégal (1962-2000)
Figure 30 : Pluviométrie moyenne mensuelle aux stations de Bakel et de Kédougou (1950-2004)
Figure 31 : Ecart de la pluviométrie totale annuelle à la normale 1961-1990 à Kédougou
Figure 32 : Pluviométrie moyenne mensuelle (mm) à la station de Labé (1923-1993)
Figure 33 : Variations de la température moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal
Figure 34 : Variations de la température maximale moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal
Figure 35 : Variations de la température minimale moyenne mensuelle dans le bassin du fleuve Sénégal
Figure 36 : Variations saisonnières de l'insolation dans le bassin du fleuve Sénégal
Figure 37 : Déplacements du Front Intertropical au cours de l'année
Figure 38 : Variations saisonnières des quantités d'eau évaporées dans le bassin du fleuve Sénégal
Figure 39 : Circulation océanique de surface dans l'Atlantique tropical Est
Figure 40 : Transformation des vagues sur la plage et courants induits par le déferlement
Figure 41 : Caractéristiques des mers du vent au large des côtes sénégalaises
Figure 42 : Température de surface en mer et dans le fleuve à Saint-Louis, en 1989-1990
Figure 43 : Variations saisonnières du niveau marin à Dakar entre 1959 et 1961
Figure 44 : Variations saisonnières du niveau marin sur les côtes sénégalaises
Figure 45 : Variations interannuelles du niveau marin sur différentes stations de l'Atlantique tropical Est
Figure 46 : Quantités de matières en suspension transportées en fonction du volume d'eau écoulé à Diama entre 1989 et 1993
Figure 47 : Le système d'alimentation en eau du lac de Guiers dans les conditions hydrologiques naturelles
Figure 48 : Le système fleuve-lac de Guiers-réseau de vallées fossiles du Ferlo
Figure 49 : Le système d'alimentation en eau de la cuvette du Djoudj du Djoudj dans les conditions naturelles
Figure 50 : Le système d'alimentation en eau de la cuvette du Ndial dans les conditions hydrologiques naturelles
Figure 51 : Esquisse du fonctionnement du système hydrologique naturel du delta du fleuve Sénégal
Figure 52 : Evolution des techniques d'aménagement hydro-agricoles dans le bassin du fleuve Sénégal
Figure 53 : Modification du cours de la Taouey, ouvrages sur la jonction fleuve-lac
Figure 54 : Localisation des barrages de Diama et de Manantali
Figure 55 : Localisation des lacs de Guiers, de R'Kiz et de la dépression de l'Aftout es Sahéli

- Figure 56 : Réduction des zones d'inondation naturelle par la digue de la rive gauche
- Figure 57 : L'alimentation en eau de la cuvette du Djoudj dans les conditions d'artificialisation du système hydrologique
- Figure 58 : L'alimentation en eau de la cuvette du Ndiael dans les conditions d'artificialisation du système hydrologique
- Figure 59 : Esquisse du fonctionnement du système hydrologique du delta du fleuve Sénégal dans les conditions d'artificialisation du système hydrologique
- Figure 60 : Stations hydrologiques utilisées
- Figure 61 : Débit moyen mensuel à Bakel (1904-2004)
- Figure 62 : Variations du débit moyen annuel à Bakel (1904-2004)
- Figure 63 : Variations du débit moyen annuel à Dagana (1903-1989)
- Figure 64 : Variations du débit moyen mensuel autour du module à Dagana (1903-1989)
- Figure 65 : Variations de la cote moyenne annuelle à Dagana (1903-2004)
- Figure 66 : Variations de la cote moyenne journalière à Dagana
- Figure 67 : Variations des cotes moyennes annuelles à Saint-Louis (1964-2003)
- Figure 68 : Variations des cotes maximales annuelles à Saint-Louis par rapport à la cote d'alerte
- Figure 69 : Tendance des cotes maximales annuelles à Saint-Louis (1964-2003)
- Figure 70 : Variations de la cote moyenne journalière à Saint-Louis dans les années 1970-1980
- Figure 71 : Variations de la cote moyenne journalière à Saint-Louis dans les années 1990-2000
- Figure 72 : Migrations de l'embouchure du fleuve Sénégal dans le temps
- Figure 73 : Variations de la cote moyenne mensuelle à Dagana
- Figure 74 : Variations du niveau moyen minimal du fleuve à Dagana (1903-2004)
- Figure 75 : Variations des cotes moyennes journalières à Dagana avant et après la mise en place des barrages
- Figure 76 : Variations de la cote moyenne mensuelle à Saint-Louis
- Figure 77 : Comparaison des cotes moyennes journalières avant et après la mise en place des barrages
- Figure 78 : Occupation/utilisation du sol dans la zone d'étude (Landsat ETM+, octobre 1999)
- Figure 79 : Représentation graphique des superficies d'occupation/utilisation du sol en 1999 et 2002
- Figure 80 : Vue détaillée des zones d'inondation autour de la ville de Saint-Louis
- Figure 81 : Occupation/utilisation du sol dans la zone d'étude (Landsat ETM+, juin 2002)
- Figure 82 : Elaboration des modèles climatiques au cours des 25 dernières années, montrant comment les différentes composantes ont d'abord été modélisées séparément avant d'être couplées dans des modèles globaux
- Figure 83 : Elévation moyenne mondiale du niveau de la mer, de 1990 à 2100 pour les scénarios du SRES
- Figure 84 : Histogramme de fréquence des hauteurs maximales de crue à Saint-Louis
- Figure 85 : Histogramme de fréquence relative des cotes maximales à Saint-Louis
- Figure 86 : Histogramme de fréquence cumulée des cotes maximales à Saint-Louis
- Figure 87 : Contexte géographique de la commune de Saint-Louis et répartition de la population
- Figure 88 : Modèle Numérique de Terrain (MNT) sur la ville de Saint-Louis et sa proche banlieue
- Figure 89 : Mesures de protection contre les inondations à Saint-Louis
- Figure 90 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de crue à l'état actuel sans les ouvrages de protection
- Figure 91 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le scénario actuel
- Figure 92 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de crue à l'état actuel compte tenu des ouvrages de protection
- Figure 93 : Superficie inondée et épargnée par quartier dans le scénario actuel compte tenu des ouvrages de protection
- Figure 94 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas sans les ouvrages de protection
- Figure 95 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le pronostic bas
- Figure 96 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection
- Figure 97 : Superficie inondée et épargnée par quartier dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection
- Figure 98 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen sans les ouvrages de protection
- Figure 99 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le pronostic moyen
- Figure 100 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection
- Figure 101 : Superficie inondée et épargnée par quartier dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection

- Figure 102 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé sans les ouvrages de protection
- Figure 103 : Superficie inondée et épargnée des quartiers de la commune de Saint-Louis dans le pronostic élevé
- Figure 104 : Zones inondées dans la commune de Saint-Louis par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé compte tenu des ouvrages de protection
- Figure 105 : Sensibilité à la montée des eaux des différents quartiers de la commune de Saint-Louis
- Figure 106 : Répartition des équipements dans les différents quartiers de la commune de Saint-Louis
- Figure 107 : Vulnérabilité des différents groupes de quartier de la commune de Saint-Louis à la montée des eaux

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Nomenclature et chronologie des dépôts du Quaternaire récent dans le delta et la vallée du Fleuve Sénégal
- Tableau 2 : Statut de quelques aires protégées dans le delta du fleuve Sénégal
- Tableau 3 : Effectifs comparés des populations d'oiseaux d'eau dans le delta du fleuve Sénégal et en Afrique de l'ouest
- Tableau 4 : Les mammifères et reptiles dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal
- Tableau 5 : Densité de population dans la zone d'étude
- Tableau 6 : Répartition de la population dans les communes et communautés rurales
- Tableau 7 : Répartition de la population de la commune de Saint-Louis par quartier
- Tableau 8 : Evolution des cultures de décrue
- Tableau 9 : Cheptel de la région de Saint-Louis
- Tableau 10 : Synthèse des données utilisées
- Tableau 11 : Caractéristiques en eau profonde des houles longues au large des côtes sénégalaises
- Tableau 12 : Variations saisonnières du niveau marin à Dakar (1943-1965)
- Tableau 13 : Elévation moyenne du niveau marin sur trois marégraphes situés sur l'Atlantique tropical Est
- Tableau 14 : Temps de propagation de la marée dans le delta du fleuve Sénégal
- Tableau 15 : Bilan des flux de matières en suspension à l'embouchure du Sénégal
- Tableau 16 : Amplitude des fluctuations de la nappe en fonction de différents paramètres
- Tableau 17 : Volume de recharge de la nappe en fonction de la superficie des cuvettes pour une année hydrologique humide
- Tableau 18 : Volumes d'eau écoulés à travers les ouvrages du Djoudj et du Crocodile en 1991
- Tableau 19 : Débit moyen mensuel à Bakel sur la période 1904-2004
- Tableau 20 : Ecoulement moyen annuel à la station de Bakel en fonction de différentes phases hydrologiques
- Tableau 21 : Ecoulement moyen annuel à la station de Dagana en fonction de différentes phases hydrologiques
- Tableau 22 : Débit moyen mensuel à Dagana sur la période 1903-1989
- Tableau 23 : Rythme d'évacuation des eaux de crue dans les années 1970-1980
- Tableau 24 : Rythme d'évacuation des eaux de crue dans les années 1990-2000
- Tableau 25 : Synthèse des valeurs des cotes moyennes à Dagana et Saint-Louis pour différentes périodes
- Tableau 26 : Cote moyenne mensuelle à Dagana (1903-1904)
- Tableau 27 : Cote moyenne mensuelle à Saint-Louis (1964-2003)
- Tableau 28 : Quelques caractéristiques des images satellitaires utilisées
- Tableau 29 : Superficie des différentes classes d'occupation/utilisation du sol dans le delta du fleuve Sénégal en 1999 (hautes eaux) et 2002 (basses eaux)
- Tableau 30 : Hauteurs d'eau maximale à Saint-Louis (1964-2003)
- Tableau 31 : Valeur critique de D pour le test de Kolmogorov-Smirnov
- Tableau 32 : Test de Kolmogorov-Smirnov à $\alpha = 0,05$
- Tableau 33 : Fréquence relative et fréquence cumulée des hauteurs maximales de crue à Saint-Louis
- Tableau 34 : Probabilité cumulée pour une distribution normale
- Tableau 35 : Hauteurs d'eau actuelles et prévues dans l'estuaire du Sénégal
- Tableau 36 : Répartition des foyers sinistrés par les eaux de pluies en Août 1998
- Tableau 37 : Statistiques élémentaires du MNT de la commune de Saint-Louis
- Tableau 38 : Taux de raccordement de la population par quartier en 2005
- Tableau 39 : Type et coût des travaux prévus par quartier
- Tableau 40 : Type et coût des travaux prioritaires prévus par quartier
- Tableau 41 : Taux de raccordement prévu après les travaux
- Tableau 42 : Hauteurs de crue et hauteurs moyennes d'inondation dans les différents scénarios
- Tableau 43 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de crue dans le scénario actuel

- Tableau 44 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de crue dans le scénario actuel sans les ouvrages de protection
- Tableau 45 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de crue dans le scénario actuel compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 46 : Nombre de personnes sinistrées par les différentes crues dans le scénario actuel compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 47 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas sans les ouvrages de protection
- Tableau 48 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas sans les ouvrages de protection
- Tableau 49 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 50 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic bas compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 51 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen sans les ouvrages de protection
- Tableau 52 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen sans les ouvrages de protection
- Tableau 53 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 54 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic moyen compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 55 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé sans les ouvrages de protection
- Tableau 56 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé sans les ouvrages de protection
- Tableau 57 : Superficie inondée par quartier par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 58 : Nombre de personnes sinistrées par les différents niveaux de montée des eaux dans le pronostic élevé compte tenu des ouvrages de protection
- Tableau 59 : Nombre de sinistrés par secteur pour différents niveaux de montée des eaux et dans les différents scénarios, avec et sans les ouvrages de protection

Liste des photos

- Photo 1 : Vue du barrage de Manantali
- Photo 2 : Vue du barrage de Diama à partir de l'amont du fleuve
- Photo 3 : Village de Keur Barka abandonné par ses habitants lors de la crue de 1999
- Photo 4 : Stagnation prolongée des eaux de pluies et remontée de la nappe phréatique ; quartier de Khor (nord-est de Saint-Louis)
- Photo 5 : Occupation des zones basses dans le quartier de Médina Course à Saint-Louis
- Photo 6 : Rejet des eaux pluviales stagnantes à partir de la station de pompage réhabilitée de Diawlingue (Sor Nord)
- Photo 7 : Vue du canal de délestage ouvert dans la nuit du 03 au 04/10/2003
- Photo 8 : Accentuation de l'amplitude de la marée ; vue du fleuve à hauteur du pont Faidherbe après l'ouverture du canal de délestage
- Photo 9 : Vue d'une partie du quartier de Khor édifié sur d'anciennes vasières
- Photo 10 : Occupation d'anciennes vasières protégées par la petite digue dans le quartier de Darou
- Photo 11 : Vue d'une partie du site de la nouvelle ville de Ngallèle

Sigles

ASECNA :	Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne
BP :	Before Present (Present = 1950)
CILSS :	Comité Inter-Etats de lutte contre la sécheresse au Sahel
CSE :	Centre de Suivi Ecologique pour la gestion des ressources naturelles
CSS :	Compagnie Sucrière Sénégalaise
COSEC :	Conseil Sénégalais des Chargeurs
DGPRE :	Direction pour la Gestion et la Planification des Ressources en Eau
DN :	Dakar-Niger
DUA :	Direction de l'Urbanisme et de l'Architecture
DPS :	Direction de la Prévision et de la Statistique
DEFCCS :	Direction des Eaux, Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols
DRDR :	Direction du Développement Rural
ETM :	Enhanced Thematic Mapper
GIEC :	Groupe Intergouvernemental d'Experts pour les Changements climatiques
GESCAN :	Gestion des Catastrophes Naturelles
GWH :	Gigawatt/Heure
IGN :	Institut Géographique National
IRD :	Institut pour la Recherche et le Développement
MAS :	Mission d'Aménagement du Sénégal
MEFS :	Mission d'Etudes du Fleuve Sénégal
MNT :	Modèle Numérique de Terrain
MW :	MégaWatt
OAD :	Organisation pour l'Aménagement du Delta
OAV :	Organisation pour l'Aménagement de la Vallée
OERS :	Organisation des Etats Riverains du Sénégal
OMM :	Organisation Météorologique Mondiale
OMVS :	Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
ONAS :	Office National de l'Assainissement du Sénégal
POGR :	Programme d'Optimisation et de gestion des Réservoirs
SAED :	Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du Fleuve Sénégal
SDRS :	Société de Développement Rizicole du Delta
SOCAS :	Société de Conserves Alimentaires du Sénégal
SOGED :	Société de Gestion et d'Exploitation de Diama
SONEES :	Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal
SNTI :	Société Nationale de Tomates Industrielles
UHEA :	Union Hydro-Electrique Africaine
UICN :	Union Mondiale pour la Nature
USAID :	Fonds d'Aide pour le Développement International