

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

Un Peuple - Un But - Une Foi



MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ÉTABLISSEMENTS CLASSES

PROJET D'APPUI AU PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SÉNÉGAL

PNA-FEM

PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SÉNÉGAL

ÉTUDE DE VULNÉRABILITÉ DU SECTEUR DES INONDATIONS FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET OPTIONS D'ADAPTATION



2023





PNA-FEM

PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SENEGAL

Sigles et abréviations

ANACIM	Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie
ANAT	Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire
ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
CC	Changement Climatique
CCLM	COSMO Community Limited-area Modeling
CDN	Contribution Nationale déterminée
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5
CMIP6	Coupled Model Intercomparison Project, Phase 6
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CORE	Coordinated Regional Experiments
CSE	Centre de Suivi Ecologique
CS-RRC	Cadre de Sendai sur la Réduction des Risques de Catastrophes
CT	Collectivités Territoriales
DEEC	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés
ENM	Élévation du Niveau Marin
ERA5	European Re-Analysis, 5th Generation
FEM	Fonds pour l'Environnement Mondial
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat
HadGEM2-ES	Hadley Global Environment Model 2 – Earth System
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
KIT	Karlsruhe Institute of Technology
MCG	Modèle Climatique Global
MCR	Modèle Climatique Régional
MCRs	Models Climatiques Régionaux
MEDD	Ministère de l'environnement et du développement durable
MPI-ESM	Max-Planck Institute – Earth System Model
MPI-M	Max-Planck Institute for Meteorology
ODD	Objectifs de Développement Durable
ONAS	Office National de l'Assainissement du Sénégal
PNA	Programme National d'Adaptation
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PSE	Plan Sénégal Emergent
RCA	Rossby Center Regional Climate Model
RCP	Representative Concentration Pathways
REMO	Regional Model
RGPHAE	Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage
UCAD	Université Cheikh Anta Diop
UEMOA	Union économique et monétaire ouest-africaine
UKMOHC	United Kingdom Met Office – Hadley Centre
VDN	Voie de Dégagement Nord
ZAC	Zones d'Aménagement Concerté

Table des matières

Sigles et abréviations	3
Table des matières	4
Liste des illustrations	5
Introduction	6
1. Présentation de la zone d'étude	7
1.1. Localisation	7
1.2. Aperçu biophysique.....	7
1.3. Aperçu socioéconomique.....	8
2. Méthodologie	9
2.1. Rappel du cadre conceptuel de l'analyse de vulnérabilité	9
2.2. Collecte des données et revue documentaire.....	10
2.3. Traitement des données	10
2.3.1. Traitement des données climatiques actuelles	10
2.3.2. Traitement des données climatiques futures.....	10
2.3.3. Traitement cartographique	11
2.4. Méthode d'analyse de la vulnérabilité	11
3. Risques climatiques et vulnérabilité actuelle et future	12
3.1. Les inondations au Sénégal, un phénomène sous plusieurs formes.....	12
3.1.1. Inondations liées au ruissellement	12
3.1.2. Inondations liées aux crues.....	12
3.1.3. Inondation marine.....	13
3.1.4. Remontée de nappe.....	15
3.2. Analyse de la vulnérabilité actuelle	16
3.2.1. Exposition.....	17
3.2.1.1. <i>Analyse des précipitations</i>	17
3.2.1.2. <i>Une pluviométrie variable</i>	17
3.2.1.3. <i>Une pluviométrie en hausse</i>	20
3.2.1.4. <i>Caractéristiques des pluies journalières</i>	20
3.2.1.5. <i>Intensité des pluies au Sénégal</i>	21
3.2.1.6. <i>Indice Rx5days</i>	24
3.2.1.7. <i>Une saison pluviométrique au nombre de jours de pluie réduit</i>	26
3.2.2. Analyse des facteurs aggravants les phénomènes d'inondation	27
3.2.2.1. <i>Environnement biophysique</i>	27
3.2.2.2. <i>Environnement socio-économique</i>	34
3.2.2.2.1. <i>Évolution de la population</i>	34
3.2.2.2.2. <i>Densité démographique</i>	35
3.2.2.2.3. <i>Occupation du sol</i>	35
3.2.2.2.4. <i>Les réponses aux problèmes des inondations</i>	39
3.2.2.2.5. <i>Analyse du cadre institutionnelle</i>	42
3.2.2.2.6. <i>Dynamique économique</i>	45
3.2.3. Les inondations, un véritable goulot d'étranglement.....	46
3.2.4. Évaluation de la vulnérabilité actuelle	47
3.3. Analyse de la vulnérabilité future	50
3.3.1. Risques climatiques futurs	51
3.3.2. La dynamique socioéconomique future.....	54
3.3.3. Impacts futurs.....	56
4. Mesures d'adaptation	59
Conclusions	60
Annexe 1 : Bibliographie	61

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Tableau 1 : Typologie des inondations selon les régions	16
Tableau 2 : Pluies journalières (mm) en fonction de différentes périodes de retour	21
Tableau 3 : Altitude Moyenne par région	31
Tableau 4 : Pente Moyenne par région	32
Tableau 5 : Caractéristiques des principaux types de végétation au Sénégal	34
Tableau 6 : Situation des quartiers irréguliers dans les capitales régionales du Sénégal en 2004	37
Tableau 7 : Liste des réalisations dans le secteur des eaux usées au Sénégal	40
Tableau 8 : Liste des réalisations dans le secteur des eaux pluviales au Sénégal	41
Tableau 9 : Cadre consultatif	42
Tableau 10 : Cadre exécutif	43
Tableau 11 : Estimation des pertes et dommages causés par les inondations	46
Tableau 12 : Impacts futurs	57
Tableau 13 : Mesures d'adaptation	59

Liste des figures

Figure 1 : Indice standardisée des précipitations moyennes	19
Figure 2 : Courbes IDF des stations de Linguère et de Matam	22
Figure 3 : Courbes IDF de la station de Dakar-Yoff	22
Figure 4 : Courbes IDF des stations de Kaolack et de Diourbel	23
Figure 5 : Courbes IDF des stations de Kédougou et de Tambacounda	23
Figure 6 : Courbes IDF des stations de Kolda et de Ziguinchor	24
Figure 7 : Indice de pluies consécutives (Rx5days)	25
Figure 8 : Évolution de la population et Ratio d'hectare par sénégalais	35
Figure 9 : Rapport Urbain – Rural dans les régions du Sénégal en 2018	36
Figure 10 : Taux de pauvreté par région	45
Figure 11 : Evolution de la population du Sénégal de 2013 à 2063	55
Figure 12 : Évolution du taux d'urbanisation du Sénégal de 1060 à 2063	55

Liste des cartes

Carte 1 : Localisation du Sénégal	7
Carte 2 : Pointage des sites inondés (en jaune les données de la Brigade des Sapeurs-Pompiers et Rouge les données de la presse)	11
Carte 3 : Sites inondés	12
Carte 4 : carte des estuaires sénégalais	15
Carte 5 : Type d'inondation en fonction des sites	16
Carte 6 : Localisation des stations considérées dans cette étude	17
Carte 7 : Cartographie des isohyètes	20
Carte 8 : Répartition spatiale des cumuls max 5jours de pluie en Aout 2005	26
Carte 9 : Réseau hydrographique et localités du Sénégal	27
Carte 10 : Illustration de l'installation des localités sur les cours d'eau au niveau du bassin de la Sandougou	28
Carte 11 : Hydrogéologie du Sénégal	30
Carte 12 : Les zones les plus basses du littoral sénégalais	31
Carte 13 : Les sols du Sénégal	33
Carte 14 : Répartition de la végétation du Sénégal	34
Carte 15 : Densité par région du Sénégal	36
Carte 16 : Évolution du semis urbain au Sénégal entre 1904 et 2017	37
Carte 17 : Occupation du bâti dans la région de Dakar	38
Carte 18 : Vulnérabilité aux phénomènes d'inondation au Sénégal	49
Carte 19 : Carte des 29 villes/localités identifiées comme les plus exposées à l'échelle du territoire sénégalais	50
Carte 20 : Changement (Futur moins Présent) sur la Précipitation moyenne saisonnière en JJA au Sénégal pour le scénario RCP4.5 (Panel gauche) et le scénario RCP8.5 (Panel droit) pour le moyen terme (2031-2060: Panel en haut) et le long terme (2071-2100: Panel en bas). Les changements sont exprimés en pourcentage des valeurs moyennes de la période 1981-2010	51
Carte 21 : Changement (Futur moins Présent) sur la Précipitation moyenne saisonnière en SON au Sénégal pour le scénario RCP4.5 (Panel gauche) et le scénario RCP8.5 (Panel droit) pour le moyen terme (2031-2060: Panel en haut) et le long terme (2071-2100: Panel en bas). Les changements sont exprimés en pourcentage des valeurs moyennes de la période 1981-2010	52
Carte 22 : Variabilité spatiale des indices CWD et CDD selon RCP8.5	52
Carte 23 : Variabilité spatiale des indices CWD et CDD selon RCP8.5	53
Carte 24 : Hiérarchie fonctionnelle des établissements humains en 2035	56

Introduction

Selon la Contribution Déterminée au niveau National (CDN) du Sénégal, les tendances futures pour la pluviométrie suivant les scénarios RCP 4.5 et 8.5, seront généralement à la baisse vers l'horizon 2035 avec une moyenne allant de 16 mm à 89 mm dans les différentes zones du pays tandis que pour les températures, il est attendu une variation moyenne comprise entre 1,17°C et 1,41°C pour ce même horizon.

Ces changements du climat auront sans doute des conséquences sans commune mesure pour le milieu biophysique et socioéconomique et particulièrement pour l'agriculture, la santé, les infrastructures et la gestion des risques de catastrophe axée sur les inondations. Ces secteurs occupent une place importante dans l'économie du pays et leur sensibilité aux impacts des changements climatiques risque de remettre en question les objectifs du Plan Sénégal Emergent. Les changements climatiques sont caractérisés par des inondations, des sécheresses-canicules, la réduction des volumes des eaux de surface, la réduction des potentialités productives des écosystèmes, la diminution des terres arables due à leur dégradation etc.

Ainsi, tous les secteurs de la vie socioéconomique seront affectés par les changements climatiques. Toutefois, ces impacts restent encore faiblement documentés pour évaluer les coûts socioéconomiques et environnementaux qui en résulteraient. Les impacts des changements climatiques sont appréciés selon les jugements d'experts basés, soit sur l'observation in situ, soit sur l'exploitation des données générales fournies par le GIEC.

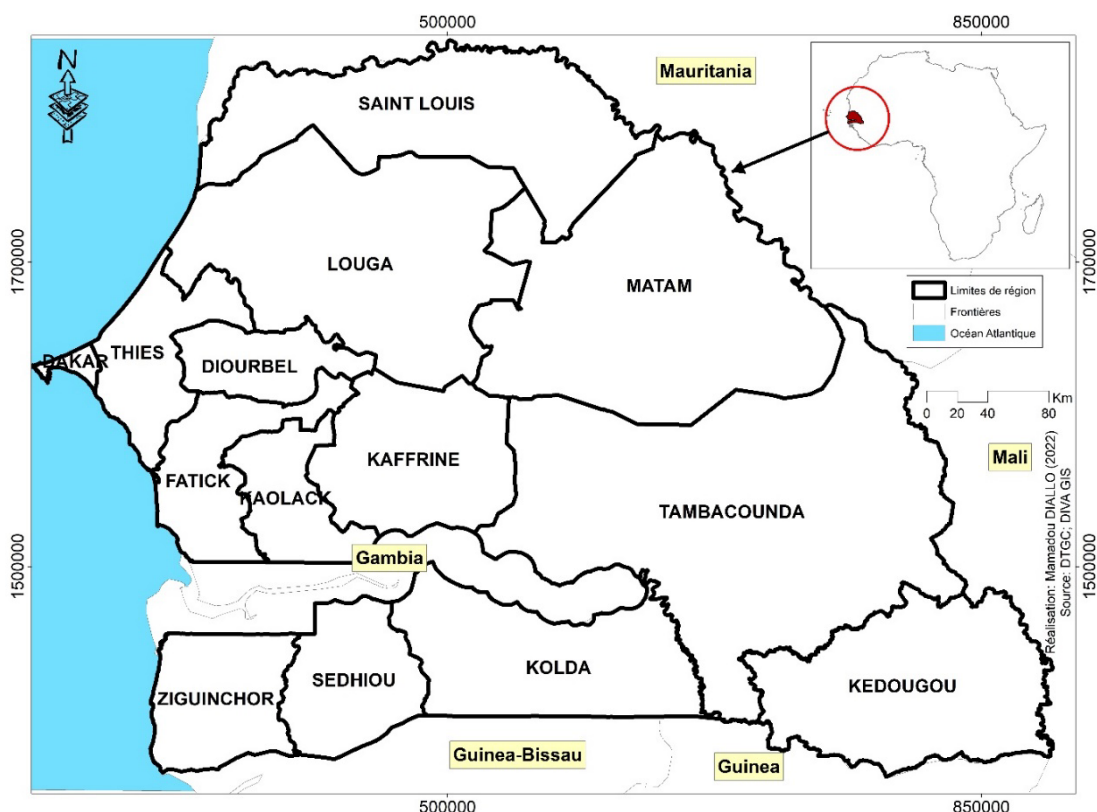
Ainsi, pour une meilleure connaissance des changements climatiques et notamment des impacts et des vulnérabilités auxquels le pays sera confronté dans l'avenir pour les secteurs de l'agriculture, des infrastructures, de la santé et des inondations, le Gouvernement du Sénégal a sollicité l'appui du Fonds pour l'Environnement Mondial et le Programme des Nations Unies pour le Développement en vue du financement du projet d'appui au Plan National d'Adaptation du Sénégal.

La présente étude est une partie du travail d'évaluation multisectorielle de la vulnérabilité au niveau du Sénégal. Elle contribuera au développement du PNA du Sénégal, qui sera la feuille de route nationale qui encadre les politiques et projets en matière de changement climatique relativement à la mise en œuvre de la contribution déterminée au niveau national. L'objectif est d'analyser la vulnérabilité actuelle et future des effets et impacts des changements climatiques dans le secteur de la gestion des risques de catastrophe axée sur les inondations aux horizons 2030, 2040 et 2050.

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Localisation

Situé à l'extrémité ouest du continent africain, entre 12°20' et 16°40' de latitude nord et 11°20' et 17°30' de longitude ouest, le Sénégal couvre une superficie de 196 712 km². Il est limité au nord par la Mauritanie, à l'est par le Mali, au sud par la République de Guinée-Bissau et la République de Guinée. La République de Gambie dessine une enclave de 300 km de long sur 20km de large.



Carte 1 : Localisation du Sénégal

1.2. Aperçu biophysique

Le Sénégal est un pays de l'Afrique subsaharienne, avec un climat de type soudano-sahélien. Le climat est tropical au Sud et semi désertique au Nord. Il se caractérise par l'alternance d'une saison sèche de de mi-octobre à mi-juin et d'une saison humide et chaude de mi-juin à mi-octobre. La pluviométrie moyenne annuelle suit un gradient décroissant du Sud au Nord du pays. Elle passe de 1200 mm au Sud à 300 mm au Nord, avec des variations d'une année à l'autre. Trois principales zones de pluviométrie correspondant à trois domaines climatiques sont ainsi déterminées : une zone forestière au Sud, une savane arborée au centre et une zone semi-désertique au Nord¹.

Le Sénégal présente divers types de végétation avec des caractéristiques différentes et inégalement répartis sur le territoire national du fait du gradient climatique et des conditions topo-édaphiques². On distingue trois domaines phytogéographiques répartis comme suit du nord au sud : le domaine sahélien caractérisé par une végétation ouverte dominée par des ligneux et des graminées annuelles formant un tapis plus ou moins continu ; le domaine soudanien caractérisé par une végétation de type savane arborée à boisée à forêt sèche et un tapis herbacé dominé par des

¹ ANSD 2019

² MCTDAT/ANAT Plan National d'Aménagement et de Développement territorial (PNADT) Juin 2019

graminées vivaces ; le domaine guinéen caractérisé par une forêt semi-sèche dense et un sous-bois dense formé d'arbrisseaux sarmenteux, de lianes et d'herbes.

À côté de ces formations végétales caractérisant les domaines phytogéographiques, existent trois écosystèmes particuliers considérés comme des groupements azonaux :

- les forêts galeries le long des cours d'eau et dans le domaine guinéen ;
- les mangroves à *Avicennia africana* et *Rhizophora racemosa* sur les berges des fleuves et dans les estuaires et
- les « Niayes » qui sont un écosystème côtier le long de la Grande Côte.

Le Sénégal dispose d'importantes ressources en eau de surface et souterraine qui, en dépit de leur inégale répartition spatiale, permettent de compenser la variabilité interannuelle et spatiale des précipitations. Les principales ressources en eau de surface sont constituées par les eaux des Fleuves Sénégal (1770 km de long) et Gambie (1150 km de long), les cours d'eau de la Casamance et de la Kayanga et le Lac de Guiers. Les systèmes aquifères les plus remarquables correspondent aux principales formations géologiques. Il s'agit des systèmes aquifères, superficiels, intermédiaires, profonds et du socle³.

1.3. Aperçu socioéconomique

Le Sénégal a présenté depuis quelques années, des performances macro-économiques globalement satisfaisantes, mais encore insuffisantes pour faire régresser la pauvreté. Le PIB du Sénégal en 2020 s'élevait à 24,9 milliards de dollars en termes courants. Le revenu national brut (RNB) par habitant était de \$1 430 en 2020, ce qui en fait un pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure⁴. L'économie du Sénégal est portée par trois secteurs clé :

- Le secteur primaire : il a une part significative dans l'économie sénégalaise. Il est le principal support de relance de la production nationale et de réalisation des stratégies de croissance économique. Le PIB du secteur primaire a enregistré une croissance moyenne annuelle de 9,2% sur la période 2015-2017, contre 4,2% sur celle 2007-2013. Cela témoigne le dynamisme du secteur qui voit sa part dans la structure du PIB augmenter en passant de 14,3% en 2015 à 16% en 2017.
- Le secteur secondaire : il constitue un pan important de l'économie sénégalaise. Il a contribué à hauteur de 22,6 % dans la formation du PIB en 2017. Sur la période 2007-2017, cette contribution s'est maintenue au-dessus de 20% avec un pic de 23,6% en 2015 et un minima de 20,1% en 2008. Le secteur secondaire intègre les activités industrielles, l'exploitation minière, l'artisanat, le BTP. C'est un secteur générateur d'emplois et participe à la création de richesses.
- Le secteur tertiaire : il est composé des sous-secteurs du commerce, des transports, du tourisme, des banques et services financiers et de l'économie numérique. L'amélioration progressive de l'environnement des affaires, la position géostratégique du Sénégal et sa stabilité politique, les atouts touristiques et les avancées technologiques dans le domaine des TIC font que le secteur tertiaire devient de plus en plus important dans l'économie nationale. Sur la période 2007-2017, sa contribution moyenne à la formation du PIB national est relativement stable, autour de 46,7%⁵.

³ CSE 2018

⁴ <https://www.banquemondiale.org/fr/country/senegal/overview>

⁵ DGPEE, 2019

2. Méthodologie

2.1. Rappel du cadre conceptuel de l'analyse de vulnérabilité

La vulnérabilité est un concept qui traduit l'interaction complexe de plusieurs facteurs qui vont déterminer la sensibilité d'un système aux effets du changement climatique. Il permet de mieux comprendre les relations de causes à effets entre les changements climatiques et leurs impacts sur les populations, l'économie et les écosystèmes. Selon le GIEC, la vulnérabilité exprime le « degré de sensibilité d'un système aux effets néfastes des changements climatiques », y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes, sans pouvoir y faire face. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements climatiques auquel un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation (Parry, 2007).

Quatre composantes clefs sont souvent distingués dans l'analyse de la vulnérabilité pour déterminer si, et dans quelle mesure, un système est susceptible d'être impacté par les changements climatiques : l'exposition, la sensibilité, l'impact potentiel et la capacité d'adaptation.

✓ *L'exposition*

Parmi tous les éléments qui contribuent à la vulnérabilité, l'exposition est la seule qui soit directement liée aux paramètres climatiques, c'est-à-dire au caractère, à l'ampleur et au rythme de l'évolution et de la variabilité climatique. Les facteurs d'exposition types comprennent les températures, les précipitations, l'évapotranspiration, le bilan hydrique climatique ainsi que les événements extrêmes, tels que les fortes pluies et les sécheresses météorologiques. Les variations de ces paramètres peuvent exercer un stress supplémentaire important sur ces systèmes (par ex. des épisodes de fortes pluies, des augmentations de température ou un déplacement du pic d'intensité de la pluie de juin à mai).

✓ *La sensibilité*

La sensibilité détermine le degré d'affectation positive ou négative d'un système par une exposition donnée au changement climatique. La sensibilité est typiquement façonnée par les caractéristiques de l'environnement naturel et/ou physique d'un système dont la topographie, la capacité de résistance des différents types de sol à l'érosion et le type de couverture du sol. Elle se réfère également aux activités humaines qui influent sur la composition physique d'un système tel que la pression démographique. Les facteurs sociaux tels que la densité de population ne devraient être considérés comme faisant partie de la sensibilité que dans le cas où ceux-ci contribuent directement à un impact spécifique de changement climatique.

✓ *L'impact potentiel*

La combinaison de l'exposition et de la sensibilité va déterminer l'impact potentiel du changement climatique. Par exemple des épisodes de forte pluie (exposition) conjugués avec des pentes abruptes et des sols sensibles à l'érosion (sensibilité) se traduiront par une érosion (impact potentiel). Les effets du changement climatique peuvent former une chaîne d'impact plus ou moins directs qui s'étend de la sphère biophysique à la sphère sociale. Dans de nombreux pays en développement, la dépendance directe à l'égard des ressources naturelles signifie que le lien entre les impacts biophysiques du changement climatique et les activités humaines et le bien-être des populations est particulièrement étroit.

✓ *La capacité d'adaptation*

Le GIEC définit la capacité d'adaptation comme « la capacité d'un système à s'adapter au changement climatique (y compris aux variations et aux extrêmes climatiques) afin d'atténuer des effets négatifs potentiels, d'exploiter les opportunités ou de faire face aux conséquences » (Parry et al. 2007). Par conséquent, il s'agit d'un ensemble de facteurs qui détermine la capacité d'un système

à générer et à mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Ces facteurs sont étroitement liés aux ressources disponibles inhérentes aux systèmes humains et à leurs caractéristiques et capacités socio-économiques, structurelles, institutionnelles et techniques.

2.2. Collecte des données et revue documentaire

La recherche documentaire nous a mené vers les plateformes en ligne ainsi que les structures en charge de l'eau et de l'assainissement au Sénégal. Ce sont principalement la DPGI (Direction de la Prévention et de la Gestion des Inondations), la DGPRE (Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eaux), la DA (Direction de l'Assainissement) l'ONAS (Office National de l'Assainissement du Sénégal), la DEEC (Direction de l'Environnement des Etablissements Classés), le CSE (Centre de Suivi Ecologique), les Universités etc. D'autres sources d'institutions diverses telles que l'ANSD (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie), l'ANAT (Agence Nationale d'Aménagement du territoire), l'ANACIM (Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie), l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), la Brigade Nationale des Sapeurs-Pompiers etc. Le phénomène ayant été vécu par tous ou presque, une enquête complémentaire à la collecte de donnée a été menée afin de diversifier les points de vue et les expériences.

2.3. Traitement des données

2.3.1. Traitement des données climatiques actuelles

Les données climatiques actuelles ont été traitées avec le logiciel RClimDex (1.0). Il est conçu pour calculer les indices des extrêmes climatiques. Il calcule les 27 indices de base recommandés par l'équipe d'experts CCI/CLIVAR pour la surveillance et les indices de détection des changements climatiques (ETCCDMI) ainsi que d'autres indices de température et de précipitation avec des seuils définis par l'utilisateur. Les 27 indices de base comprennent presque tous les indices calculés par ClimDex (version 1.3). Cette version de RClimDex a été développée sous R 1.84.

L'un des principaux objectifs de la construction d'indices d'extrêmes climatiques est de les utiliser pour des études de surveillance et de détection du changement climatique. Cela exige que les indices soient homogénéisés.

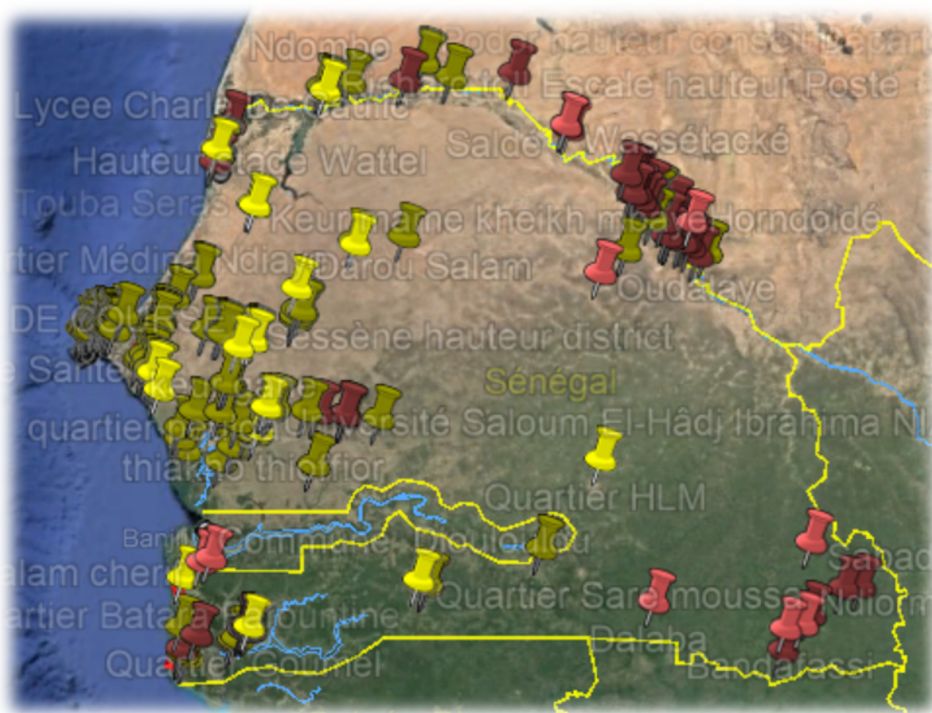
2.3.2. Traitement des données climatiques futures

Dans la présente étude, CORDEX a été choisi au détriment de CMIP5, CMIP6 et CORDEX-CORE grâce à sa haute résolution et la disponibilité des différents scénarios de forçage demandés par le PNA-FEM (RCP4.5 et RCP8.5). En effet, au Sénégal à cause des spécificités physiques du terrain (topographie, utilisation des terres, gradient de végétation, etc.) et des phénomènes de forçage régional comme la mousson Ouest Africaine, il est plus approprié d'utiliser des MCRs pour l'étude du changement climatique et des risques associés (Sylla et al. 2015; Sylla 2018).

L'objectif de CORDEX est d'avoir un ensemble de MCRs de base désagrégant les projections d'un ensemble de MCGs afin de soutenir les évaluations régionales pour le 6^{ème} rapport du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC). Ainsi près de 10 MCRs ont désagrégé un ensemble de MCGs à une résolution de 50 Km dans tous les domaines de CORDEX y compris en Afrique pour la période allant de 1979 à 2100.

2.3.3. Traitement cartographique

Plusieurs outils cartographiques ont été utilisés pour le traitement cartographique. Il s'agit de Google Earth avec lequel nous faisons la digitalisation notamment avec le pointage des sites endémiques en vue de géolocaliser l'information et de l'avoir au format kmz. Une fois l'extraction faite, nous utilisons ensuite Global Mapper 23 comme passerelle pour transformer les fichiers kml (*.kml) extraits de Google Earth, en fichier shp (*.shp) ainsi que les opérations de prétraitement des données géographiques. Avec les fichiers vecteurs, nous utilisons Arc Gis 10.8 et QGIS pour le traitement final. Ces deux logiciels nous ont permis de réaliser la mise en page et à la restitution des cartes produites dans le présent rapport.



Carte 2 : Pointage des sites inondés (en jaune les données de la Brigade des Sapeurs-Pompiers et Rouge les données de la presse)

2.4. Méthode d'analyse de la vulnérabilité

La vulnérabilité a été analysée à travers une opérationnalisation des concepts d'Exposition, de Sensibilité et d'Enjeux. Cet exercice a abouti à une série d'indicateurs pour chaque variable qui permet d'analyser objectivement les différents concepts en rapport avec le phénomène d'inondation. Les résultats du traitement des indicateurs ont été reversés dans une matrice qui a servi de base d'évaluation. Il faut préciser qu'une orientation territoriale a été donnée à l'analyse avec comme échelle de base la région administrative, ceci tenant compte du fait des études parallèles de vulnérabilité portant sur des secteurs sont menées.

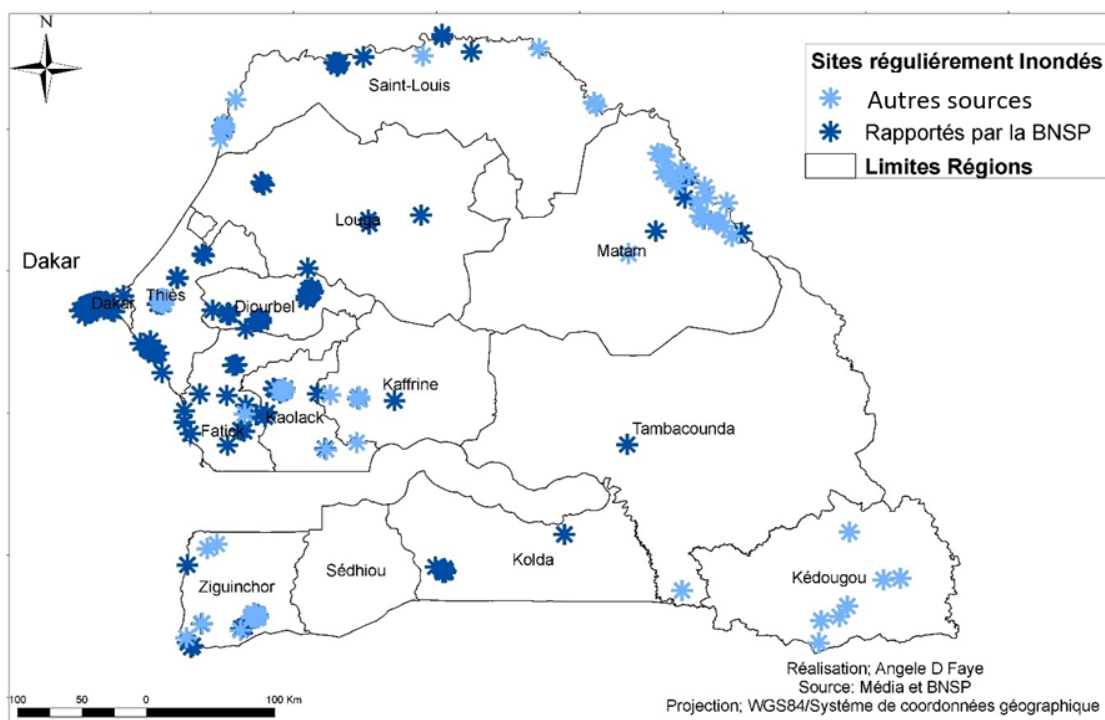
3. Risques climatiques et vulnérabilité actuelle et future

3.1. Les inondations au Sénégal, un phénomène sous plusieurs formes

Depuis plus de Trois décennies, les inondations constituent une véritable préoccupation pour l'état du Sénégal. Toutes les 14 régions du pays sont affectées à des degrés variables et à des formes diverses.

3.1.1. Inondations liées au ruissellement

Le phénomène d'inondation lié au ruissellement est le plus connu au Sénégal. Il s'observe souvent à la suite d'une forte pluie. Ce type d'inondation résulte souvent des ruissellements causés par les épisodes de pluies de forte intensité brèves ou longues et localisées. Le phénomène est plus récurrent en milieu urbain où il se conjugue souvent avec la saturation des réseaux d'assainissement ou d'évacuation des eaux pluviales. En effet, l'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings, etc.) limite l'infiltration des pluies et accélère le processus de ruissellement, ce qui occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales dans la plupart des villes du Sénégal⁶. Certains quartiers des villes de Dakar, Kaolack, Fatick et Kolda situés dans des zones de dépressions à fort caractère alluvial demeurent ainsi naturellement sous les eaux dès les premières pluies. En 2021, la brigade nationale des Sapeurs-Pompiers a identifié 389 points endémiques sur l'étendue du territoire national dont 43% dans la région de Dakar.



3.1.2. Inondations liées aux crues

Les inondations liées aux crues sont aussi enregistrées au Sénégal. Elles sont dues au débordement des cours d'eau de leur lit habituel. Moins récurrent, mais parfois plus tragique, ce phénomène touche des régions comme de Saint-Louis, Tambacounda, Kédougou, Matam, Kaolack et Kolda. Il est davantage lié à l'installation humaine sur les berges des cours d'eau et des fleuves (Sénégal,

⁶ <https://www.gouvernement.fr/risques/inondation>

Casamance, Gambie, Sine Saloum, Sandougou etc.) ou dans les zones d'étalement des crues (lits majeurs des cours d'eau).

Sur le Fleuve Sénégal par exemple, les contributions enregistrées à Bakel se répercutent sur l'hydrogramme à travers trois « épaulements » qui traduisent les apports successifs de la Falémé, du Bafing et du Bakoye. Selon l'hydraulicité de l'un ou l'autre et en fonction de leur combinaison, la vallée du fleuve est soumise à la problématique des inondations plus ou moins fortes.

Dans la ville de Saint-Louis, les premiers débordements importants après l'indépendance ont été constatés au cours de la saison des hautes-eaux 1994/1995 correspondant à une crue moyenne. En 1994, 120 000 personnes se sont retrouvées sans toit dans la région de Saint-Louis, occasionnant le déplacement des populations en proie à des problèmes sanitaires et à l'inondation des terres cultivables. Cette année-là, le débit maximum observé pendant la crue à Bakel fut de 4 160 m³ s⁻¹ le 1er septembre 1994, valeur qui n'avait jamais été dépassée depuis le pic de 4 800 m³ s⁻¹ enregistré en 1975 (KANE, 2002). Au-delà des établissements humains, les inondations liées aux crues posent aussi énormément de problèmes au secteur agricole. En effet, les zones d'aménagements hydroagricoles des bassins du fleuve Sénégal (Dagana, Podor, Matam) et de la Gambie sont souvent inondées compromettant parfois sérieusement le développement de la riziculture et de la bananeraie.



Photo 1 : Inondation dans la région de Matam, Aout 2022

Source : https://www.seneweb.com/news/Societe/fortes-pluies-plusieurs-localites-de-mat_n_386041.html

3.1.3. Inondation marine

L'inondation marine est également un phénomène relativement nouveau qu'il convient d'intégrer dans l'analyse des phénomènes d'inondation au Sénégal. Elle est liée à la fois à la montée du niveau marin et à la survenue d'évènements extrêmes jusqu'alors inconnus ou rarissimes dans les eaux sénégalaises, tel le cyclone Fred qui est né en août 2015 entre le Sénégal et les Iles du Cap Vert.

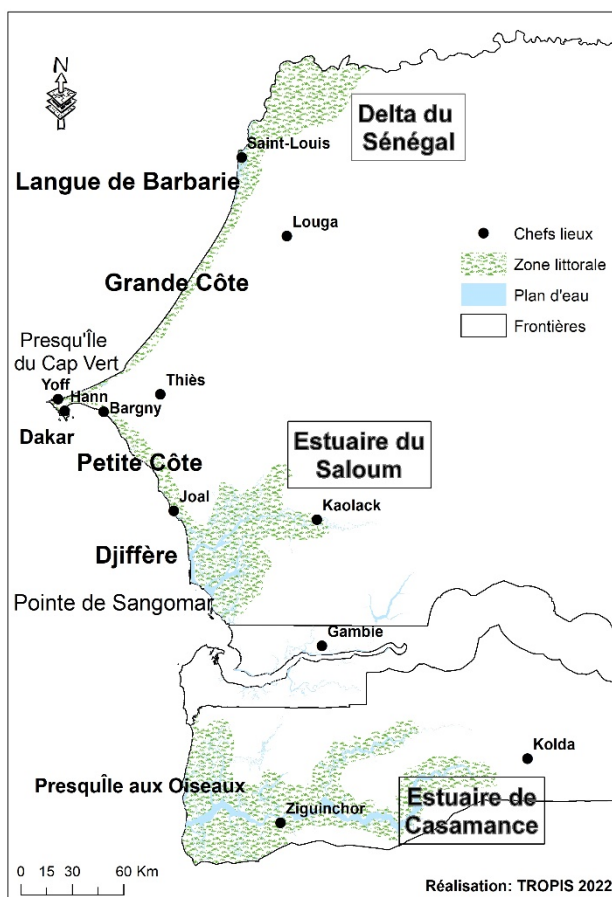


Photo 2 : Inondation du cimetière de Rufisque suite à une forte houle en mai 2014

Source : https://senego.com/rufisque-la-mer-envahit-encore-les-cimetieres-regardez_167585.html

En outre, le littoral sénégalais présente des caractéristiques favorables à la submersion et se manifeste régulièrement par une remontée significative. Il s'agit principalement des estuaires des fleuves (Sénégal, Casamance et Sine Saloum) qui sont des zones situées dans l'aire fluvio-marine où on note une faible variété structurale du relief⁷. VIEILLEFON J. (1975) décrit celui de la Casamance comme une zone plate, basse parcourue de chenaux anastomosés.

⁷ Badiane S. 2012



Carte 4 : carte des estuaires sénégalais

Source : *Typologie de la côte sénégalaise* (Sall, 1982)⁸

3.1.4. Remontée de nappe

Lorsque plusieurs années humides se succèdent, le niveau d'étiage de la nappe devient de plus en plus haut chaque année ; la recharge naturelle annuelle de la nappe par les pluies est plus importante que sa vidange vers les exutoires naturels. La nappe peut alors affleurer à certains endroits. Dans ce cas, la zone non saturée est alors totalement envahie par l'eau au moment de la montée du niveau de la nappe, ce qui se traduit par une inondation. Ce type d'inondation est très lent mais peut durer plusieurs mois⁹.

Ce phénomène est fréquent dans la banlieue de Dakar (Pikine et Guédiawaye). En effet, la diminution des pompages combinée à une recharge supplémentaire liée aux eaux usées a fait remonter le niveau de la nappe de 15 cm en moyenne par année. Si la nappe s'était abaissée de près de 4 m en 1970, elle est remontée en 2015 jusqu'à submerger totalement les habitations construites entre temps dans les points bas (dépressions inter-dunaires des Niayes de Pikine)¹⁰. Au-delà de zone de Dakar, le phénomène s'observe aussi dans le Delta du fleuve Sénégal, dans la zone des Niayes et dans certaines îles du Saloum et de la Casamance.

En somme, il convient de retenir que le phénomène d'inondation au Sénégal est lié généralement (i) au ruissellement, (ii) aux crues, (iii) à la remontée des eaux de mer et (iv) à la remontée de nappe phréatique. Dans la réalité, il n'y a pas de cloison entre ces différents phénomènes. Suivant les caractéristiques géographiques des régions du Sénégal, un ou plusieurs phénomènes décrits

⁸ SALL M. (1982) Dynamique et morphogénèse actuelle au Sénégal Occidental. Thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres, Université Louis PASTEUR-Strasbourg 1, Strasbourg, 604 p.

⁹ <https://www.gouvernement.fr/risques/inondation>

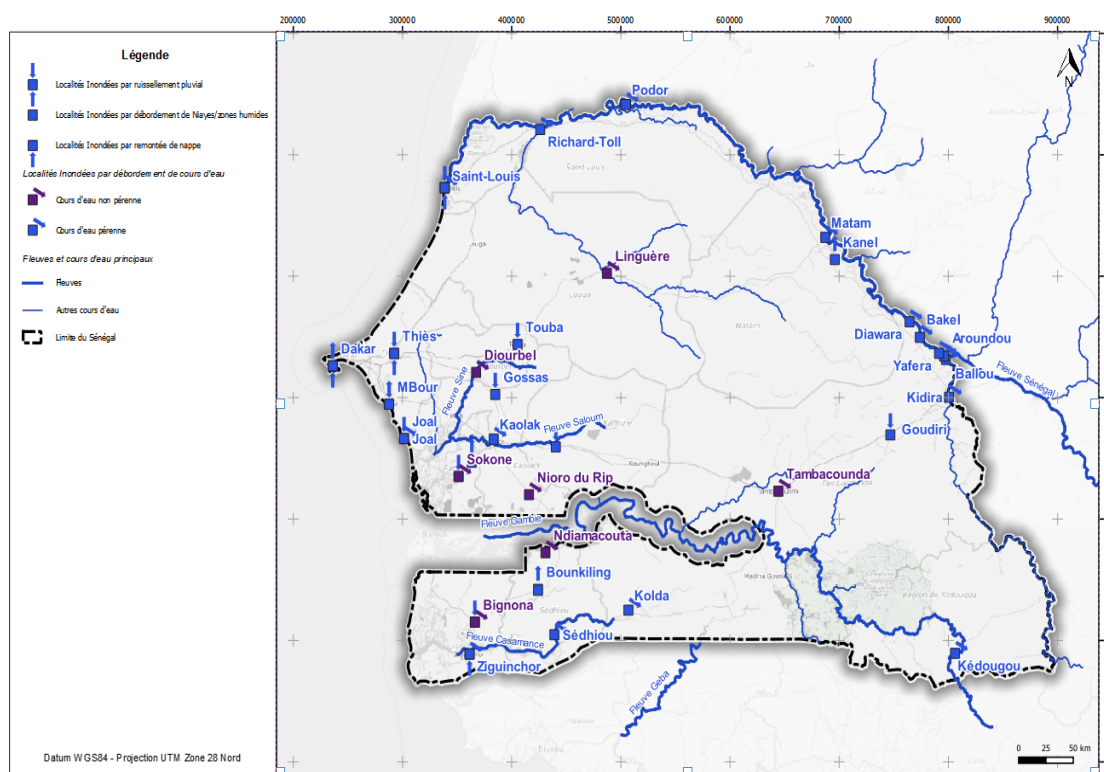
¹⁰ "La nappe de « Thiaroye » au Sénégal : une ressource en eau encore utilisable ?" par S. Ndao, E.H.B. Diaw, S. Tamba et M. Wade

précédemment peut être la cause des inondations. À titre d'exemple, la région de Saint-Louis subit quasiment l'ensemble des phénomènes décrits précédemment.

Tableau 1 : Typologie des inondations selon les régions

Région	Ruissellement	Crue	Montée des eaux de mer	Remontée de la nappe
Dakar	X		X	X
Diourbel	X			
Fatick	X	X	X	X
Kaffrine	X	X		
Kaolack	X	X		X
Kédougou	X	X		
Kolda	X	X		X
Louga	X			X
Matam	X	X		
Saint-Louis	X	X	X	X
Sédhiou	X	X		X
Tambacounda	X	X		
Thiès	X	X	X	X
Ziguinchor	X	X	X	X

La carte ci-dessous présente les localités les plus exposées aux phénomènes d'inondation au Sénégal. Pour chaque site, elle met en exergue, le type d'inondation auquel il est soumis.



Carte 5 : Type d'inondation en fonction des sites
Source: DPGI, mission ATMO PGIIS

3.2. Analyse de la vulnérabilité actuelle

L'analyse de la vulnérabilité du Sénégal aux inondations est faite en se base sur les composantes clefs sont souvent distingués pour déterminer dans quelle mesure, un système est susceptible d'être impacté par les changements climatiques : l'exposition, la sensibilité, l'impact potentiel et la capacité d'adaptation.

3.2.1. Exposition

Parmi les quatre composantes clés qui déterminent la vulnérabilité, l'exposition est la seule qui soit directement liée aux paramètres climatiques. En général, les facteurs d'exposition types comprennent les températures, les précipitations, l'évapotranspiration ainsi que les événements extrêmes. Les variations de ces paramètres peuvent exercer un stress supplémentaire important sur les systèmes (par exemple épisodes de fortes pluies, augmentations de température ou un déplacement du pic d'intensité de la pluie d'un mois à l'autre)¹¹. Pour la présente analyse de la vulnérabilité approfondie aux changements climatiques portant sur le secteur inondation, un focus sera fait sur les précipitations.

3.2.1.1. Analyse des précipitations

La répartition spatio-temporelle des pluies journalières, leur fréquence et leur intensité sont des données fondamentales pour tous les domaines d'activités qui étudient le bilan hydrologique des ressources en eau mais surtout pour le dimensionnement des ouvrages devant permettre d'évacuer les eaux pluviales et des ouvrages de franchissements¹². Dans la présente étude, l'analyse des précipitations est basée sur les données pluviométriques journalières de 21 stations réparties sur l'étendue du territoire national.



Carte 6 : Localisation des stations considérées dans cette étude

3.2.1.2. Une pluviométrie variable

L'analyse des précipitations au Sénégal montre une forte variabilité interannuelle. Sur la période considérée de 1991 à 2020, l'Indice Standardisé des Précipitations (ISP ou SPI) saisonnier a été calculé et il a permis d'identifier sensiblement deux tendances globales. L'une, allant de 1991 à 2000, est caractérisée par une courbe qui fluctue entre la normale ($-0.99 \leq ISP \leq 0.99$) et la période modérément sèche ($-1.49 \leq ISP \leq -1$) notamment au niveau de la partie nord et centre du pays avec les stations de Saint-Louis, de Matam et de Kaolack. L'autre tendance est notée à partir des années 2000 où il est progressivement noté « un retour à l'humide ».

¹¹ Guide de référence sur la vulnérabilité Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées

¹² DGPPE, Amélioration des connaissances sur les ressources en eau du Sénégal, Rapport juillet 2011

Au-delà des données globales, chaque période renferme des années caractérisées par des pluies qui contrastent avec les tendances globales. Ainsi, dans la période relativement sèche, des années modérément humides ($1 \leq ISP \leq 1.49$) à très humides ($ISP \geq 2$) sont enregistrées au niveau des stations de Ziguinchor (1999), de Tambacounda (1994) et de Kaolack (1999). Quant à la période considérée comme le « retour à l'humide », des années modérément sèches ($-1.49 \leq ISP \leq -1$) ont été relevées. Il s'agit principalement de l'année 2014 pour les stations de Matam, Saint-Louis, Dakar et Tambacounda et de l'année 2018 pour les stations de Dakar, Kaolack et Ziguinchor.

Ces données traduisent une forte variabilité des précipitations qui n'est pas sans conséquence sur le phénomène des inondations.

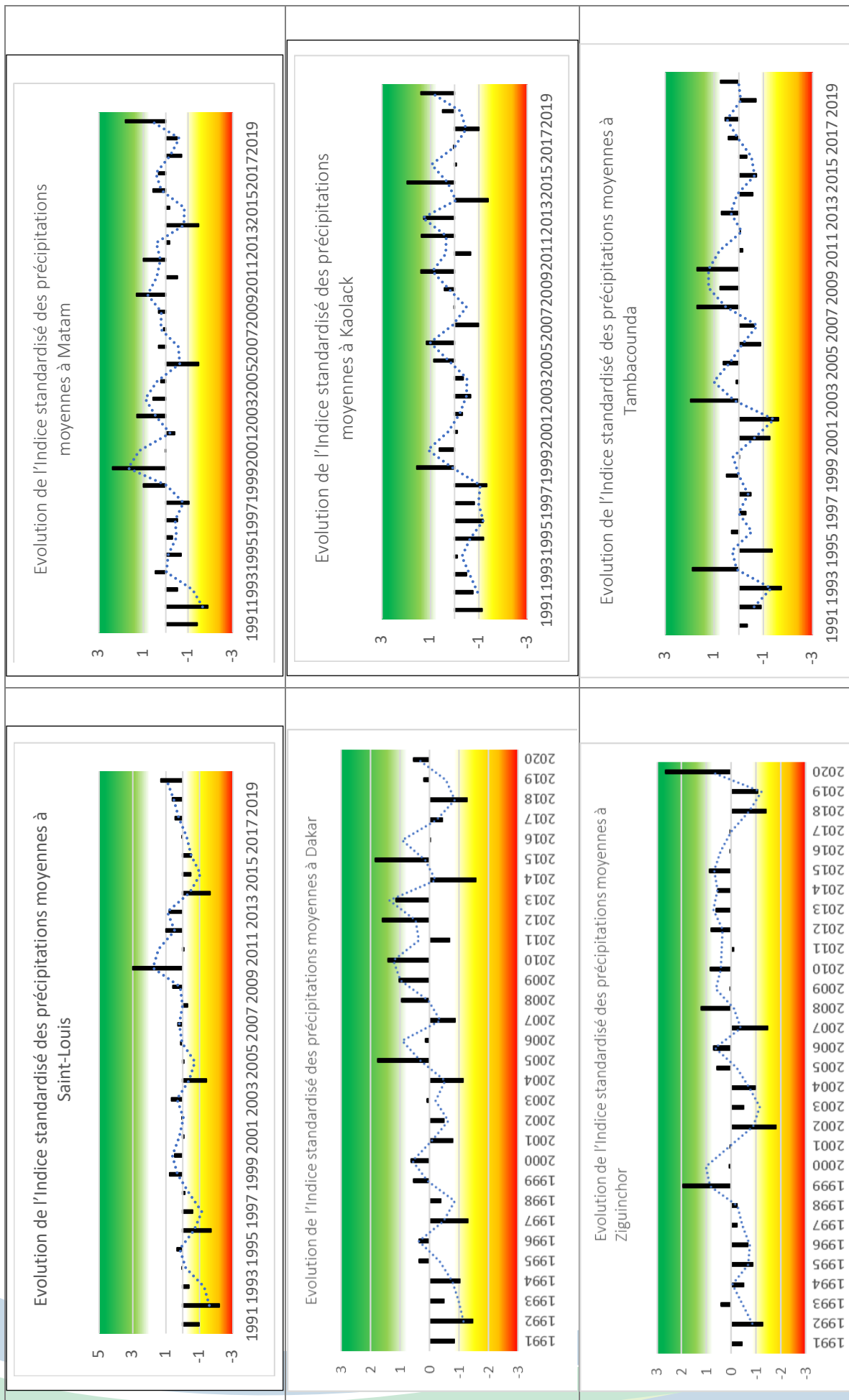
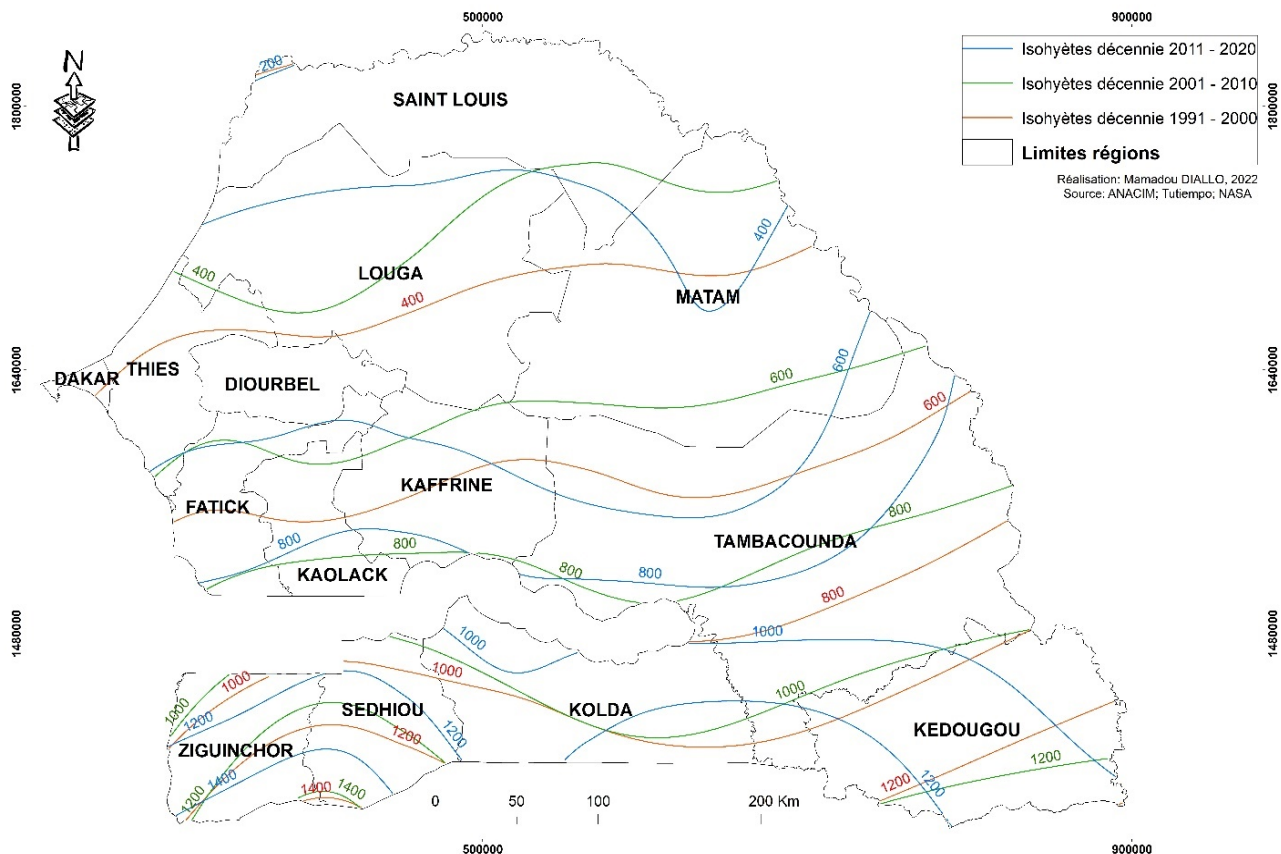


Figure 1 : Indice standardisée des précipitations moyennes

3.2.1.3. Une pluviométrie en hausse

Pour cartographier les isohyètes, des moyennes glissantes par pas de dix ans ont été calculées. La variation spatiale de la pluviométrie au niveau du territoire national entre 1991 et 2020, montre un glissement de tous les isohyètes (400 mm, 600mm, 800mm, 1000mm, 1200mm et 1400mm) du sud vers le nord. À titre d'exemple, l'isohyète 400 mm qui se situait sur l'axe Dakar-Matam entre 1991-2000 et se retrouve entre 2010 et 2020 sur l'axe Matam Louga. La tendance de retour est particulièrement constatée dans la partie sud du pays. En effet, l'isohyète 1400 qui avait migré vers le sud au point de disparaître quasiment de l'espace national est réapparu. Entre 2010 et 2020, il a couvert une portion du Sénégal dans sa partie extrême sud-ouest correspondant aux départements de Oussouye, Ziguinchor et Goudomp¹³.



Carte 7 : Cartographie des isohyètes

3.2.1.4. Caractéristiques des pluies journalières

La loi de Pearson a permis de déterminer les quantiles d'évènement de pluie et leur durée de retour. L'utilisation systématique de la distribution Log-Pearson type 3 est définie de la manière suivante : Si $Y = \text{Log } X$ suit une distribution Pearson type 3 $P(\alpha., \hat{A}, m)$ alors X suit une distribution Log-Pearson type 3 LP $(\alpha., \hat{A}, m)$.

La méthode consiste à ajuster la distribution $P(\alpha., \hat{A}, m)$ à la série des logarithmes des valeurs observées par la méthode des moments en considérant la moyenne, la Variance et le coefficient

¹³ Adaptation au changement climatique, Contributions Déterminées au niveau National : La Gestion des Inondations, (non datée).

d'asymétrie. Ceci nous permis d'estimer la récurrence des événements jugés exceptionnels. Cette loi de statistique des valeurs extrêmes a été appliquée aux données de précipitations journalières de 7 stations. Les résultats présentés dans le tableau 2 montre pour chaque station, les précipitations maximales en fonction de différentes périodes de retour. Les périodes de retour retenues sont de 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. La comparaison entre les valeurs calculées par ces statistiques et les pluies ayant occasionné les inondations de ces dernières années nous permet de mieux comprendre le phénomène.

Tableau 2 : Pluies journalières (mm) en fonction de différentes périodes de retour

Stations	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Dakar Yoff	71,7	92,4	107,6	123,3	144,7	161,8
Saint-Louis	58,9	77,8	92,4	106,9	126,9	141,4
Kaolack	79,9	101,2	117,6	134,1	156,4	172,9
Ziguinchor	112,9	139,4	158,8	179,3	206,8	228,1
Matam	64,5	80,9	93,6	106,4	122,9	136,7
Tambacounda	76,2	92,4	104,9	117,1	133,3	146,0
Kédougou	84,1	99,5	111,9	123,5	139,4	150,9

3.2.1.5. Intensité des pluies au Sénégal

L'intensité des pluies au Sénégal est analysée à partir des courbes IDF des 9 stations produites par l'ANANCIM et réparties sur le territoire national. Il s'agit d'une donnée très importante dans l'analyse de la vulnérabilité au phénomène d'inondation notamment celle des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales. En effet, la conception de tout ouvrage hydraulique nécessite que soit précisé le niveau de performance souhaité. Ce niveau de performance est souvent déterminé en fonction des dommages potentiels et de la sévérité des aléas météorologiques susceptibles d'entraîner un dysfonctionnement ou un dépassement de capacité de l'ouvrage en question. Ainsi, dans le cas des infrastructures de gestion des eaux pluviales, la dimension des différentes composantes du système (par ex. conduites, bassins de rétention, etc.) est établie en fonction de la période de retour des événements de pluies intenses (Bourrier, 1981 ; Mailhot et al., 2006; Mohymont & Demarée, 2006; Segond et al., 2007).¹⁴

✓ Intensité des pluies dans la zone nord :

Les données analysées pour la zone nord concernent les stations de Linguère et de Matam. Elles révèlent des averses d'une intensité de 60 mm/heure pouvant tomber sur une durée de 60 mn au niveau de station de Linguère et à Matam pour une période de retour 10 ans ; et de 75mm/heure pour une durée de 60 mn avec un temps de retour de 20 ans.

¹⁴ Ahmadi Kingumbi & Alain Mailhot (2010) Courbes Intensité–Durée–Fréquence (IDF): comparaison des estimateurs des durées partielles et des maximums annuels, Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques, 55:2, 162-176, DOI: 10.1080/02626660903545995

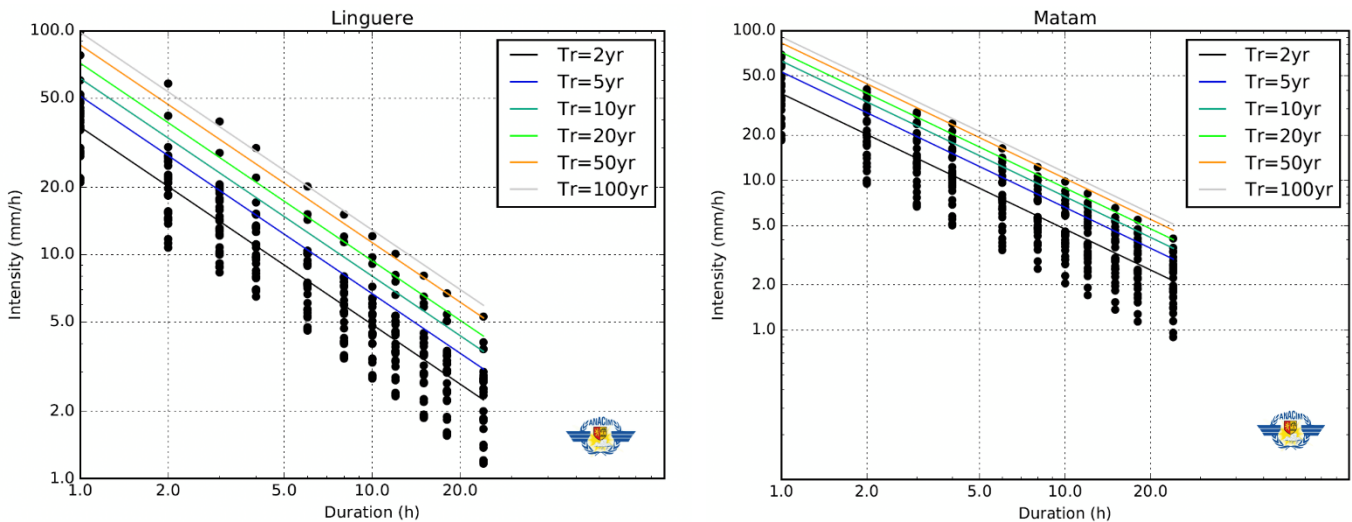


Figure 2 : Courbes IDF des stations de Linguère et de Matam
Source: ANACIM

✓ Intensité des pluies dans la zone ouest

Dans la partie Ouest, l'analyse des courbes IDF de la station de Dakar-Yoff a permis d'avoir une lecture plus précise des averses enregistrées au niveau de la région de Dakar et de ses environs. Sur la période de retour de 10 ans, il peut être constaté des averses d'une intensité de 60mm/heure et de 75 mm/heure pour un temps de retour de 20 ans. L'intensité devient plus importante au fur et à mesure que le temps de retour est conséquent. Ainsi, avec une période de retour de 50 ans, la région de Dakar peut recevoir des averses d'une intensité de 90 mm en heure.

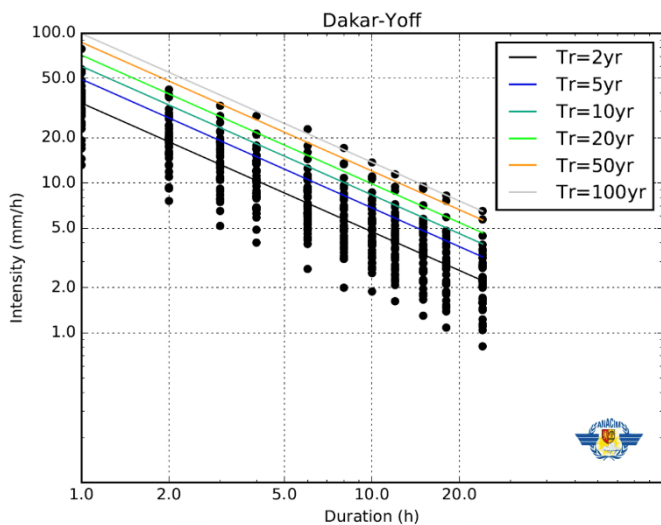


Figure 3 : Courbes IDF de la station de Dakar-Yoff
Source: ANACIM

✓ Intensité des pluies dans la zone centre

Au centre du Sénégal, deux stations ont été considérées, il s'agit de Kaolack et de Diourbel. Elles enregistrent des averses particulièrement intenses comparées à la zone nord et ouest. A Kaolack, sur une période de retour de 10 ans, il est possible d'enregistrer des averses d'une intensité de 90mm/heure pendant une durée de 60 minutes. Au niveau de la même station et pour une période de retour de 50 ans, l'intensité des averses peut atteindre les 150mm/heure pendant une durée de 60 minutes. Pour la station de Diourbel, il est noté des averses moins intenses que celles de Kaolack. Pour une durée de

60mn, il peut y être enregistré une averse de 60mm/heure sur la période de retour de 10 ans et 90 mm/heure pour la période de retour de 50 ans.

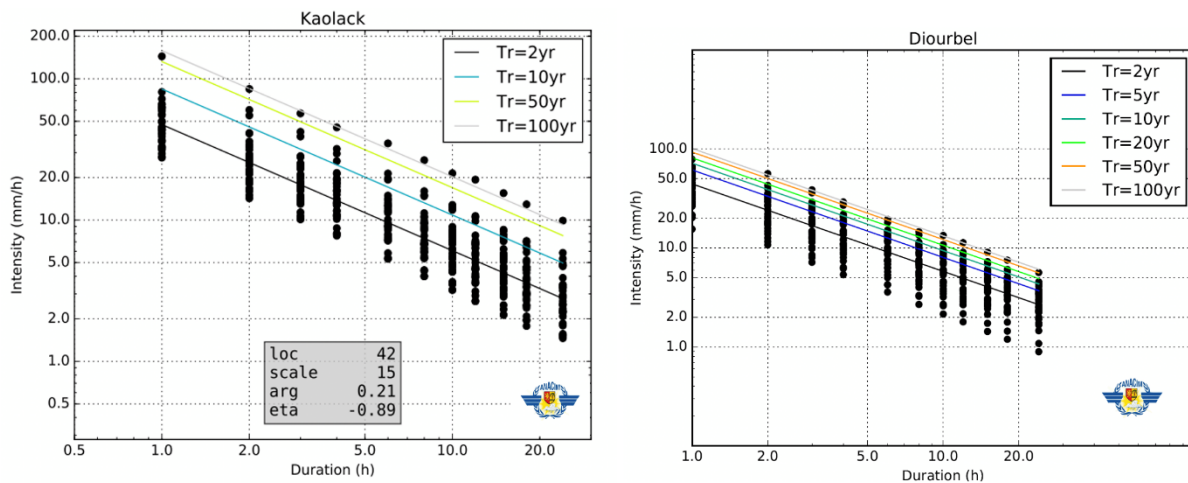


Figure 4 : Courbes IDF des stations de Kaolack et de Diourbel
Source: Source: ANACIM

✓ **Intensité des pluies dans la zone Est**

La partie orientale du Sénégal, se caractérise aussi par des averses particulièrement intenses. À Kédougou tout comme à Tambacounda, pour une période de retour de 10 ans, les courbes IDF révèlent que des pluies d'une intensité de 80mm/heure sont possibles et ce pendant 60 minutes. Pour la période de retour de 50 ans, l'intensité est de 100mm/heure pour une durée d'une heure au niveau de Kédougou et de 90mm/heure pour une 60 minutes dans la région de Tambacounda.

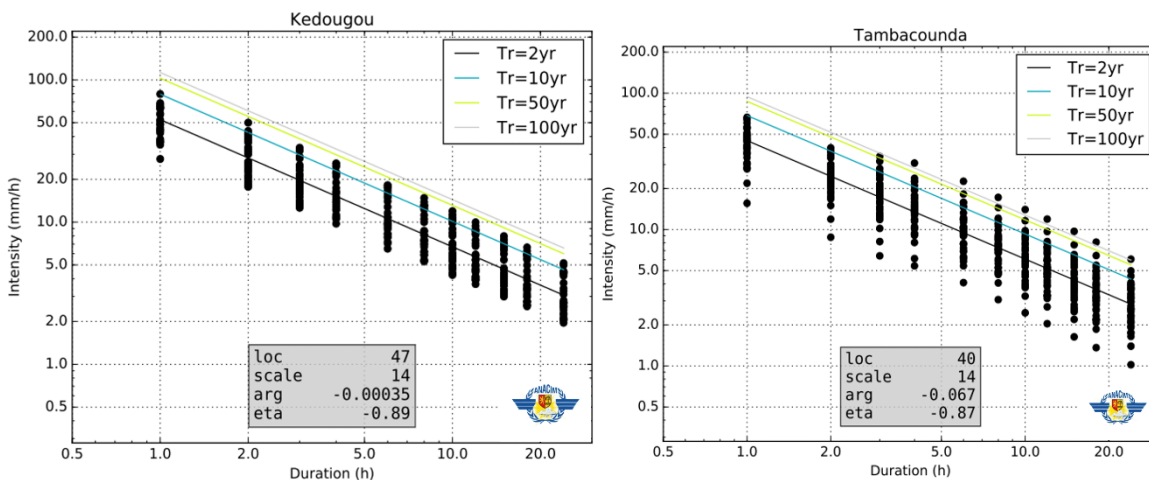


Figure 5 : Courbes IDF des stations de Kédougou et de Tambacounda
Source: Source: ANACIM

✓ **Intensité des pluies dans la zone sud**

De tout le territoire national du Sénégal, la zone sud reste celle qui enregistrent le plus de pluies intenses. À titre d'exemple, dans la région de Kolda, des averses d'une intensité de 95mm/heure sont souvent notées pendant une durée de 60 mn. Ce sont d'ailleurs des averses qui n'ont rien d'exceptionnelles car ayant une période de retour de 10 ans. Elles peuvent même atteindre les 150mm/heure pour un temps de retour de 50 ans. A Ziguinchor, les averses sont moins intenses que celles de la région de Kolda. En effet, pour une période de retour de 10 ans, il est possible d'enregistrer des averses d'une intensité de 80mm/heure pendant une heure de temps dans la région de Ziguinchor. L'intensité est de 100mm/heure pour une durée de 60 minutes pour une période de retour de 50 ans.

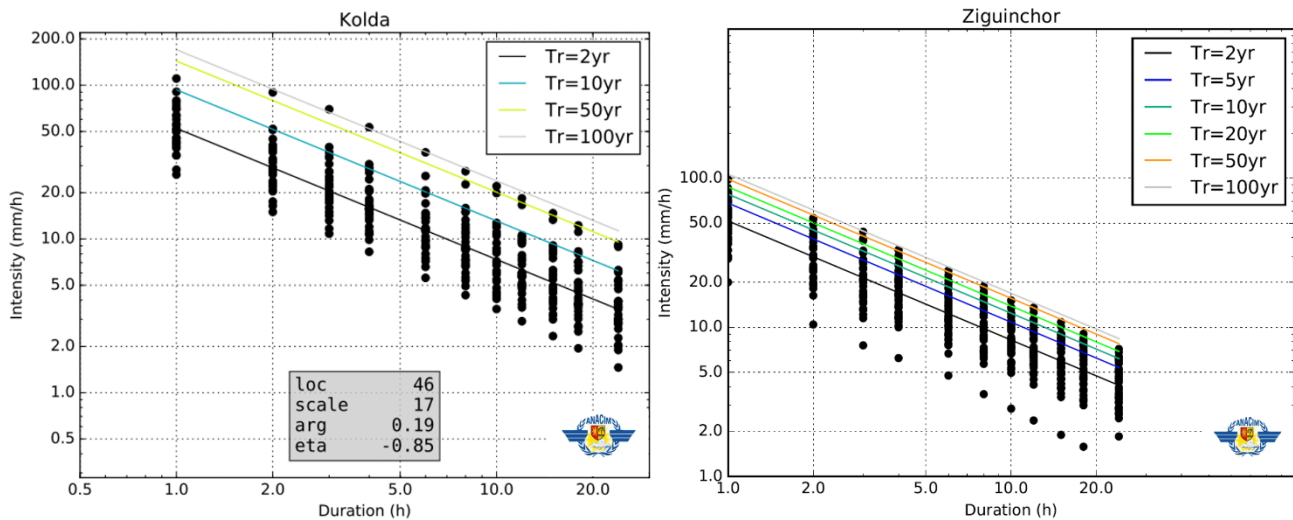


Figure 6 : Courbes IDF des stations de Kolda et de Ziguinchor
Source: Source: ANACIM

Les courbes IDF des 9 stations étudiées renseignent à suffisance sur l'intensité des averses au Sénégal. Il est globalement noté que plus la période de retour est longue plus il est probable d'enregistrer des pluies d'une très forte intensité (jusqu'à 180mm/heure pour une durée de 60 minutes au niveau de Kolda pour un temps de retour de 100 ans). Globalement les pluies les plus intenses sont beaucoup plus notées dans la moitié sud que dans la partie nord du Sénégal.

Rappelons que les courbes IDF sont une composante majeure de la construction des pluies de projet sur lesquelles repose le dimensionnement des ouvrages. Il s'agit d'une pluie, généralement fictive définie par un hyétogramme synthétique qui représente l'intensité de la pluie sur une durée donnée. Une fréquence statistique, exprimée le plus souvent en période de retour, est affectée à la pluie de projet. Celle-ci dépend des objectifs à l'ouvrage l'hydraulique.

3.2.1.6. Indice Rx5days

L'indice de pluies consécutives (Rx5days) est assez pertinent pour analyser la fréquence des inondations au Sénégal. Le résultat des traitements menés sur 6 stations (Dakar, Saint-Louis, Ziguinchor, Tambacounda, Kédougou et Matam) montre que cet indice semble suivre la tendance des inondations dans une région comme Dakar.

Dans les autres stations, il confirme le caractère variable des pluies interannuelles mais aussi le retour à l'humide pour l'essentiel des stations.

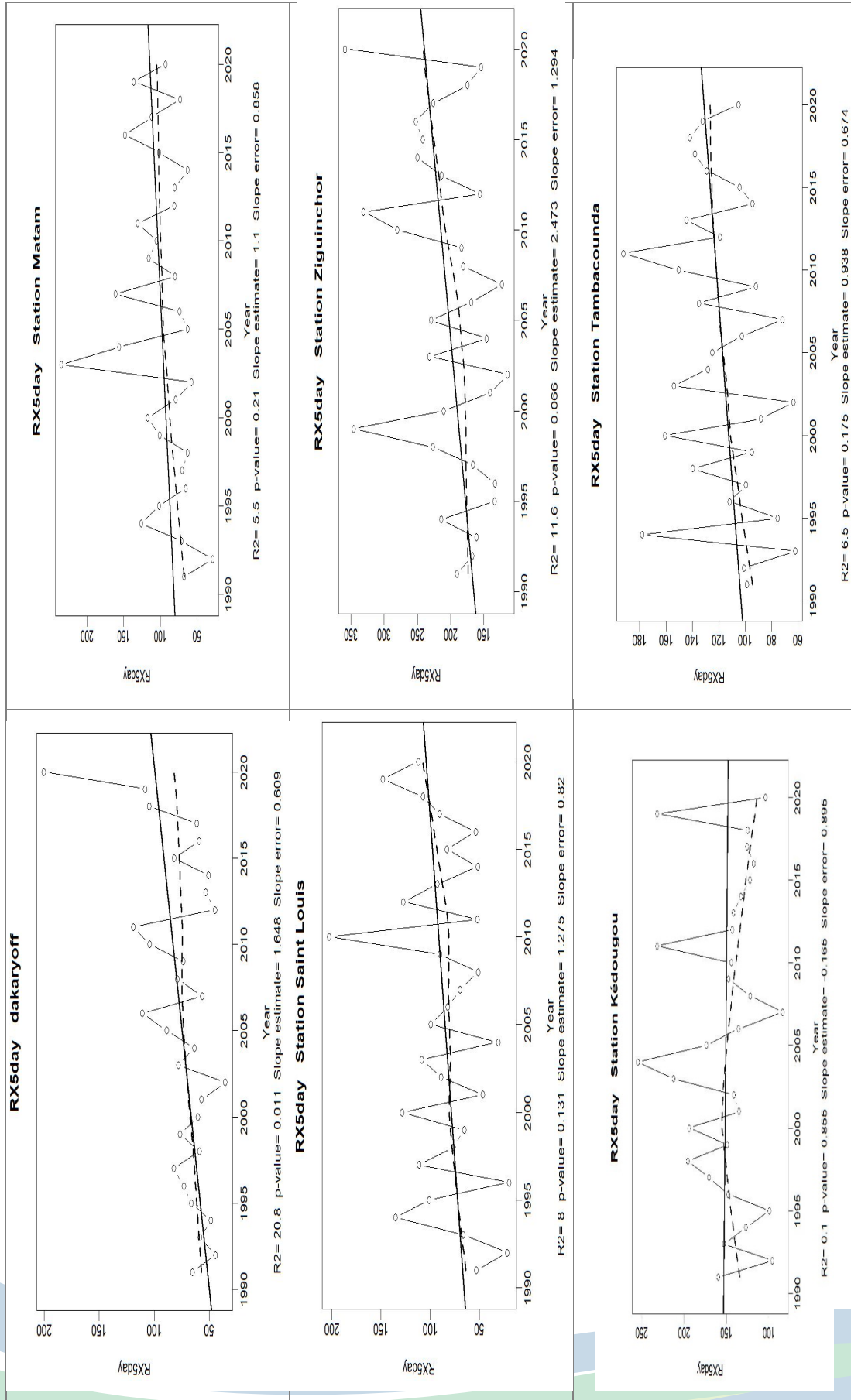
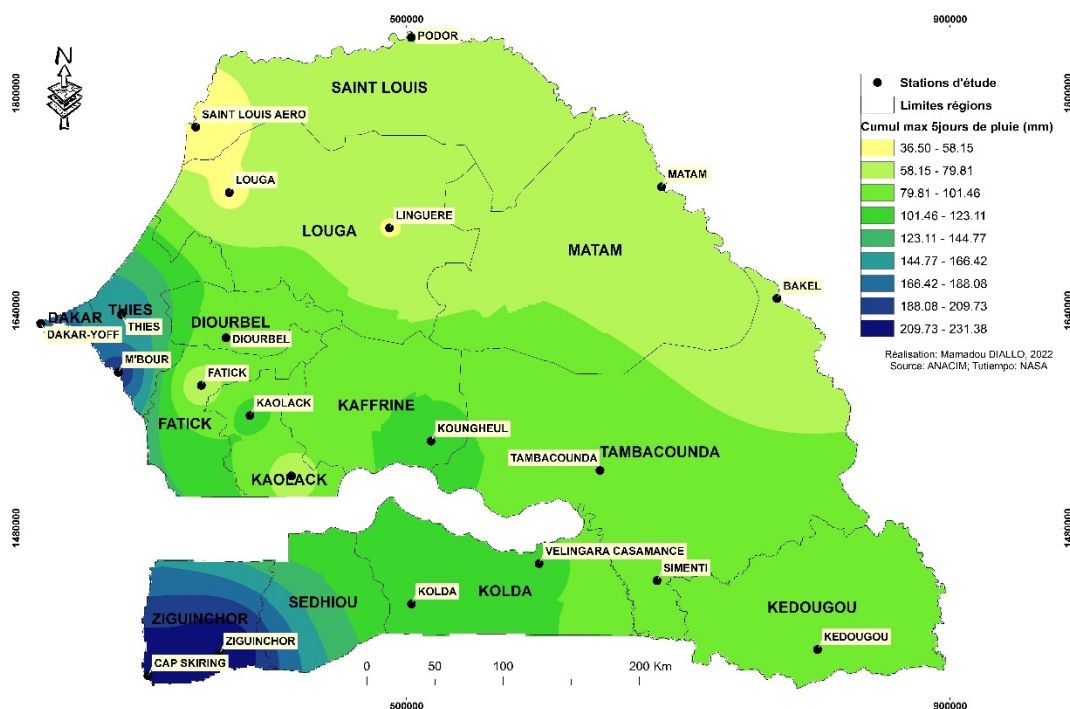


Figure 7 : Indice de pluies consécutives (Rx5days)

L'importance des quantités des pluies enregistrées de manière consécutive, à laquelle s'ajoutent l'encroûtement des sols notamment dans des villes comme Dakar et Thiès et la forte dégradation du couvert végétal dans les bassins versants, sont autant de facteurs qui sont à l'origine du fort taux d'écoulement et des inondations enregistrées en 2005.



Carte 8 : Répartition spatiale des cumuls max 5 jours de pluie en Aout 2005

3.2.1.7. Une saison pluviométrique au nombre de jours de pluie réduit

Une étude menée par Bodian et al. (2016) dans le bassin du fleuve Sénégal avait considéré la moyenne du nombre de jours de pluie calculée de part et d'autre d'une date de rupture identifiée dans les séries de pluie annuelle. L'objectif était de comparer le nombre de jours de pluie avant et après la rupture pour voir l'impact de la sécheresse sur l'évolution du nombre d'événements pluvieux. L'analyse a montré que durant la sécheresse actuelle, le nombre des jours pluvieux a considérablement baissé pour l'ensemble des stations retenues pour cette étude. Les déficits de jours pluvieux de la période après rupture par rapport à celle d'avant rupture varient entre 6,2% à Kédougou et 38,6% à Saint Louis. Descroix et al., 2013 et Panthou et al., 2014 abondent dans le même sens en rappelant les deux éléments qui sont souvent cités ces dernières années pour expliquer respectivement l'augmentation de la fréquence des inondations et la baisse des rendements agricoles en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Il s'agit de l'augmentation de l'intensité des précipitations et de la diminution de la durée de la saison des pluies, ce qui a été observé depuis quelques années durant les sécheresses (Diop et al., 1996; Balme et al., 2005).

Les variations temporelles et spatiales du régime des précipitations ont un fort impact sur l'écoulement des eaux qui de nos jours est de plus en plus influencé par l'environnement naturel et humain que nous allons évaluer dans le chapitre suivant à travers l'analyse de la sensibilité.

3.2.2. Analyse des facteurs aggravants les phénomènes d'inondation

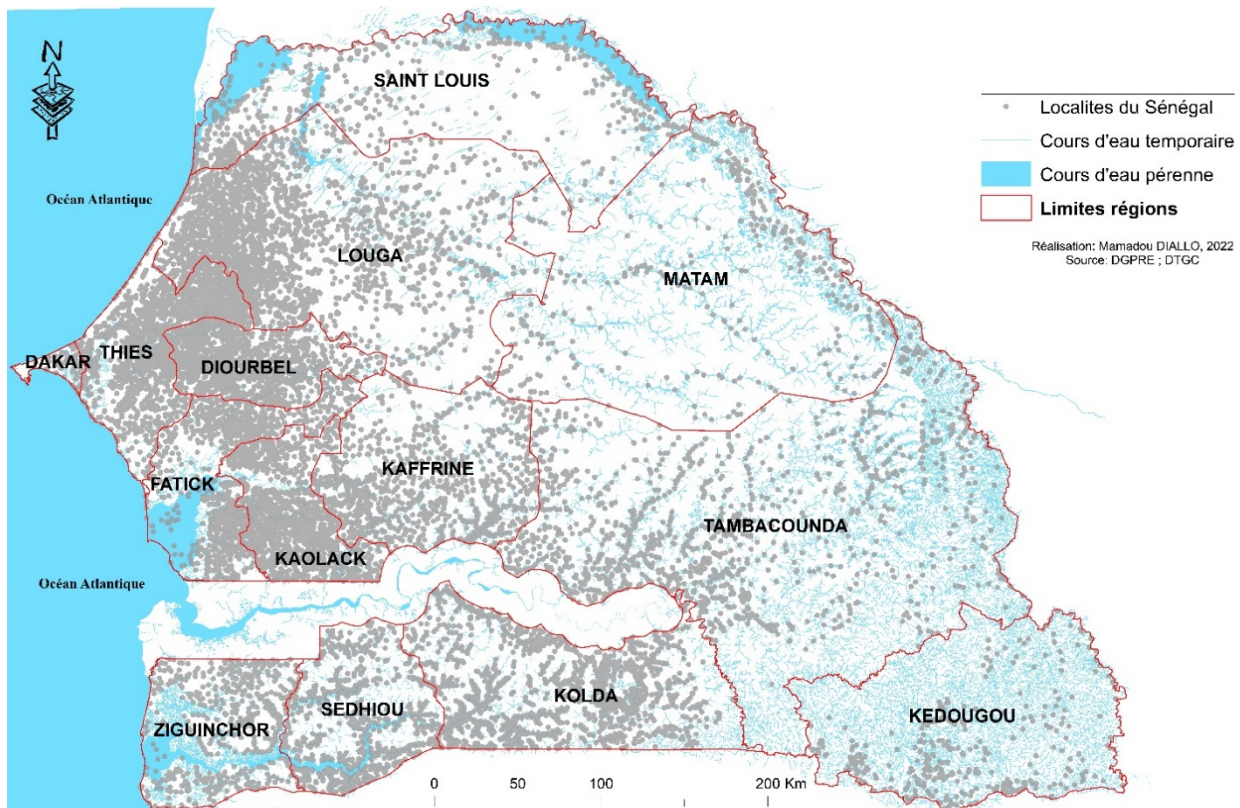
Au-delà des précipitations, l'environnement biophysique ainsi que le développement socio-économique constituent l'un des principaux facteurs aggravants les phénomènes d'inondation au Sénégal qui méritent d'être analysés de façon particulière.

3.2.2.1. Environnement biophysique

➤ Hydrographie

Les principales réserves en eaux de surface sont constituées des fleuves Sénégal, Gambie, Casamance, Sine Saloum et de la Kayanga et du lac de Guiers. Autant ces unités hydrologiques peuvent contribuer à lutter contre les inondations en jouant le rôle de canaux d'évacuation naturels, autant elles peuvent aussi être une cause naturelle des inondations suite aux crues exceptionnelles. En outre, la densité du réseau hydrographique peut induire des causes d'inondations liées à des phénomènes purement hydrologiques. On peut noter entre autres :

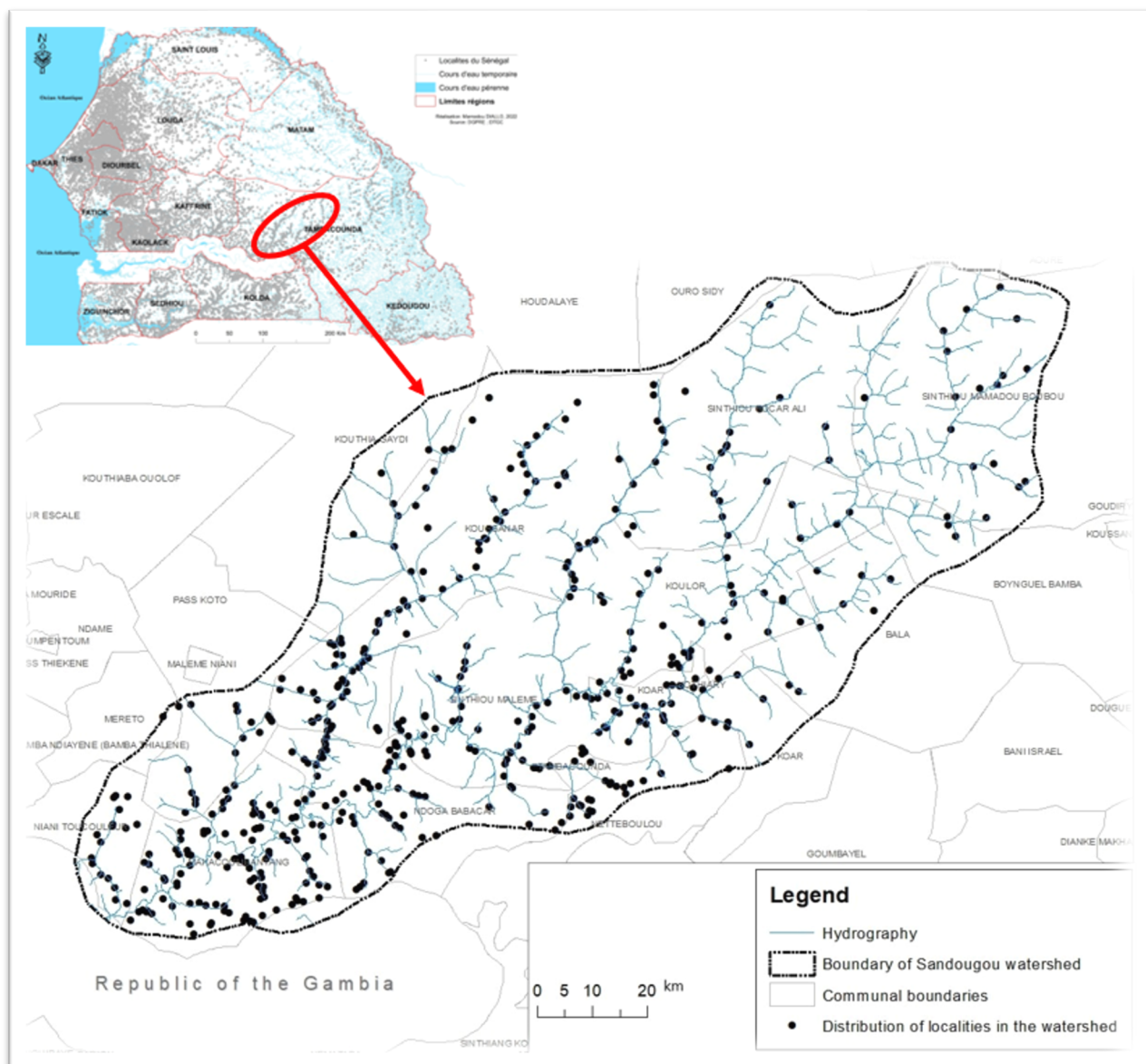
- L'affleurement de la nappe phréatique par endroit ;
- La saturation permanente de certains sols ;
- La faible perméabilité des sols ;



Carte 9 : Réseau hydrographique et localités du Sénégal

À côté des cours d'eau principaux, il est important de rappeler le rôle des petits cours d'eau (permanents ou non permanents) dans la manifestation du phénomène d'inondation. Dans ces petits cours, le principal risque d'inondation est lié au débordement brutal suite à des pluies de forte intensité. Du fait qu'ils sont pour la plupart secs, ces cours d'eau sont parfois occupés (habitat, installation économique etc.). La carte ci-dessous présente la répartition spatiale des villages situés dans le bassin de la

Sandougou (région de Tambacounda). La logique d'installation suit quasiment le tracé des cours d'eau ce qui constitue un facteur de sensibilité au phénomène d'inondation en cas de crue extrême.



Carte 10 : Illustration de l'installation des localités sur les cours d'eau au niveau du bassin de la Sandougou
Source : Diouf E. et Coly A., 2021

Les bassins versants des cours temporaires font souvent l'objet de déforestation et ils ont tendance à être imperméabilisés, ce qui contribue à la génération de débits et de volumes dépassant parfois les capacités hydrauliques des ruisseaux et des ouvrages de protection construits dans le monde rural sénégalais.



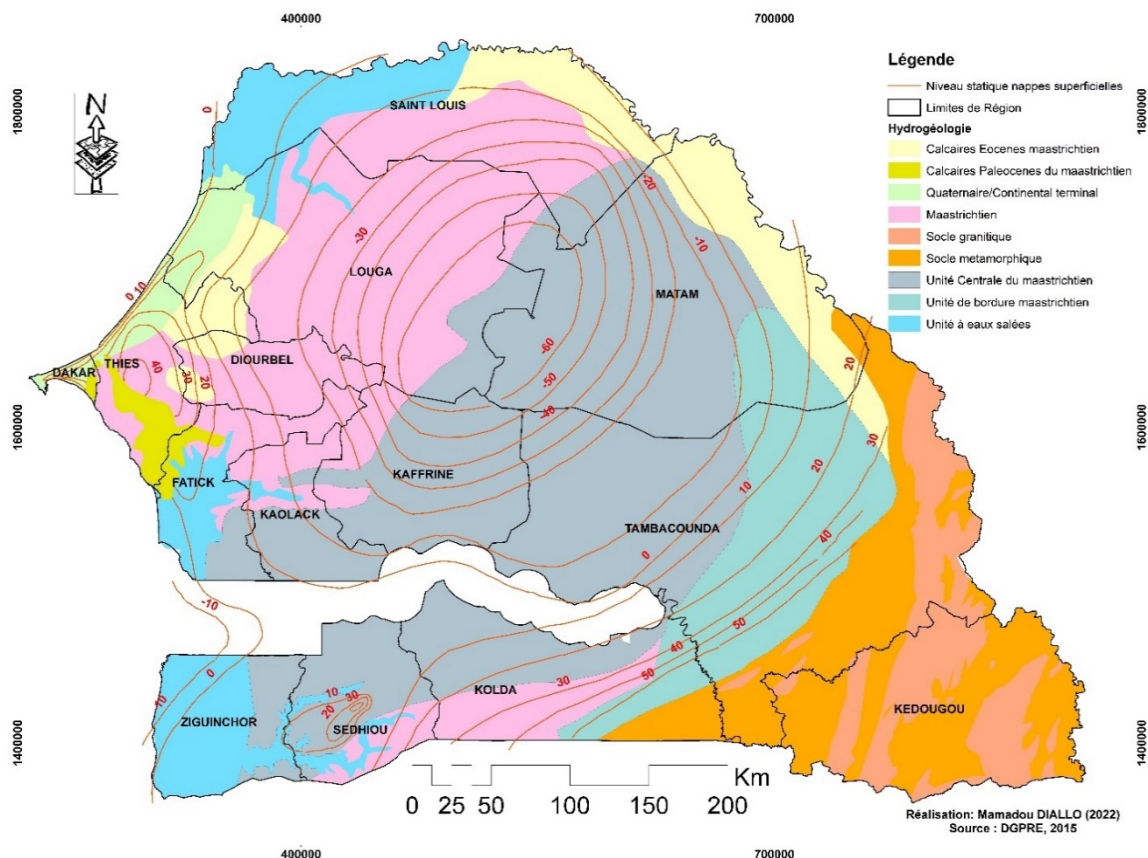
Photo 3 : Illustration de cours d'eau temporaires
Source : Images INP

➤ Une nappe affleurante par endroit

Tenant compte de l'aggravation potentielle du phénomène d'inondation à cause de la remontée de la nappe, il est important de faire une analyse succincte du système aquifère sénégalais. Il couvre l'ensemble du bassin sédimentaire du Sénégal et il est principalement constitué de sable et d'argile sableuse. Il comprend les aquifères suivants : l'Infrabasaltique, Thiaroye, Littoral Nord, alluvial (quaternaire) ; et le Continental Terminal et les aquifères Oligo-Miocène (tertiaire). Le système aquifère superficiel a une épaisseur qui varie entre 0 à 150 m et une profondeur d'entre quelques mètres et 72,5 mètres.¹⁵ Il peut être affleurant suivant certaines zones du pays notamment dans la zone des Niayes, à Saint-Louis et Basse Casamance. La valeur 0m de certaines courbes de niveau statique de la nappe superficielle représentée dans la carte ci-dessous illustre parfaitement le caractère affleurant.

15

https://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie_du_S%C3%A9n%C3%A9gal#:~:text=Le%20syst%C3%A8me%20aquif%C3%A8re%20superficiel%20varie,7%2C6%20et%20540%20m.&text=La%20contamination%20par%20les%20nit rates%20se%20produit%20par%20endroits.



Carte 11 : Hydrogéologie du Sénégal

Le manque d'absorption de l'eau par les sols est une des principales causes de la genèse des inondations. Lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol, on parlera de ruissellement « hortonien ». En revanche, un sol, partiellement ou totalement saturé en eau par une nappe souterraine superficielle, générera du ruissellement « par saturation ». Dans des cas bien particuliers, ces deux types de ruissellement peuvent se produire en même temps et produire subitement des inondations catastrophiques¹⁶. Il s'agit d'un phénomène qui mérite d'être sérieusement pris en compte si l'on se réfère du cas de la zone de Thiaroye. Pour rappel, avant la reprise actuellement constatée, le pompage de la nappe de Thiaroye a été arrêté depuis que le lac de Guiers (situé à 250 km au NE de Dakar) a commencé à alimenter Dakar en eau potable. L'une des conséquences de l'arrêt de ce pompage a été les inondations des points bas. De fait, la réduction des pompages couplée à une recharge supplémentaire a fait remonter la nappe de 15 cm en moyenne par année (urbaMonde, 2009). Cette recharge s'explique notamment par l'augmentation de la population et donc des volumes d'eau usées rejetés. Or, s'il y a environ 35% des précipitations annuelles qui contribuent à la recharge de la nappe¹⁷(Merlin, 2008), le reste, estimé à 30 000 m³/jour, provient de l'infiltration des eaux usées domestiques. C'est donc à la fois l'infiltration des eaux pluviales et des eaux usées domestiques qui sont la cause de la remontée du niveau de la nappe phréatique de Thiaroye contribuant ainsi nettement à l'aggravation du phénomène d'inondation dans la banlieue de Dakar¹⁸.

➤ Un pays entre faible altitude et faible pente

¹⁶ De Marsily G., 1981. Hydrogéologie quantitative. Masson, Paris.

¹⁷ Cabinet Merlin, Senagrosol, Avant-projet détaillé pour la mobilisation de ressources en eau alternatives dans la région de Dakar, 2008

¹⁸ CAPITALISATION EX-ANTE ANALYSE DES CONTRAINTES PHYSIQUES, Projet de Gestion intégrée du risque inondation à Dakar – Pikine Irrégulier Nord Guediawaye « PING GIRI »

Région	Altitude moyenne (m)
KAFFRINE	39,82
DIOURBEL	33,97
THIES	33,01
SEDHIOU	31,10
SAINT LOUIS	28,10
KAOLACK	23,89
DAKAR	19,67
ZIGUINCHOR	16,02
FATICK	14,73

Malgré le traitement des données altimétriques à une échelle régionale, le caractère très plat du Sénégal se note toujours. En effet, la région de Kédougou avec une pente de 5,05% qui correspond la pente moyenne régionale la plus forte est considérée comme faible si l'on fie à l'échelle de classification des pentes. Des régions comme Fatick, Kaolack, Louga, Diourbel, Kaffrine, Saint-Louis et Matam présentent même des pentes subhorizontales c'est-à-dire qu'elles sont presque horizontales¹⁹.

Tableau 4 : Pente Moyenne par région

Région	Pente moyenne (%)	Caractérisation
KEDOUGOU	5,05	Pente faible
DAKAR	3,25	Pente très faible
ZIGUINCHOR	3,06	Pente très faible
SEDHIOU	2,49	Pente très faible
KOLDA	2,41	Pente très faible
THIES	2,34	Pente très faible
TAMBACOUNDA	2,06	Pente très faible
FATICK	1,95	Subhorizontale
KAOLACK	1,86	Subhorizontale
LOUGA	1,81	Subhorizontale
DIOURBEL	1,77	Subhorizontale
KAFFRINE	1,49	Subhorizontale
SAINT LOUIS	1,39	Subhorizontale
MATAM	1,08	Subhorizontale

Les résultats obtenus notamment les altitudes moyennes tout comme les pentes moyennes régionales sont particulièrement intéressants. Ils constituent des données précieuses dans l'analyse de la vulnérabilité actuelle et future des effets et impacts des changements climatiques dans le secteur de la gestion des risques de catastrophe axée sur les inondations au Sénégal. Pour rappel, l'inclinaison de la pente des versants agit sur la vitesse d'écoulement de l'eau tandis que sa longueur favorise des débits importants et la concentration des eaux²⁰.

➤ État des sols

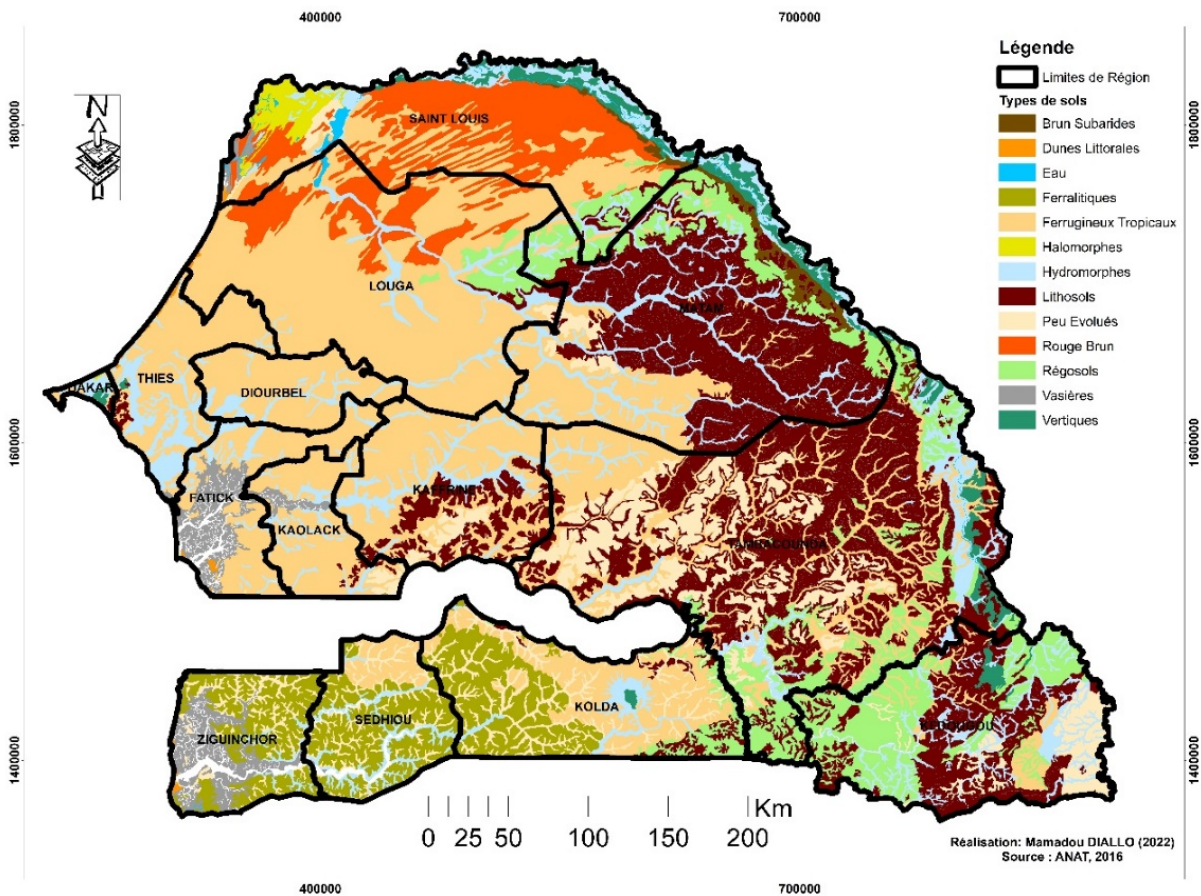
Le Sénégal bénéficie d'une grande diversité de formations pédologiques aussi bien au niveau de la répartition géographique qu'au niveau de leur structure et leur aptitude. Ainsi, les différents types de sol sont les formations sur terrains quaternaires, les formations sur terrains secondaires et tertiaires et les formations sur socle primaire. Les différents types de sols issus de ces formations sont inégalement répartis sur le territoire national avec une prédominance des sols ferrugineux tropicaux (PNADT, Juin 2019).

¹⁹ <https://sis.agr.gc.ca/siscan/taxa/cssc3/chpt18.html>

²⁰ RÔLE DES SOLS SUR LA GÉNÈSE DES INONDATIONS MONTOROI J-P. IRD, 32 avenue Henri Varagnat 93143 Bondy, France, jean-pierre.montoroi@ird.fr

En effet, certaines grandes villes sénégalaises sont logées dans des sites peu aptes à l'habitat humain. Par exemple, la ville de Saint-Louis flotte entre terre, mer et fleuve, Dakar est logée dans un système de dépressions et de golfes à nappe superficielle, une bonne partie des villes de Kaolack et de Fatick sont installées dans des zones de tannes (S. SENE et P. OZER, 2002). La moitié occidentale du Sénégal dans laquelle se trouve l'essentiel des établissements humains abrite une bonne partie des sols hydromorphes. Ces derniers sont composés dans leur horizon d'une couche moins perméable qui limite l'écoulement vertical de l'eau. Dans ce type de sol, l'accumulation des argiles lessivées depuis la surface du sol forme une barrière moins perméable. L'eau s'accumule dans la partie supérieure et lorsque cette zone est saturée, elle va ruisseler en surface. Cet excès d'eau génère une nappe perchée temporaire qui s'installe entre la couche imperméable et la couche superficielle de sol.

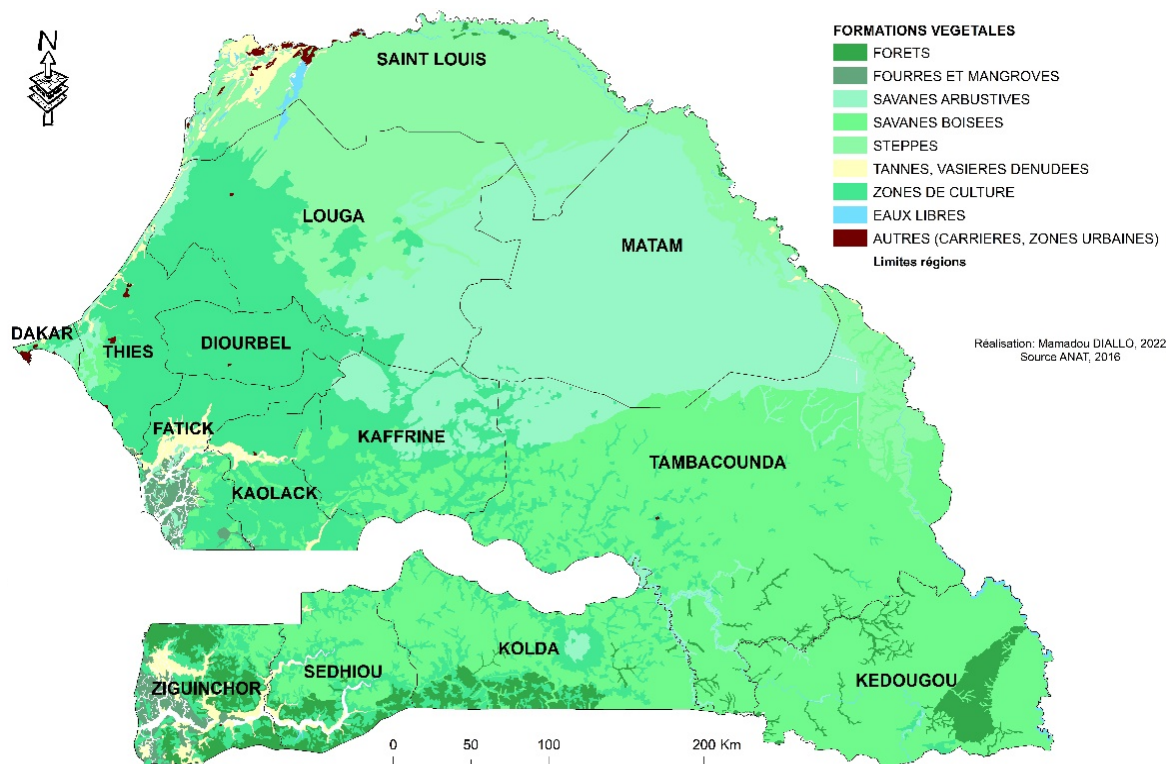
C'est dire donc qu'en dehors de la topographie, la pédologie dans certaines zones du Sénégal (région de Saint-Louis, de Fatick, de Kaolack) reste défavorable à l'infiltration de certaines quantités d'eau en un temps limité.



Carte 13 : Les sols du Sénégal

➤ La végétation

Le Sénégal présente divers types de végétation avec des caractéristiques différentes et inégalement réparties sur le territoire national du fait du gradient climatique et des conditions topo-édaphiques.



Carte 14 : Répartition de la végétation du Sénégal

Il faut noter que le couvert végétal, par le biais de l'interception, favorise l'infiltration en dispersant l'énergie des gouttes de pluie et donc diminue le risque d'inondation. En zone de forêt comme la Casamance, les strates arborées et arbustives interceptent efficacement les pluies avant qu'elles n'arrivent au sol alors que dans le tiers nord du Sénégal où se trouve la zone de steppes, le ruissellement peut être accentué à cause des sols nus par endroit ou du couvert végétal épars.

Tableau 5 : Caractéristiques des principaux types de végétation au Sénégal

Domaine	Superficie (ha)	Localisation	Espèces végétales
Forêts	13 523 000	Parties Sud-Ouest et Sud-Est du Sénégal	Espèces ligneuses de haute taille
Savanes	8 638 272	Sénégal oriental, Casamance et une partie de la zone sylvopastorale du Ferlo	Strate herbacée continue et une strate arborée ou arbustive
Steppes	3 553 787	Tiers nord du Sénégal	Formation herbeuse de graminées annuelles et des espèces épineuses
Mangroves	213127	Bassin de la Casamance, du delta du Saloum et du delta du fleuve Sénégal	Palétuviers

Source : Global Forest Resources Assessment/ Évaluation des ressources forestières mondiales, 2015²¹

3.2.2.2. Environnement socio-économique

3.2.2.2.1. Évolution de la population

En 1960, le Sénégal comptait 3 109 240 habitants et 9 858 482 habitants en 2002. En 2013, suite au RGPHAE, elle est passée 13 508 715 habitants soit quatre fois plus, en un demi-siècle. Cet effectif

²¹ Tableau tiré de PNADT, juin 2019 (version provisoire)

résulte de l'évolution constante qui caractérise la population sénégalaise depuis plusieurs décennies. Elle laisse ainsi apparaître un taux d'accroissement moyen intercensitaire assez élevé qui s'établit entre 2002 et 2013 à 2,5%²². En 2022, la population du Sénégal estimée à 17 738 795 en 2022 (ANSD, 2019)

3.2.2.2. Densité démographique

À l'instar de la croissance de la population, l'indicateur de densité moyenne nationale du Sénégal évolue aussi de façon très rapide. Passé de 16 hbt/km² en 1960, il est en 2022 à 90 hbt/km². Cette densité moyenne renferme des disparités très importantes. À titre d'exemple, la région de Dakar a une densité moyenne de 7390 hbt/km² au moment où la densité moyenne de la région de Kédougou est de 11 hbt/km². Le traitement des données a permis aussi de noter qu'en 1960, un sénégalais disposait en moyenne de 6,33ha alors qu'en 2022 il ne dispose que de 1,11 ha.

En 2063 soit dans un plus de 40 ans, si les tendances se confirment, la densité moyenne du Sénégal sera de 278 hbt/km² soit un ratio de 0,36 ha par sénégalais. Cette forte densité de la population aura sans doute des répercussions sur l'occupation de l'espace notamment avec le phénomène d'urbanisation ce qui rendra à terme certaines régions du Sénégal encore beaucoup plus sensibles aux phénomènes d'inondation.

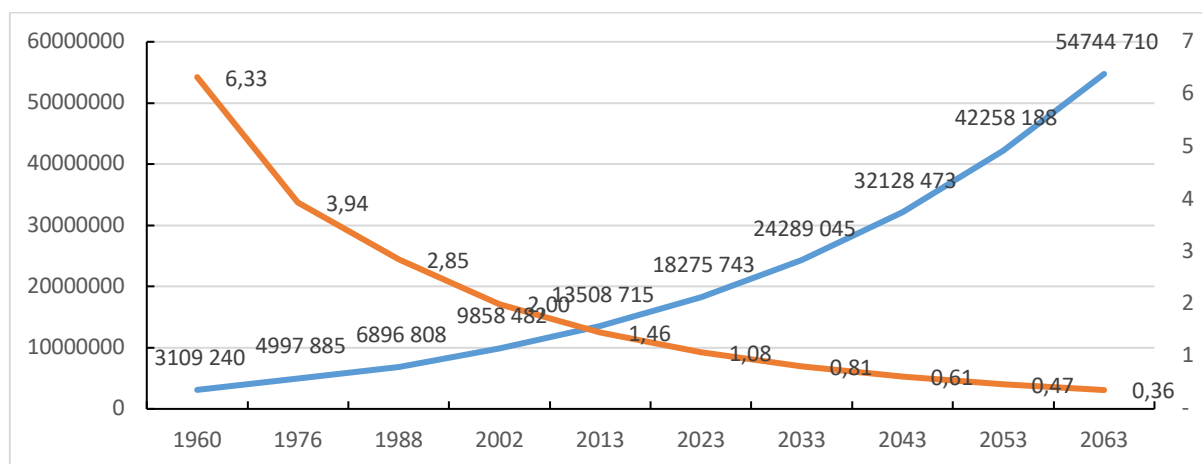


Figure 8 : Évolution de la population et Ratio d'hectare par sénégalais

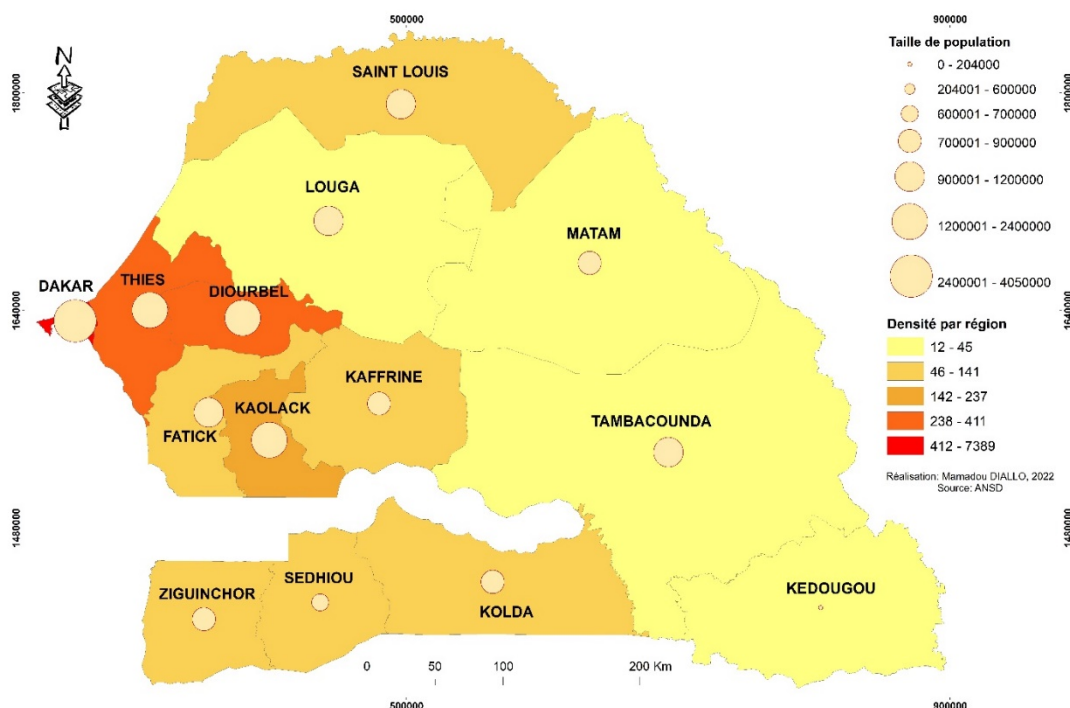
3.2.2.3. Occupation du sol

✓ Une population concentrée sur 3 régions

La population du Sénégal demeure très inégalement répartie sur le territoire national. En effet, elle reste concentrée au 1/3 ouest et plus particulièrement dans les régions de Dakar, Thiès et Diourbel. En 2022, ces 3 régions sur les 14 que compte le pays, abritent 47% de la population sénégalaise alors qu'elles n'occupent que 6% du territoire national. A l'opposé, la moitié Est demeure faiblement peuplée. Du fait de la dynamique économique, les régions de Dakar, Thiès et Diourbel sont considérablement alimentées par l'exode rural (migration saisonnière) jusqu'au milieu de la décennie 1990. Aujourd'hui, cette migration prend progressivement une forme définitive, contribuant ainsi à l'aggravation des problèmes liés à la répartition de la population au plan national, et à la pression démographique à l'échelle des agglomérations de Dakar, Thiès et Touba. La forte concentration de la population dans ces régions notamment celle de Dakar, s'accompagne souvent d'aménagements d'envergures (habitats, infrastructures, voiries, remembrement agricole, déforestation...) qui modifient les conditions d'écoulement (imperméabilisation et ruissellement), tout en diminuant les champs d'expansion des crues. Le problème du logement dans les agglomérations sénégalaises entraîne souvent l'occupation des zones inondables par des bâtiments construits à partir de matériaux de fortunes sensibles à l'eau

^{22 22} MCTDAT/ANAT Plan National d'Aménagement et de Développement territorial (PNADT) Juin 2019

pouvant aussi générer, en cas de crue, un transport et un dépôt de produits indésirables, susceptibles de former des boucher les canaux d'évacuation des eaux pluviales.



Carte 15 : Densité par région du Sénégal

✓ Une urbanisation en perpétuelle croissance

La concentration progressive de la population dans les zones urbaines est une tendance observée à l'échelle mondiale. Ce phénomène impacte significativement la répartition spatiale de la population avec les conséquences qui en découlent en termes d'insécurité et de déficit d'accès aux services sociaux de base comme l'assainissement, la santé... mais également de maîtrise de cette forte pression démographique dans les grandes agglomérations. Au Sénégal, le taux d'urbanisation a connu une augmentation régulière depuis les années 1960 (ANSD, 2018). En 2018, le taux d'urbanisation du Sénégal est à 46%. La région de Dakar a un taux d'urbanisation de 96%.

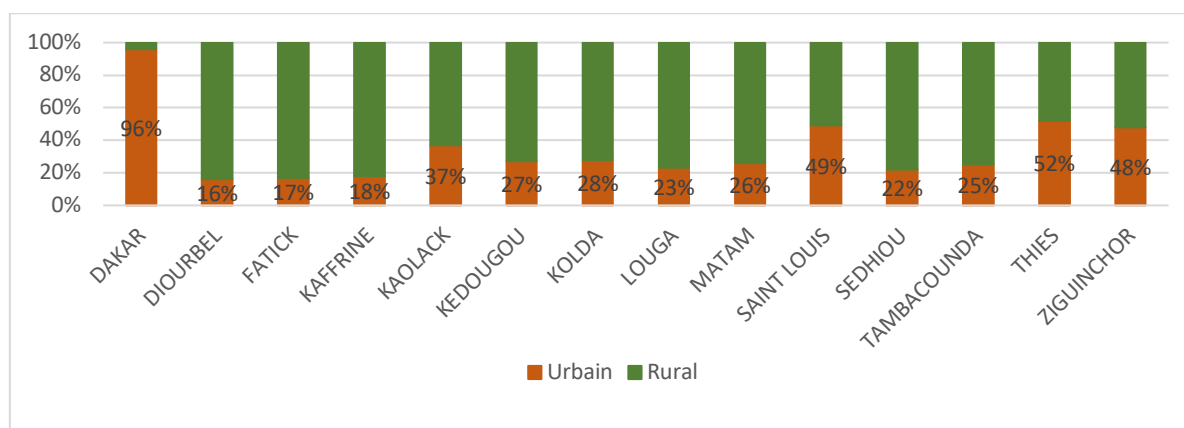
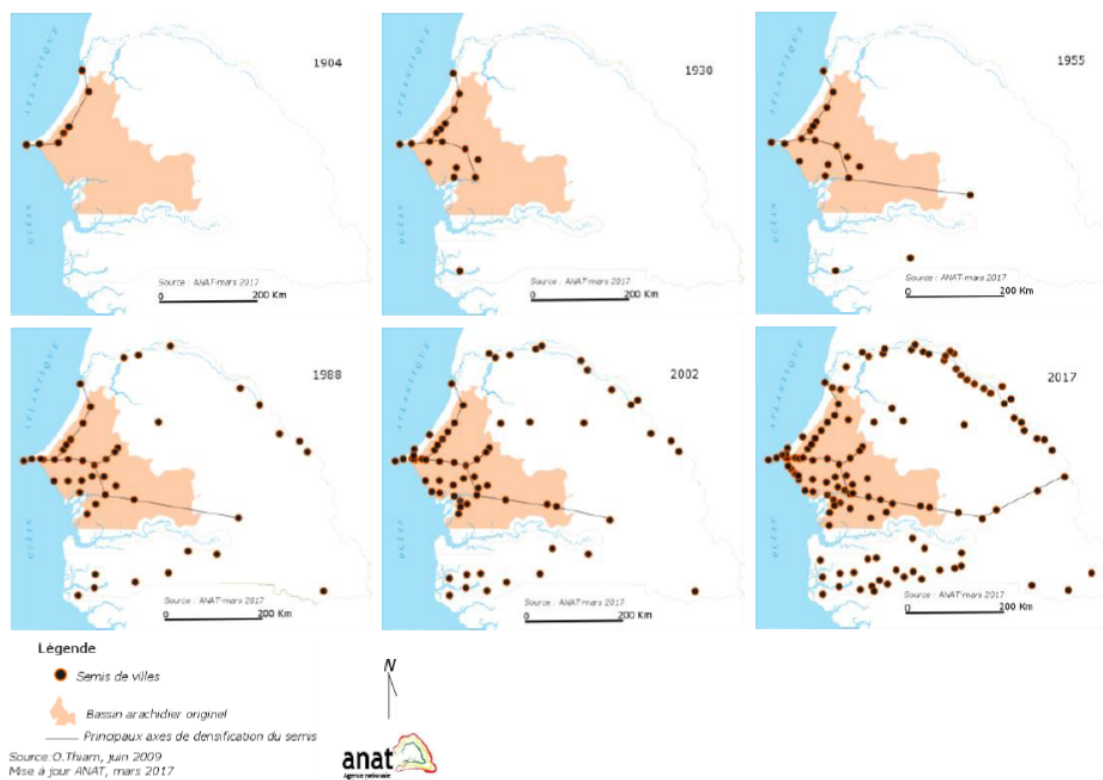


Figure 9 : Rapport Urbain – Rural dans les régions du Sénégal en 2018

Source : Données ANSD 2018

Les cartes ci-dessous présentent le semis urbain du Sénégal de 1904, c'est-à-dire avant l'indépendance, à 2017. Aujourd'hui, en dépit de quelques centres urbains installés le long du fleuve

Sénégal, l'essentiel des centres urbains se situe dans la moitié ouest du pays, ce qui témoigne la forte pression subie par la zone littorale.



Carte 16 : Évolution du semis urbain au Sénégal entre 1904 et 2017

Source : Plan National d'Aménagement et de Développement territorial (PNADT) Juin 2019

La croissance urbaine est due en grande partie, à un exode massif de la population rurale vers les centres urbains. La non maîtrise du phénomène a donné naissance à plusieurs quartiers irréguliers dans de nombreuses villes du Sénégal.

Tableau 6 : Situation des quartiers irréguliers dans les capitales régionales du Sénégal en 2004

Ville	% de la superficie des quartiers irréguliers dans les villes
DAKAR	35%
DIORBEL	16%
FATICK	10%
KAOLACK	25%
KOLDA	15%
LOUGA	10%
MATAM	10%
SAINT LOUIS	30%
TAMBACOUNDA	20%
THIES	40%
ZIGUINCHOR	25%

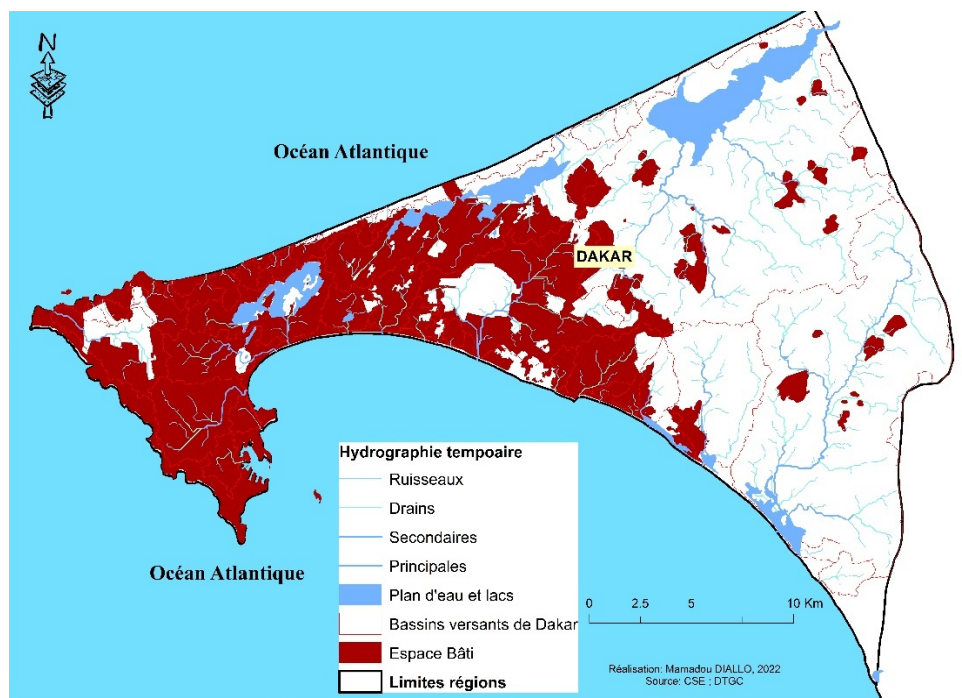
Source : MHC, ONU-HABITAT, 2004

Ce processus d'urbanisation galopante ne s'est malheureusement pas accompagné d'une croissance significative dans les secteurs économique et social, et il a entraîné d'importants problèmes dans les secteurs de l'habitat, de la santé, des transports, de l'éducation, de l'assainissement, etc.²³. Il faut noter

²³ Profil urbain national du Sénégal, ONU HABITAT

qu'une urbanisation mal maîtrisée peut en outre aggraver les risques d'inondation en raison de changements inadaptés d'affectation des terres. Les principales causes des inondations retenues sont :

- L'habitat irrégulier qui empêche la mise en place de la voirie, de système adéquat de drainage des eaux pluviales et d'infrastructures ;
- Une forte urbanisation des zones de terres basses ;
- Une forte pression foncière sur les zones non aedificandi (dans les Niayes) ;
- L'obstruction des voies d'eau par l'occupation anarchique dans les zones urbaines ;
- L'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings...) qui limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement.²⁴



Carte 17: Occupation du bâti dans la région de Dakar

La superficie urbanisée de Dakar est passée de 14 940 hectares à 18 300 hectares entre 2000 et 2010, soit une variation positive de 22,5%. La part du bâti dans la surface totale urbanisée est passée de 80,5% en 2000 à 84% en 2010. La carte ci-dessus illustre la façon dont le bâti a quasi obstrué toutes voies d'eau naturelles (rupture de la continuité des cours d'eau) qui devraient permettre à l'environnement de la région de Dakar de respirer.

²⁴ CDN Inondation, ((non daté)



Photo 4 : Habitat dans une zone inondable

Source : Plan Directeur de Drainage des eaux pluviales de la région périurbaine de Dakar

3.2.2.2.4. Les réponses aux problèmes des inondations

Pour faire face à la question du changement climatique, le Sénégal à l'instar de la communauté internationale, a mis en place un plan national d'adaptation au Changement climatique (PANA) en 2006. Ce plan après une étude des vulnérabilités propose des options d'adaptation en fonction des secteurs (ressources en eau, agriculture, zones côtières). En outre, la ferme volonté de s'adapter se lit même au niveau institutionnel avec la création d'un Ministère en charge des inondations avec le Ministère chargé de la Restructuration et de l'Aménagement des Zones d'Inondation (MRAZI) par la suite reprise dans le ministère du Renouveau urbain, de l'Habitat et du Cadre de Vie (MRUHCV). Des outils stratégiques sont aussi élaborés pour accompagner le PSE. Il s'agit du (i) plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) de la (ii) Stratégie Nationale de Gestion des Eaux de Ruissellement et de lutte contre la Salinisation des Terres au Sénégal (SNGDERST) 2013-2027 ; du (iii) Projet de Gestion des Risques de Catastrophes et d'Adaptation aux Changements Climatiques ; de la (iv) conception et de la mise en place d'un système d'alerte précoce (SAP) axé sur les inondations, (v) du Plan décennal de lutte contre les inondations 2012-2022.

Du point de vue opérationnel, Plusieurs stratégies sont mises en œuvre par les autorités publiques avec l'appui de partenaires au développement (Banque Mondiale, Fonds Nordique de Développement, Agence française de développement (AFD), etc.) :

- Le "plan Jaxaay" avait pour objectif la construction de logements pour les sinistrés des inondations ainsi que la construction d'ouvrages hydrauliques de drainage faisant souvent appel au système de pompage d'urgence. Le plan devait permettre de construire plus de 3000 logements à Dakar et dans d'autres régions du pays. Les habitations en zones inondées ont été détruites et remplacées par des bassins de rétention pour permettre le ruissellement des eaux de pluie¹.
- Le programme d'action prioritaire de prévention des inondations 2010 (PAPI) : Ce programme est une suite logique du plan Jaaxay initié par le gouvernement du Sénégal. Les actions planifiées tournaient entre autres sur l'analyse et l'intégration des apports de l'outil SIG dans la lutte contre les inondations dans le cadre du Plan Jaxaay. L'ensemble de ces actions du Plan Jaxaay contribue à la réhabilitation et à la revitalisation de la localité qui était une zone réceptacle des eaux de pluies.

- Le Projet d'atténuation des effets induits par les inondations dans les régions de Dakar, Fatick, Joal, Kaolack, Saint Louis et Thiès. Il est acquis par le MRUHCV grâce à l'appui de la Banque Islamique de Développement (BID), un financement d'un montant de 19 140 000 000 F CFA (38 280 000 USD).
- Le projet de lutte contre les inondations à Pikine Irrégulier Sud entre dans le cadre du financement de la lutte contre le changement climatique. La durée du projet est de six (06) ans à partir de 2015. Sa mise en œuvre a permis de poursuivre la restructuration urbaine du quartier de Pikine Irrégulier Sud en banlieue de Dakar et réduire la vulnérabilité des populations face aux inondations. Ce projet a prévu la réalisation d'infrastructures de drainage permettant d'évacuer les eaux pluviales, la réalisation de réseaux de collecte des eaux usées, des actions de renforcement des capacités auprès de l'Office National de l'Assainissement du Sénégal ainsi que la réalisation de campagnes d'information et de sensibilisation à l'endroit des populations de Pikine Irrégulier Sud pour l'adaptation aux effets du changement climatique.
- Le Plan décennal 2012-2022 de lutte contre les inondations d'un financement de 767 milliards de francs CFA a été proposé par le gouvernement "pour venir à bout du phénomène des inondations". Il a été validé par le gouvernement, avec une première phase d'urgence étalée sur la période 2012-2013, une phase à court et moyen terme étalée sur la période 2014-2022 qui se devait de mettre en cohérence l'ensemble des projets en cours ». Du point de vue opérationnel, PDGI s'exprime à travers une série d'actions :
 - o le « Projet de Gestion des Eaux pluviales et d'Adaptation au changement climatique » (PROGEP 1).
 - o Programme National d'Aménagement et de Restructuration des Zones d'Inondation (PNARZI)
- Le Projet de Gestion des Eaux pluviales et d'Adaptation au changement climatique (PROGEP II) s'inscrit dans la continuité des efforts déjà consentis par l'Etat dans le PROGEP I, pour la gestion des eaux pluviales et le renforcement de la résilience dans les zones concernées. Il a pour objectif de « Réduire les risques d'inondation dans les zones périurbaines de Dakar et améliorer les capacités de planification et de gestion intégrée des risques d'inondation dans certaines villes du Sénégal ».
- Projet de gestion intégrée des inondations au Sénégal se fixe comme objectif d'accompagner le Sénégal dans la lutte contre les inondations à l'échelle nationale, afin de permettre aux populations vulnérables du pays de mieux résister aux inondations fréquentes qui frappent le territoire. Pour cela, le projet qui s'étale de 2016 à 2023 ambitionne de mettre en place une politique de gestion intégrée des risques, à travers des actions visant à connaître et à réduire les risques et renforcer la gouvernance. À terme, le projet permettra de renforcer la gouvernance des acteurs au Sénégal, pour rendre le pays plus résilient aux inondations.

En amont des projets, le Sénégal a aussi investi bien que timidement dans le secteur de l'assainissement. Il faut d'emblée notée que le développement des infrastructures de drainage des eaux usées ainsi que des eaux pluviales n'a pas suivi celui de l'urbanisation croissante et souvent non maîtrisée dans les différentes villes ; cela se traduit par des inondations dans les zones dépourvues de réseau et dans celles où la capacité du réseau est devenue insuffisante. A cela, s'ajoute le faible taux de raccordement des populations à l'égout. Il est estimé à 9% (ANSD, 2022). En effet, seules quelques villes du pays disposent d'un réseau d'assainissement collectif.

Tableau 7 : Liste des réalisations dans le secteur des eaux usées au Sénégal

Villes	Linéaire réseau Collectif EU (km)	STAP construit (U)	STAP Réhabilitée (U)	Branchement réseau (U)	STEP construit (U)	STBV construits (U)
Dakar	1 584	51	10	118 122	3	2
Rufisque	47	05		5 443	3	2
St Louis	100	8	1	8 799	1	1
Louga	95	6	2	4 477	1	1

Villes	Linéaire réseau Collectif EU (km)	STAP construit (U)	STAP Réhabilitée (U)	Branchement réseau (U)	STEP construit (U)	STBV construits (U)
Thiès	76	1	-	5 213	1	
Kaolack	69	4	-	2 047	1	
Saly	07	5	-	-	1	
Mbour	33	3	-	1 525	1	1
Tivaouane	16	-	-	831	-	1
Diourbel	11	2	-	1 200	1	1
Mbacké	-	-	-	-	-	1
Fatick	25	1		556	1	1
Matam	17			816		
Richard Toll	22	4	-	1 252	1	1
Tambacounda	36			805		
Ziguinchor	20	1		705		
Kolda						
Joal	46	4		2 859	1	1
Touba	20			1 076		1
TOTAL ACQUIS	2 227	95	13	155 726	16	14

Source : ONAS

Face à l'ampleur et la récurrence du phénomène des inondations, il est clair que le Sénégal reste nettement sous équipé en termes de réseau d'évacuation des eaux pluviales. Le cumul du linéaire de réseaux est d'environ 380 km dont 194 dans la ville de Dakar. Les stations de pompage des eaux pluviales sont au nombre de 80.

Tableau 8 : Liste des réalisations dans le secteur des eaux pluviales au Sénégal

Villes	Linéaire de réseaux EP (km)	STAP EP (u)	Bassins (u)
Dakar	194	48	-
Rufisque	11		
St Louis	32	14	-
Louga	8	1	1
Thiès	12	-	-
Fatick	06	02	1
Kaolack	20	-	-
Kaffrine	2,5	1	1
Mbour	7	1	-
Tivaouane	4	-	1
Diourbel	12	2	3
Mbacké	3	-	2
Fatick	14	1	1
Dagana	0	1	
Matam	5	1	
Richard Toll	20	3	1
Podor	4	1	
Bambey	5	1	1
Touba	19	3	1
TOTAL ACQUIS	379,5	80	13

Source : ONAS

Il est établi aussi qu'il y a un lien de causes à effets entre les infrastructures et la vulnérabilité aux inondations. La qualité des infrastructures, l'insuffisance, le vieillissement ou le manque d'entretien des réseaux de drainage des eaux pluviales et d'assainissement sont déterminants dans l'analyse du

phénomène qui tend à être récurrent. D'autres problèmes inhérents à la ville sénégalaise sont aussi à souligner. Il s'agit entre autres de :

- L'état défectueux des routes ;
- L'ensablement de la voirie ;
- L'inexistence d'ouvrage de drainage des eaux pluviales ;
- Le sous dimensionnement de certains ouvrages existants ;
- L'inexistence de réseau d'assainissement des eaux usées dans plusieurs villes ;
- L'insuffisance d'ouvrages de franchissement ;
- L'insuffisance dans la gestion durable des ouvrages de drainage des eaux pluviales ;
- Le rejet des déchets solides dans le réseau etc.



Photo 5 : Rejet de déchets solides dans un canal d'évacuation des eaux.

Source : DPGI

3.2.2.2.5. Analyse du cadre institutionnelle

Le cadre institutionnel a évolué à travers les années au gré des politiques et stratégies prioritaires développées par l'Etat du Sénégal. Ce cadre est composé de plusieurs structures aux statuts très diversifiés mais quelquefois redondants. Il peut être présenté suivant deux niveaux : le niveau consultatif et le niveau exécutif.

- Cadre consultatif

Le niveau consultatif est le lieu de concertation, de dialogue, de partage et de participation de tous les acteurs et partenaires en matière de gestion des risques et catastrophes (GRC). Il est caractérisé par la coexistence de cadres d'échange à dimension transversale et sectorielle.

Tableau 9 : Cadre consultatif

Organes	Base légale	Description
La Commission Supérieure de la Protection Civile (CSPC)	Le décret N° 99-158 du 22 février 1999 abroge et remplace le décret n° 93-1289 du 17 novembre 1993 fixant la composition, le fonctionnement et les attributions de la CSPC.	Elle est l'organe de consultation dans le domaine de la prévention et de la gestion des catastrophes. Elle assiste donc le Ministre de l'intérieur et coordonne les activités sectorielles de prévention des catastrophes et d'organisation des secours ¹⁴ . Elle est relayée par des commissions régionales et auxiliaires. Sa composition démontre la prépondérance de l'autorité étatique sur le sujet.
La Plateforme Nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques Majeurs de	Décret n° 2008-211 du 4 mars 2008 portant création d'une plateforme nationale pour la Prévention et la Réduction des	Elle matérialise un des engagements du Sénégal en 2005 dans le Cadre d'Action de Hyogo ¹⁶ . Elle est conçue pour être le pilier central du dispositif de la gestion des risques et catastrophes.

Organes	Base légale	Description
Catastrophes (PNPRRMC)	risques majeurs de catastrophes.	Elle intègre les partenaires internationaux qui sont mis à contribution dans la réflexion des stratégies et politiques de réduction des risques et catastrophes.
Le Comité National Changements Climatiques (COMNACC)	Créé par l'arrêté ministériel n°1220 MEPN/DEEC du 7 mars 2003 dans de la mise en œuvre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements climatiques.	Le Comité national Changements climatiques est un organe de formation, de sensibilisation, de coordination, de concertation, de gestion et de suivi des différentes activités identifiées dans le cadre de la mise en œuvre des mesures de réduction des gaz à effet de serre (GES) et d'adaptation ainsi que de lutte contre les impacts négatifs des changements climatiques.
Le Comité Nationale de Gestion des Inondations (CNGI)	Créé en 2012 puis modifié par arrêté en 2019 suite au remaniement du Gouvernement. Il est désormais rattaché au Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA).	Le CNGI est un cadre de coordination de la mise en œuvre de la politique nationale de prévention et de gestion des Inondations. Il se compose de l'ensemble des structures et directions liés à la gestion des inondations. Le CNGI s'appuie sur une Cellule de veille et de suivi des inondations (CVSI) qui sert également d'appui-conseil au Ministre chargé des Inondations et facilite ainsi le pilotage cohérent des opérations de prévention et de lutte contre les inondations.

- Cadre exécutif

Le niveau exécutif répond à la nécessité de disposer de structures opérationnelles chargées de l'exécution des politiques de l'Etat en matière de réduction des risques de catastrophe (RRC) et de la mise en cohérence des interventions. Une myriade d'acteurs publics au rôle trop cloisonnés intervient parfois avant et/ou après la manifestation du phénomène d'inondation.

Tableau 10 : Cadre exécutif

Structure	Mission
Direction de la Prévention et de la Gestion des Inondations (DPGI)	Son rôle est de promouvoir une gestion cohérente et priorisée de la gestion du risque inondation. Son approche mobilise tous les acteurs concernés en élaborant conjointement une stratégie de gestion du risque.
Direction de l'Assainissement	Elle joue un rôle dans la politique de lutte contre les inondations : la DA est responsable de l'élaboration et du suivi de l'exécution de la politique nationale d'assainissement, qui inclut la gestion des eaux pluviales en milieu urbain.
Office National d'Assainissement du Sénégal (ONAS)	Il est sollicité dans la mise en œuvre des projets de construction, réhabilitation et dans l'exploitation et la maintenance des ouvrages de drainage.
Agence de Développement Municipal (ADM)	Sa mission est de favoriser la prise en charge du développement à l'échelle locale notamment en appuyant les communes dans la gestion urbaine. Elle prend également en charge l'élaboration et la réalisation du PROGEP qui lui ont été confiées.
Direction de la Protection Civile (DPC)	Elle joue un rôle central en matière de pilotage et coordination des interventions en cas de survenue de catastrophes. Elle met en œuvre le Plan Orsec (mécanisme national de prévention des risques et de gestion des catastrophes).
Brigade Nationale des Sapeurs-Pompiers (BNSP)	Bras opérationnel de la DPC, la BNSP secourt et assiste les populations sinistrées. Elle évacue les eaux par pompage. Elle fait une reconnaissance des sites et pré-positionne le matériel de pompage.
Direction de l'Urbanisme et de l'Architecture (DUA)	Les missions d'urbanisme et de contrôle de l'utilisation des sols sont au cœur de la gestion des inondations. Au-delà de la Direction, le ministère de l'urbanisme, élabore les règles relatives à la planification urbaine, à l'occupation du sol, à l'urbanisme opérationnel, et veille à leur application.
Fondation Droit à la Ville (FDV)	La FDV est une agence de l'État missionnée pour la restructuration des quartiers informels et elle peut inclure des actions de GEP dans ses missions. Les Communes peuvent déléguer leur maîtrise d'ouvrage à la FDV dans le cadre de certains projets.

Structure	Mission
AGERROUTE	Elle passe des marchés avec des entreprises spécialisées pour le curage des réseaux d'assainissement d'eau pluviale sur le réseau routier. Elle assure le pompage et l'évacuation des eaux de pluie du réseau routier.
Agence nationale de la Promotion de l'Investissement et des grands travaux (APIX)	Le cadre de certains travaux l'agence peut prendre en charge la construction de réseau de drainage pluvial et la restructuration foncière en maîtrise d'ouvrage déléguée par l'Etat.
Agence d'Exécution des Travaux d'Intérêt Public contre le sous-emploi (AGETIP)	Agence étatique qui peut se voir déléguer la maîtrise d'ouvrage de projets divers, y compris de drainage. On constate toutefois que comme pour l'APIX l'action de ces agences s'articule parfois mal avec celle des autres services de l'état et des collectivités territoriales.
Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE)	La DGPRE fixe un plan d'action qui consiste à mettre en place une gestion intégrée des ressources en eau (eau potable, eaux souterraines et de surface essentiellement).
Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM)	L'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM), est chargée, entre autres, pour le compte de l'Etat du Sénégal de la supervision et de la coordination de l'ensemble des activités météorologiques, climatologiques et des questions scientifiques liées au changement climatique ; de la gestion du réseau d'observations météorologiques, y compris les installations, la maintenance des équipements et l'échange des données à l'échelle mondiale.
Service National de l'Hygiène (SNH)	Il assure la prévention et les contrôles en matière de respect des normes d'hygiène et de salubrité sur l'espace public comme dans les établissements privés. Il peut accompagner des campagnes de formation et sensibilisation, notamment à la demande des communes.
Direction de l'Environnement et des Etablissements classés (DEEC)	La DEEC encadre la procédure d'évaluation environnementale des projets et accompagne l'ensemble des activités devant être mises en œuvre dans du Plan de Gestion Environnementale et Sociale (CGES).
Collectivités territoriales	Dans le cadre de la décentralisation des compétences sont transférées aux collectivités territoriales des compétences parmi lesquels : aménagement du territoire, urbanisme, habitat, assainissement, santé, gestion environnementale et ressources naturelles. Elles sont au cœur des inondations puisqu'elles sont, d'après la loi, en charge de l'assainissement pluvial, de l'assistance aux populations.

Plusieurs acteurs interviennent dans la prévention et la gestion des inondations. Afin de coordonner les différentes actions mises en œuvre par ces différents acteurs, un Comité National de Gestion des Inondations (CNGI) a été mis en place par arrêté n° 026084 du 22 novembre 2019. Ce Comité, présidé par le Ministre de l'Eau et de l'Assainissement, sert de cadres d'échanges et de synergie entre les acteurs. Il permet de promouvoir l'efficacité de la dépense publique. Il se réunit plusieurs fois par an.

Les Comités régionaux de Gestion des Inondations (CRGI) et les Comités départementaux de Gestion des Inondations (CDGI) sont les déclinaisons au niveau local du CNGI et sont présidés respectivement par les gouverneurs et les préfets. Par ailleurs, le CNGI s'appuie sur une Cellule de Veille et de Suivi des Inondations (CVSI) qui sert également d'appui-conseil au Ministre de l'Eau et de l'Assainissement et facilite ainsi le pilotage cohérent des opérations de prévention et de lutte contre les inondations.

3.2.2.2.6. Dynamique économique

Le Sénégal est classé parmi les pays à revenus intermédiaires inférieurs depuis 2010 et vise le statut de pays émergent en 2035 avec un taux de croissance annuel de +7%. C'est en partie pour atteindre cet objectif que le Sénégal a adopté une Stratégie de Croissance Accélérée²⁵. Son économie est portée par trois secteurs qui sont souvent profondément affectés par les inondations. Il s'agit :

- Du secteur primaire : il a une part significative dans l'économie sénégalaise. Il est le principal support de relance de la production nationale et de réalisation des stratégies de croissance économique. Le PIB du secteur primaire a enregistré une croissance moyenne annuelle de 9,2% sur la période 2015-2017, contre 4,2% sur celle 2007-2013. Cela témoigne le dynamisme du secteur qui voit sa part dans la structure du PIB augmenter en passant de 14,3% en 2015 à 16% en 2017.
- Du secteur secondaire : il constitue un pan important de l'économie sénégalaise. Il a contribué à hauteur de 22,6 % dans la formation du PIB en 2017. Sur la période 2007-2017, cette contribution s'est maintenue au-dessus de 20% avec un pic de 23,6% en 2015 et un minima de 20,1% en 2008. Le secteur secondaire intègre les activités industrielles, l'exploitation minière, l'artisanat, le BTP. C'est un secteur générateur d'emplois et participe à la création de richesses.
- Du secteur tertiaire : il est composé des sous-secteurs du commerce, des transports, du tourisme, des banques et services financiers et de l'économie numérique. L'amélioration progressive de l'environnement des affaires, la position géostratégique du Sénégal et sa stabilité politique, les atouts touristiques et les avancées technologiques dans le domaine des TIC font que le secteur tertiaire devient de plus en plus important dans l'économie nationale. Sur la période 2007-2017, sa contribution moyenne à la formation du PIB national est relativement stable, autour de 46,7%²⁶.

Il faut aussi souligner que malgré les opportunités offertes par les différents secteurs d'activités, il apparaît des différences de niveau de pauvreté considérables entre les régions. En 2019, la région de Dakar, de par ses opportunités économiques, présente le niveau de pauvreté le plus bas avec moins d'une personne sur dix soit un taux de 9,0%. Elle est suivie par la région de Thiès où le tiers de la population (34,1%) est touché par la pauvreté.

Les autres régions pourraient être regroupées en deux groupes ou catégories. Le premier groupe concerne principalement les régions du Sud et de l'Est. Il s'agit des régions de Sédhiou (65,6%), Kédougou (61,9%), Tambacounda (61,9%), Kolda (56,6%), Ziguinchor (51,1%) et Kaffrine (53,0%) où plus de la moitié de la population vit sous le seuil de pauvreté. Le second groupe est composé des régions du Nord et du centre que sont Saint-Louis (40,1%), Kaolack (41,5%), Louga (43,4%), Diourbel (43,9%), Matam (47,7%) et Fatick (49,2%) (ANSD, 2019). Le faible taux d'emploi et le taux de chômage élevé expliquent par endroit le niveau élevé de pauvreté et de vulnérabilité sociale dans le pays.

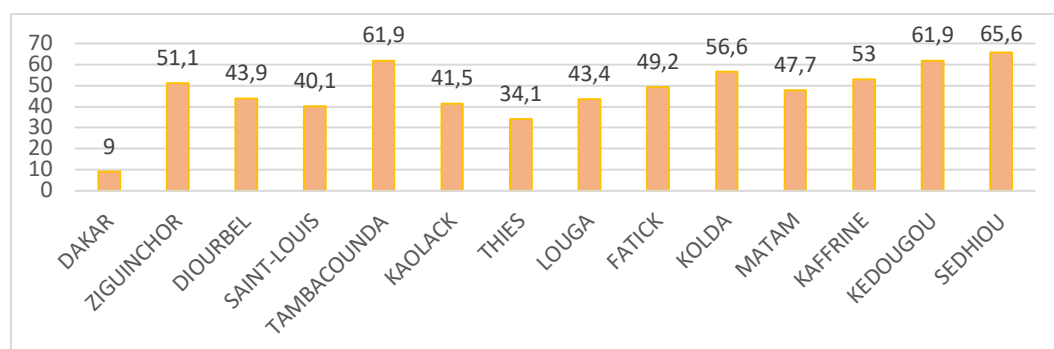


Figure 10 : Taux de pauvreté par région

²⁵ "Banque Mondiale, Rapport sur le développement dans le monde 2015"

²⁶ DGPEE, 2019

3.2.3. Les inondations, un véritable goulot d'étranglement

L'impact des inondations sur la dynamique de développement constitue un problème pour l'émergence du Sénégal. Au cours des dernières décennies, elles ont touché aussi bien les zones urbaines que rurales. Entre 1980 à 2009 inclus, les inondations ont affecté plus de 900 000 personnes, tué 45 personnes et causé des dégâts estimés à plus de 142 millions USD. En se référant de façon plus précise à l'évaluation des inondations de 2009, on se rend compte qu'aucun secteur n'est épargné par la manifestation du phénomène des inondations. Le rapport révèle que les secteurs clés les plus touchés sont le logement (49%), la santé (14%), l'agriculture (11%), l'éducation (10%), le transport (8%), l'industrie et le commerce (5%) (Banque Mondiale 2009)²⁷.

Le chiffrage des impacts des inondations de 2009 à Dakar et dans le reste du pays est évalué à près de 44,5 milliards de FCFA, soit plus de 104 millions USD. Les dommages (patrimoine, infrastructures, stocks) sont estimés à 24 milliards de FCFA (56 millions USD) et les pertes (flux réduits, pertes de production, réduction des chiffres d'affaires, coûts et dépenses incrémentés comme conséquence de la catastrophe) à 20,4 milliards FCFA (48 millions USD) (voir tableau ci-dessous). A ces pertes et dommages, il faut ajouter un coup relèvement et de reconstruction estimé à 204,6 millions de dollars.

Tableau 11 : Estimation des pertes et dommages causés par les inondations

	Dommages	Pertes	Total	% dommages	% pertes
Infrastructure	2 230	6 247	8 477		
Transport	2 038	2 767	4 804	8%	14%
Eau et assainissement (inclus déchets solides)	190	572	762	1%	3%
Energie	2	2 908	2 910	0%	14%
Secteurs sociaux	17 606	6 902	24 508		
Logement	11 695	3 276	14 971	49%	16%
Infrastructures urbaines communautaires	180	3 070	3 250	1%	15%
Santé	3 308	556	3 864	14%	3%
Éducation	2 423	0	2 423	10%	0%
Secteurs productifs	3 907	7 025	10 932		
Agriculture, élevage et pêche	2 602	3 026	5 628	11%	15%
Commerce et industrie	1 305	3 999	5 304	5%	20%
Environnement	261	295	556		
Zones protégés et parcs nationaux	261	295	556	1%	1%
TOTAL (millions de CFA)	24 004	20 469	44 473	100%	100%

Source : Rapport d'Évaluation des besoins POST Catastrophe : Inondations urbaines à Dakar 2009

Si les inondations de 2009 ont fait l'objet d'une évaluation beaucoup plus détaillée, il faut aussi noter que les années qui ont suivies ont aussi été aussi désastreuses que dramatiques dans beaucoup de contrées du pays. En 2012, le décompte révéla 26 personnes décédées, 264 000 sinistrés et 7737 habitations inondées, 5000 familles déplacées (dont plus de 50% proviennent des régions de Dakar et de Matam). En 2016, environ 12 000 personnes ont été sinistrées dont la plupart (plus de 75 %) étaient des paysans pauvres dont les cultures ont été détruites, mettant en péril leurs moyens d'existence. À Kayenne, 55 familles sinistrées et 5 tonnes de vivres ont été emportées par les eaux en 2017 au moment où l'année suivante, c'est-à-dire 2018, environ 1000 sinistrés ont été enregistrés dans la première semaine du mois de septembre à Passy (DPGI, 2022). Autant dire que les impacts sont lourds et inégalement ressentis en fonction de la vulnérabilité des localités.

²⁷ Rapport d'Évaluation des besoins POST Catastrophe : Inondations urbaines à Dakar 2009

3.2.4. Évaluation de la vulnérabilité actuelle

La vulnérabilité n'est pas une caractéristique mesurable d'un système, comme peuvent l'être la température, les précipitations ou la production agricole. Il s'agit d'un concept qui traduit l'interaction complexe de plusieurs facteurs qui vont déterminer la sensibilité d'un système aux effets du changement climatique. Cependant, il n'existe pas de règle établie définissant les facteurs qui doivent être considérés, ni de méthode pour les quantifier. C'est pourquoi nous parlons « d'évaluer » ou « d'analyser » plutôt que de « mesurer » la vulnérabilité.

Les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité présentés dans la carte qui suit sont la résultante d'une série de traitement. En effet, chacune des composante (Exposition, Sensibilité et Enjeux) ont été analysé à partir d'une série d'indicateurs établis.

Il faut rappeler qu'une entrée territoriale a été donnée à l'analyse avec comme échelle de base la région administrative. En effet, la notion de vulnérabilité territoriale découle de l'idée qu'il existe une solidarité de fait entre enjeux majeurs et territoire : les enjeux majeurs sont identifiés par rapport à un territoire et le territoire dépend de ses enjeux majeurs. Ce lien étroit implique la transmission inévitable de la vulnérabilité d'un enjeu majeur identifié et localisé à l'ensemble du territoire. Autrement dit, la vulnérabilité d'un territoire peut s'appréhender par la vulnérabilité de ses enjeux majeurs (Defossez, S. 2018).

- L'exposition

Il faut rappeler que l'exposition est la seule composante de l'analyse de la vulnérabilité qui soit directement liée aux paramètres climatiques, c'est-à-dire au caractère, à l'ampleur et au rythme de l'évolution et de la variabilité climatique. Ainsi la matrice a été alimentée par les indicateurs ci-dessous :

- Intensité des pluies ;
- Récurrence des pluies extrêmes ;
- Volume pluviométrique ;
- Récurrence des crues ;
- Niveau de la mer ;
- Intensité de la houle.

Le résultat du traitement de la matrice Exposition a permis de constater que les régions de Saint-Louis, de Fatick et de Thiès sont les plus exposées aux aléas climatiques. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que ces trois régions soient particulièrement aux aléas lié climat (pluies extrêmes) mais aussi à la mer (houle, ENM) et au fleuve (crue delta du fleuve Sénégal, Delta du Saloum).

- La sensibilité

Certes la sensibilité détermine le degré d'affectation positive ou négative d'un système par une exposition donnée au changement climatique, mais elle est aussi est typiquement façonnée par les caractéristiques de l'environnement naturel et/ou physique d'un système dont la topographie, la capacité de résistance des différents types de sol à l'érosion et le type de couverture du sol. Elle se réfère également aux activités humaines qui influent sur la composition physique d'un système tel que la pression démographique. Les facteurs sociaux tels que la densité de population ne devraient être considérés comme faisant partie de la sensibilité que dans le cas où ceux-ci contribuent directement à un impact spécifique de changement climatique. Partant de cette définition du concept de sensibilité, la liste d'indicateurs à la fois biophysiques et socioéconomiques suivante a utilisée :

- Pente moyenne ;
- Altitude moyenne ;
- Densité du réseau hydrographique ;

- Perméabilité des sols ;
- Densité du couvert végétal ;
- Profondeur de la nappe ;
- Taux d'urbanisation ;
- Densité de la population ;
- Taux de couverture du réseau d'assainissement ;
- Taux de pauvreté.

La matrice Sensibilité a révélé que les régions de Dakar, de Saint-Louis et de Kaolack présentent plus de sensibilité au phénomène d'inondation.

- **L'enjeu**

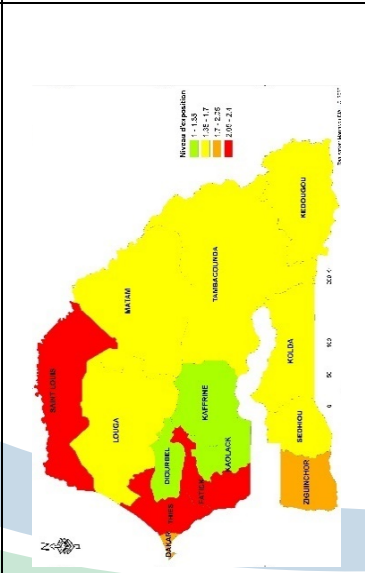
La combinaison de l'exposition et de la sensibilité va déterminer l'impact potentiel du changement climatique sur les différents enjeux portés les différentes régions du Sénégal. En effet, il existe une chaîne d'impact plus ou moins directs qui s'étend de la sphère biophysique à la sphère socioéconomique. C'est pourquoi certains secteurs tels que l'Habitat, le Transport, la Santé, l'Agriculture et le Tourisme particulièrement exposés aux phénomènes d'inondation ont été évalués afin d'apprécier le poids des enjeux pour chaque région. Pour ce faire les indicateurs ci-après ont été considérés :

- Risque sanitaire ;
- Importance du transport ;
- Productivité agricole ;
- Valeur de l'habitat ;
- Dynamique du tourisme.

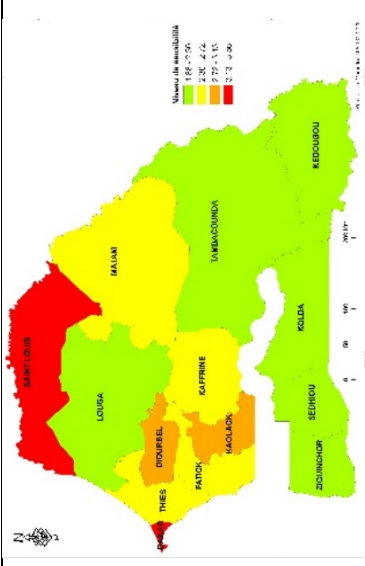
Les résultats de la matrice Enjeux montrent que les régions à enjeux prioritaires particulièrement exposées aux phénomènes d'inondation sont Dakar, Thiès et Saint-Louis.

La combinaison de ces trois composantes a abouti à production de la carte de la vulnérabilité aux phénomènes d'inondation. Le résultat final montre que la région de Dakar reste de loin celle plus vulnérable aux inondations, suivie de la région de Thiès et de Saint-Louis.

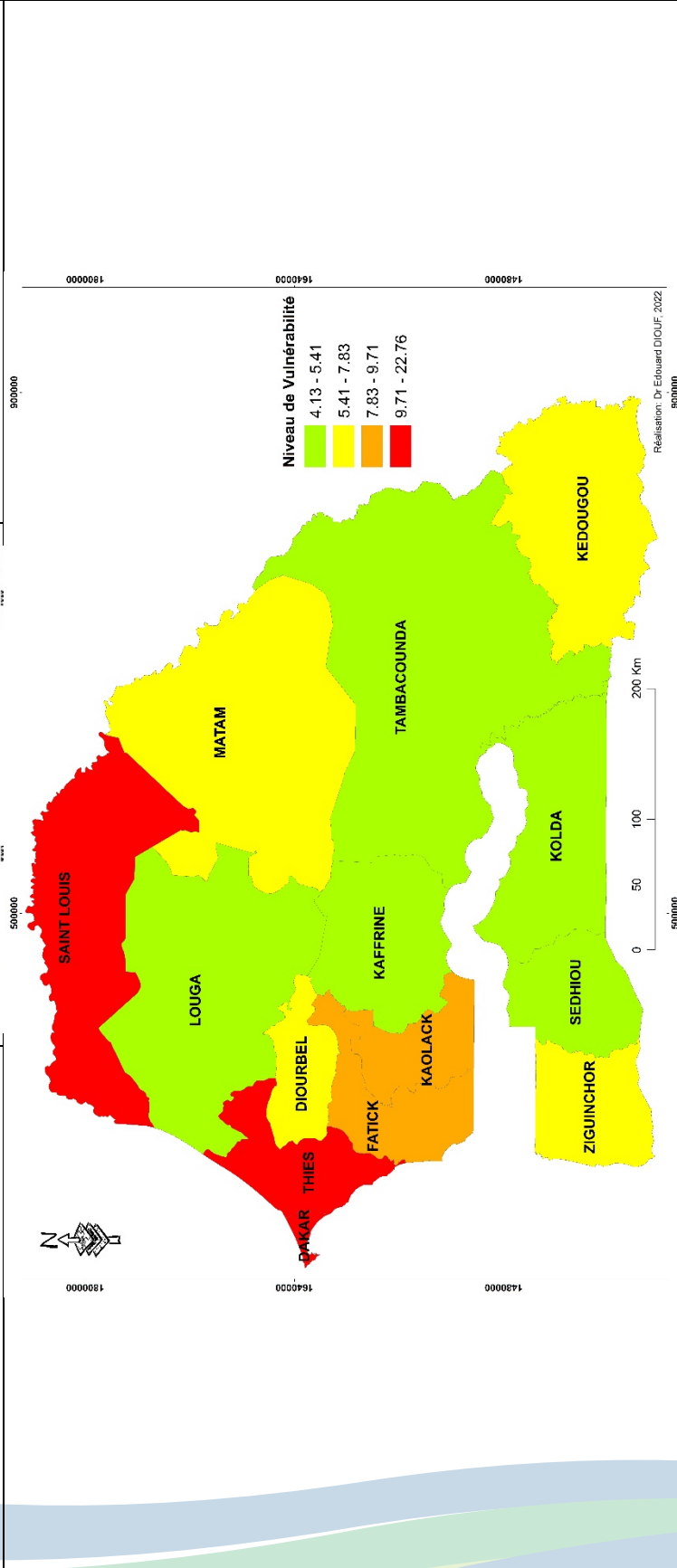
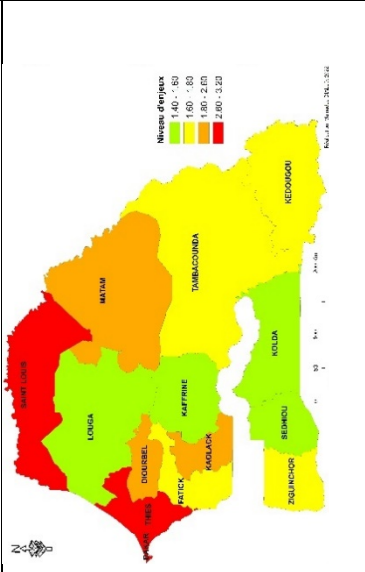
EXPOSITION



SENSIBILITÉ



ENJEUX

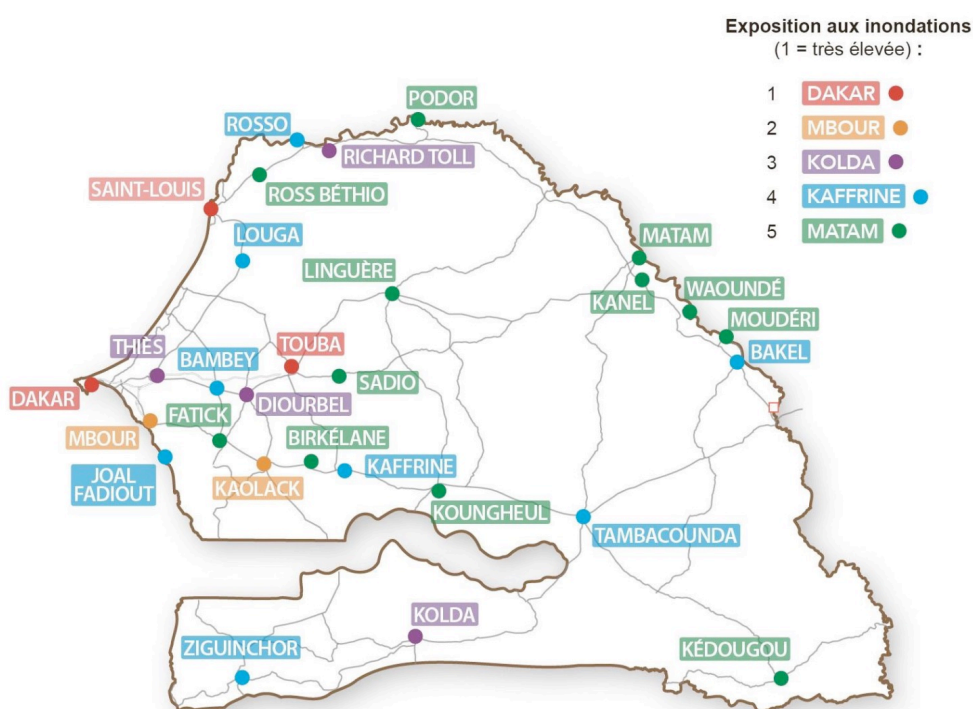


Carte 18 : Vulnérabilité aux phénomènes d'inondation au Sénégal

Les résultats obtenus la démarche présentée ci-dessus, ayant abouti à une classification de la vulnérabilité selon les régions, pourrait être complétés par ceux du PGIIS qui se caractérisent par le fait qu'ils portent sur des villes/localités et non sur des territoires régionaux. En effet, l'équipe d'expert du PGIIS a adopté une démarche plus ou moins similaire. Elle a utilisé une liste d'indicateurs affectés à chaque ville/localité soit plus de 10 000. Les indicateurs utilisés sont :

- Surface totale de la localité en hectare,
- Surface totale de la zone inondable au sein de la localité en hectare,
- Pourcentage de la surface de la localité en zone inondable,
- Nombre total d'habitants dans la localité,
- Nombre d'habitants de la localité demeurant en zone inondable.

À terme, une hiérarchisation a été réalisée sur la base des classes de surface de zone inondable et de nombre d'habitants mettant ainsi en exergue vingt-neuf (29) zones d'urbanisation continue identifiées comme les plus exposées à l'échelle du territoire national. Les zones urbaines de Dakar, Touba et Saint-Louis se présentent comme les plus exposés du pays.



Carte 19 : Carte des 29 villes/localités identifiées comme les plus exposées à l'échelle du territoire sénégalais
Source : DPGI/PGIIS, 2022

3.3. Analyse de la vulnérabilité future

Le Sénégal à l'instar du reste du continent fait partir des pays qui sont très vulnérables aux impacts du réchauffement climatique. De plus en plus, des événements extrêmes s'observent déjà sur le territoire national (cas des inondations de 2009, 2012, 2015) et affecteront davantage de nombreux secteurs économiques vitaux et les populations. La vulnérabilité future aux impacts des changements climatiques sera traitée dans la présente étude en se référant aux scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

3.3.1. Risques climatiques futurs

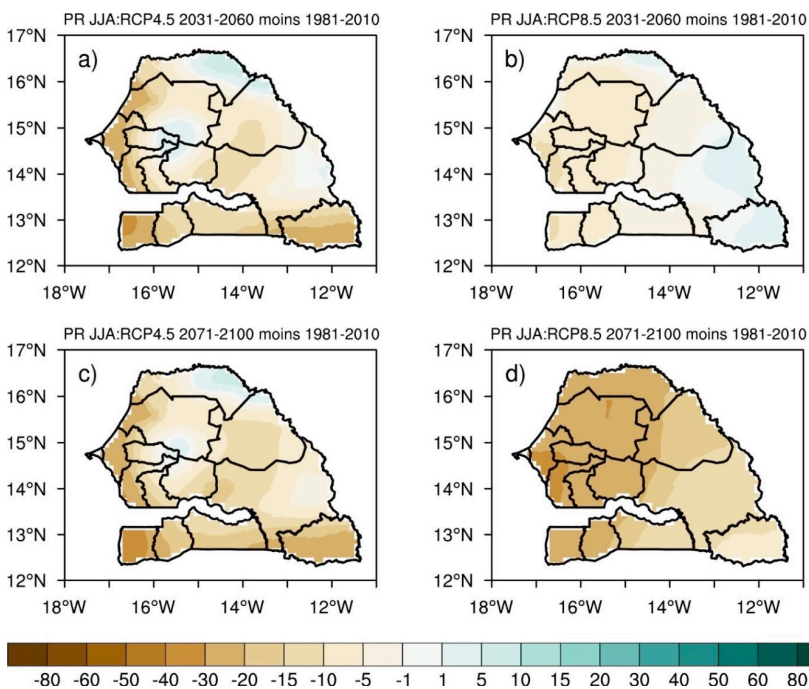
Le changement climatique a un impact sur le volume, l'intensité, la fréquence des précipitations ainsi que sur le comportement hydrologique des bassins versants et la recharge des nappes phréatiques (Gouvernement du Sénégal, Banque mondiale, 2010). Il est donc une composante majeure du risque inondation.

✓ Évolution future du climat

Dans le cadre du présent rapport, l'analyse des changements futurs du climat se focalise principalement sur les précipitations tenant de leur influence directe sur le phénomène d'inondation. La prise de la température pourrait aussi être pertinente, mais à un niveau beaucoup plus global du cycle hydrologique. En effet, une atmosphère plus chaude contient plus de vapeur d'eau et elle est associée à la fois à une augmentation de l'évapotranspiration et à une augmentation des précipitations.

✓ Tendances générales des Précipitations

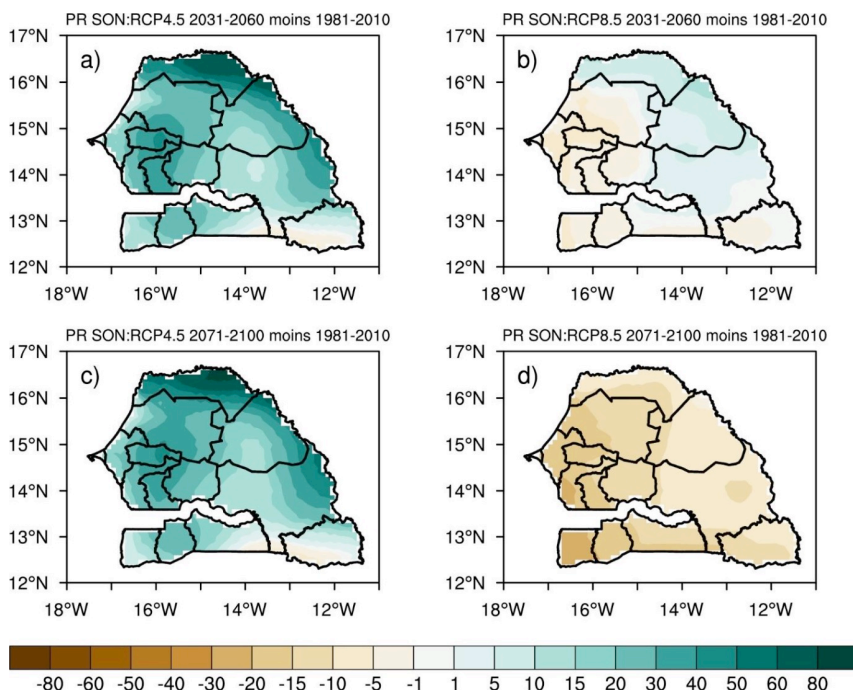
Les résultats des simulations montrent en général une diminution des précipitations en Juin-Juillet-Aout sur la plupart du territoire sénégalais (carte 17). Pour le RCP4.5 dans le moyen terme (c'est à dire 2031-2060), on note une petite augmentation entre 5% et 10% au Nord du pays dans la région de Saint-Louis et un assèchement maximal jusqu'à 30% le long la Côte Ouest. Dans le long terme, l'augmentation des précipitations diminue et l'assèchement s'amplifie. Les changements les plus importants sont obtenus avec le RCP8.5 dans le long terme (2071-2100) où on distingue une forte diminution des pluies saisonnières sur l'ensemble du pays. Les diminutions les plus importantes sont projetées dans la région de Thiès et Kaolack dans le bassin arachidier, tandis que les diminutions les moins importantes sont au niveau du Sénégal oriental.



Carte 20 : Changement (Futur moins Présent) sur la Précipitation moyenne saisonnière en JJA au Sénégal pour le scénario RCP4.5 (Panel gauche) et le scénario RCP8.5 (Panel droit) pour le moyen terme (2031-2060: Panel en haut) et le long terme (2071-2100: Panel en bas). Les changements sont exprimés en pourcentage des valeurs moyennes de la période 1981-2010

En Septembre-Octobre-Novembre et dans le scénario RCP4.5, le Sénégal connaît une augmentation des précipitations sur l'ensemble du territoire avec des maxima de l'ordre de 40% le long du Fleuve Sénégal et au centre du Pays aussi bien dans le moyen que le long terme. En ce qui concerne le

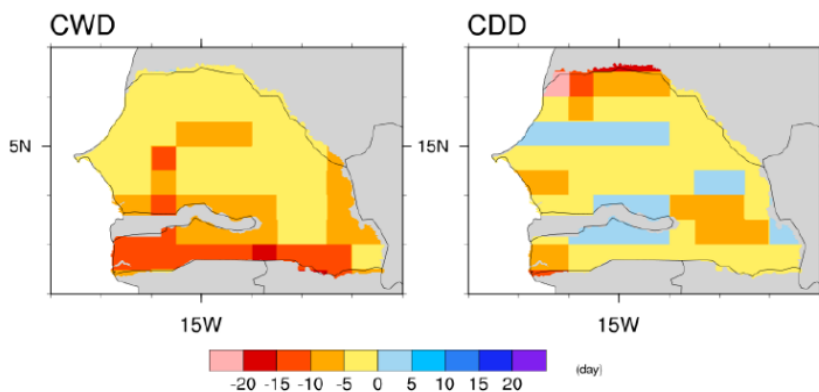
scénario RCP8.5, les projections montrent une faible augmentation le long du Fleuve Sénégal et une faible diminution à l'Ouest du pays. Quant au scénario RCP8.5, une diminution généralisée est projetée avec des maxima sur la moitié Ouest du pays précisément le long des Niayes, dans le bassin arachidier et en Casamance.



Carte 21 : Changement (Futur moins Présent) sur la Précipitation moyenne saisonnière en SON au Sénégal pour le scénario RCP4.5 (Panel gauche) et le scénario RCP8.5 (Panel droit) pour le moyen terme (2031-2060: Panel en haut) et le long terme (2071-2100: Panel en bas). Les changements sont exprimés en pourcentage des valeurs moyennes de la période 1981-2010

- Comportement des précipitations à l'horizon 2035

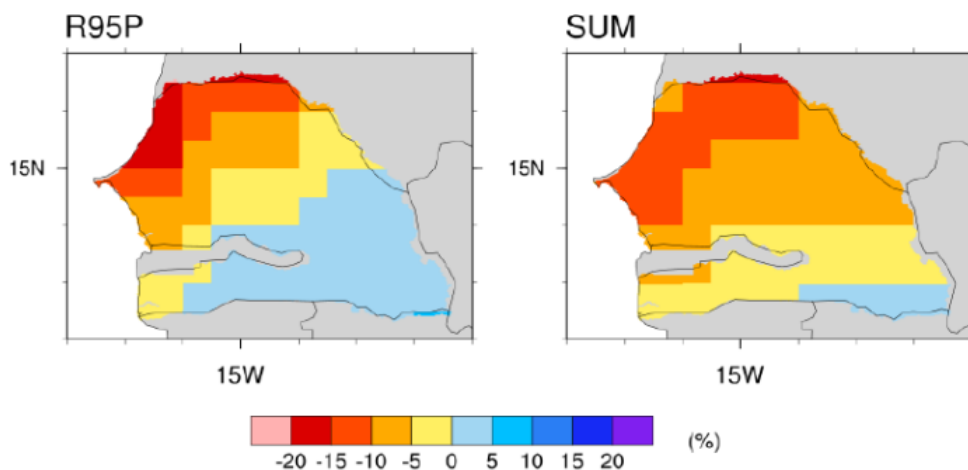
L'interprétation des résultats du scénario RCP8.5 montre que le nombre de jours humides consécutifs (CWD) va diminuer sur toute l'étendue du territoire national. Cette diminution sera beaucoup plus importante dans les régions sud (Ziguinchor, Sédhiou, Kolda et Kédougou). Quant aux jours secs consécutifs (CDD), ils vont augmenter ou diminuer en fonction des régions.



Carte 22 : Variabilité spatiale des indices CWD et CDD selon RCP8.5

Source : Adaptation au changement climatique, CN : La Gestion des Inondations (non daté)

La carte ci-dessous montre les journées très humides (R95P) vont être notées dans le tiers sud-est du Sénégal au moment où le total pluviométrique (SUM) sera globalement à la baisse sur l'essentiel du territoire national avec des valeurs allant jusqu'à -15% à -20% dans le littoral nord.



Carte 23 : Variabilité spatiale des indices CWD et CDD selon RCP8.5

Source : Adaptation aux changements climatiques, CN : La Gestion des Inondations (non daté)

- Élévation du niveau de la mer

Le Sénégal compte en effet parmi les pays les plus exposés aux conséquences du changement climatique, et ce notamment en raison de sa longue frange côtière directement exposée à l'influence océanique²⁸. Si le cinquième rapport du GIEC permet d'actualiser les perspectives en matière d'élévation du niveau moyen de la mer, il est très explicite quant à la persistance d'une très forte incertitude quant à ce paramètre. Durant les 20 dernières années l'élévation moyenne a été de 3,3 mm/an, ce qui n'exclut pas une forte variabilité localement due par exemple à des épisodes de précipitations intenses.

Selon le scénario de concentration RCP4.5, l'élévation serait de 0,36 à 0,71 cm d'ici 2100. Dans le cas du scénario contrasté RCP 8.5 (haut niveau d'émissions) l'élévation serait de 0,52 à 0,98 m. Cette élévation du niveau de la mer se conjugue à d'autres éléments, et notamment aux surcotes de tempêtes liées à une variabilité climatique croissante. Les périodes de forte houle causent de sérieux dommages aux infrastructures. Ces surcotes ont récemment dépassé 1 m au Sénégal où les valeurs de houle décennales ont été enregistrées ces dernières années, atteignant pratiquement le seuil de la valeur centennale (source antenne nationale MOLOA du Sénégal, 2016). En 2100, environ 6000 km² de zones basses, essentiellement les zones estuariennes, seraient inondées. Ceci équivaldrait à une disparition de la totalité des mangroves actuelles et des îles estuariennes.

²⁸ AGENCE DE DÉVELOPPEMENT MUNICIPAL Étude pour l'élaboration d'une stratégie nationale de planification et de gestion urbaine intégrées, prenant en compte la prévention des risques d'inondations et l'adaptation au changement climatique



Photo 6 : Déferlement des vagues au niveau de Rufisque – Sénégal (Digue de protection de Thiawlène)
Source : MOLOA, 2016

3.3.2. La dynamique socioéconomique future

✓ Le PSE à l'épreuve du climat

Le Sénégal a adopté depuis 2014 le Plan Sénégal Émergent (PSE), un nouveau modèle de développement pour accélérer sa marche vers l'émergence. Cette stratégie constitue le référentiel de la politique économique et sociale sur le moyen et le long terme. Cette aspiration à un mieux-être se décline en une vision qui est celle d'« **Un Sénégal émergent en 2035 avec une société solidaire dans un État de droit** ». Les orientations stratégiques qui guident les initiatives qui devant traduire la vision en actions et produire des résultats tangibles s'appuient sur trois axes visant :

- Une transformation structurelle de l'économie à travers la consolidation des moteurs actuels de la croissance et le développement de nouveaux secteurs créateurs de richesses, d'emplois, d'inclusion sociale et à forte capacité d'exportation et d'attraction d'investissements ;
- Une amélioration significative des conditions de vie des populations, une lutte plus soutenue contre les inégalités sociales tout en préservant la base de ressources et en favorisant l'émergence de territoires viables ; et
- Le renforcement de la sécurité, de la stabilité et de la gouvernance, de la protection des droits et libertés et de la consolidation de l'État de droit afin de créer les meilleures conditions d'une paix sociale et de favoriser le plein épanouissement des potentialités.

Le Gouvernement depuis l'adoption du PSE, met en œuvre des projets structurants qui permettront d'inscrire le Sénégal sur une nouvelle trajectoire de développement.

L'évaluation globale des différents impacts et vulnérabilités au niveau national avait déjà montré que l'ensemble des secteurs clés du PSE demeurent tous directement ou indirectement exposés aux impacts du changement climatique. Cette vulnérabilité concerne à la fois les communautés, les écosystèmes, les infrastructures et l'économie nationale. (Contribution déterminée au niveau national du Sénégal, 2020).

✓ Croissance démographique

La croissance démographique du Sénégal est un des curseurs à bien surveiller quand on parle de vulnérabilité future aux phénomènes d'inondation. Il s'agit d'un déterminant qui a une influence directe sur la plupart des facteurs aggravant du phénomène d'inondation (urbanisation, augmentation de la densité, imperméabilisation des sols, occupation anarchique, surpeuplement du littoral etc.). Avec une population estimée à 17 738 795 en 2022 (ANSD, 2019) la population nationale du Sénégal atteindra 54 744 710 habitants à l'horizon 2063 si cette tendance est maintenue.

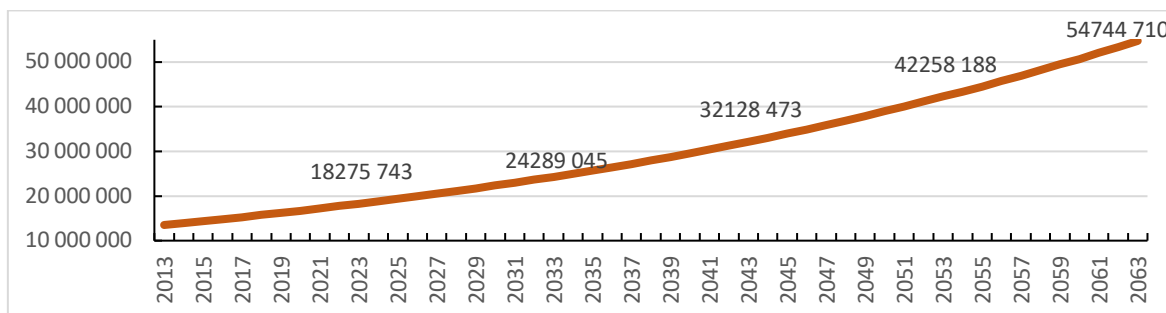


Figure 11 : Evolution de la population du Sénégal de 2013 à 2063

Source : ANSD, 2019

✓ Taux d'urbanisation et Étalement urbain

La croissance démographique s'accompagnera systématique avec l'augmentation du taux d'urbanisation. Evaluer à 45,2% en 2022, le Sénégal pourrait se retrouver avec une population constituée de 64,1% d'urbain soit 35 091 359 de sénégalais.

Cette hausse de la population urbaine aura comme effet direct, l'élargissement des surfaces urbanisées, la naissance de nouveaux pôles urbains, l'augmentation du taux d'imperméabilisation des sols etc. Autant de facteurs qui auront des répercussions directes sur les volumes d'eau écoulées mais aussi sur la connectivité des cours d'eau et pour lesquels il faudrait mener des traitements beaucoup plus poussés. Tout ceci remet au centre la question de l'hydrologie urbaine et au-delà le choix du modèle de développement urbain du Sénégal.

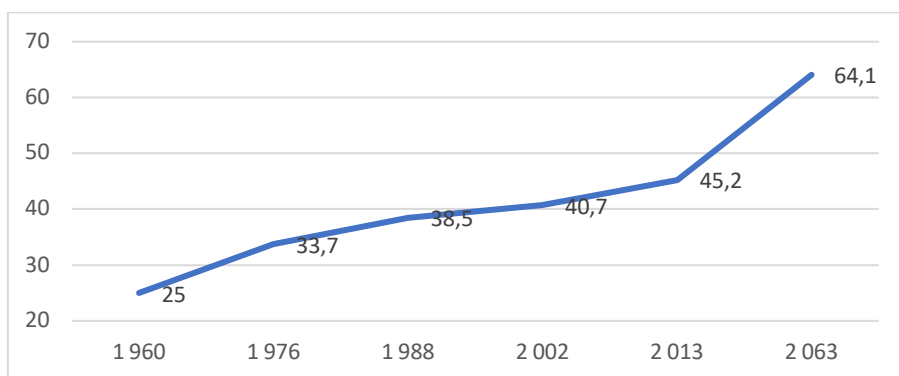


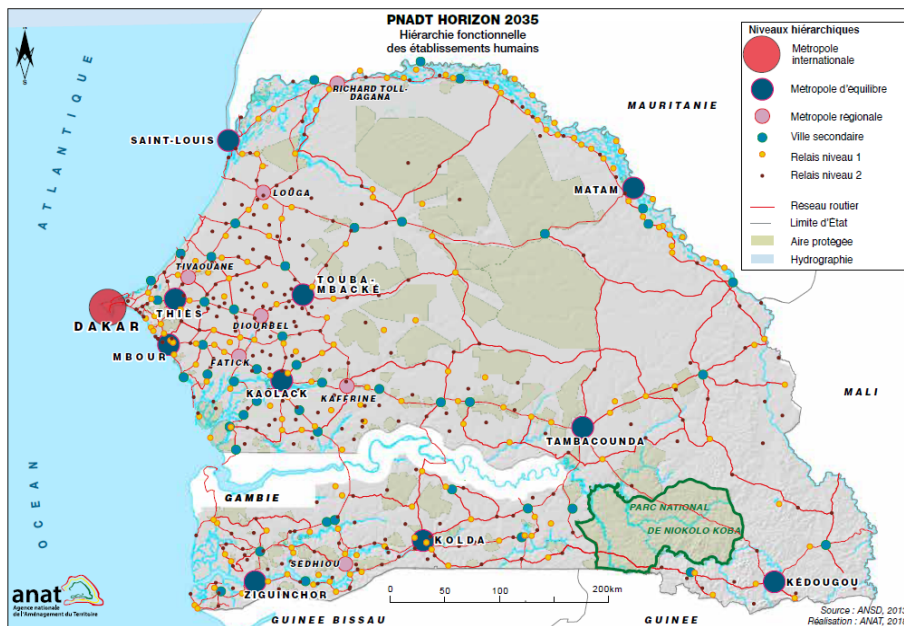
Figure 12 : Évolution du taux d'urbanisation du Sénégal de 1960 à 2063

Source: ANSD 2020, pour les valeurs de 1960 à 2013

✓ Surpeuplement de la moitié ouest du pays

Dans le Plan National d'Aménagement et de Développement du Territoire, horizon 2035, il est prévu de structurer les établissements humains de sorte à avoir une bonne lisibilité des centralités qui doivent

organiser le territoire et impulser son développement jusqu'au niveau le plus bas. Ainsi, sur la base d'un nombre certain de critères, six niveaux structurants sont identifiés : la métropole internationale, les métropoles d'équilibre, les métropoles régionales, les villes secondaires et les centres-relais (de niveaux 1 et 2). La carte ci-dessous présente la répartition des 6 catégories d'établissements projetés à l'horizon 2035. Il ressort de cette projection, un renforcement du déséquilibre de l'occupation du territoire national. En effet, le schéma proposé contribuera davantage à renforcer le surpeuplement de la partie occidentale du pays particulièrement la frange littorale. Cette dynamique sera sans doute une de causes des inondations dans l'avenir. À cela s'ajoute la densification du réseau routier et autoroutier. Une situation qui doit être préoccupante d'autant plus que les projections prévoient certes une diminution des précipitations mais avec une fréquence des pluies extrêmes.



Carte 24 : Hiérarchie fonctionnelle des établissements humains en 2035
Source : PNADT horizon 2035

3.3.3. Impacts futurs

D'après le GIEC (GIEC, 2013), les épisodes de précipitations extrêmes deviendront plus intenses et fréquents, en lien avec l'augmentation de la température moyenne en surface. Cela se traduit par une augmentation très probable des précipitations extrêmes pour la plupart des régions continentales des moyennes latitudes et pour les régions tropicales à la fin de ce siècle. Il est également probable que les précipitations de mousson et celles qui sont associées aux cyclones tropicaux s'intensifient. L'inondation est un phénomène naturel susceptible de provoquer des pertes de vie humaine, le déplacement de populations, d'avoir un impact sur la santé humaine, les biens et les réseaux. Elle peut également nuire à l'environnement et compromettre gravement le développement économique. Les inondations représentent la moitié des catastrophes naturelles mondiales en raison de leur fréquence.

Au regard des tendances climatiques futures, des projections de la croissance démographique, de l'évolution de l'écosystème urbain et de la dynamique de développement transcrit dans le PSE et le PNADT, le Sénégal pourrait s'exposer à des chaînes d'impacts parfois irréversibles. Le tableau ci-dessous présente les impacts futurs liés aux inondations.

Tableau 12 : Impacts futurs

Phénomènes liés aux Changements futurs	Éléments de sensibilité future	Impacts futurs	Problèmes	Secteurs concernés	Régions concernées
Baisse des précipitations accompagnée de la modification de la nature des pluies (fréquence des fortes pluies)	<p>Croissance démographique</p> <p>Non-respect des documents de planifications</p> <p>Croissance urbaine non maîtrisée</p> <p>Occupation des voies d'eau</p> <p>Imperméabilisation du sol</p> <p>Pauvreté endémique</p> <p>Manque d'infrastructure de qualité</p> <p>Concentration des activités économiques</p> <p>Perte d'espace forestier au profit de l'économie</p> <p>Inégale répartition de la population</p> <p>Non préservation des zones humides</p> <p>Remontée de la nappe</p>	Inondation des villes	<p>Perte d'habitat</p> <p>Perte d'infrastructures économiques</p> <p>Destruction des espaces urbains</p> <p>Installation dans des zones non aedificandi</p> <p>Perte de revenus</p> <p>Sécurité alimentaire</p>	<p>Agriculture</p> <p>Habitat</p> <p>Transport</p> <p>Infrastructures</p> <p>Santé</p>	Toutes régions
Étalement des saisons des pluies Déplacement des saisons des pluies	<p>Organisation du système éducatif</p> <p>Manque d'infrastructure de qualité</p>	Inondation à des périodes inhabituelles de l'année	<p>Perturbation du fonctionnement administratif</p> <p>Destruction des cultures</p>	<p>Education</p> <p>Agriculture</p>	<p>Dakar</p> <p>Saint-Louis</p> <p>Kaolack</p> <p>Fatick</p> <p>Ziguinchor</p> <p>Sédhiou</p> <p>Kolda</p>
Houle	<p>Pression du littorale</p> <p>Manque d'infrastructure de qualité</p> <p>Non préservation des zones humides</p> <p>Croissance démographique</p>	Submersion des rivages entraînant des inondations	<p>Perte d'habitat</p> <p>Perte de terre</p> <p>Perte de patrimoine culturel</p> <p>Perte d'écosystème</p>	<p>Pêche</p> <p>Tourisme</p> <p>Infrastructure</p> <p>Habitat</p>	<p>Saint-Louis</p> <p>Louga</p> <p>Thiès</p> <p>Dakar</p> <p>Fatick</p> <p>Ziguinchor</p>
Élévation du niveau de la mer	<p>Pression du littorale</p> <p>Manque d'infrastructure de qualité</p> <p>Non préservation des zones humides</p> <p>Croissance démographique</p>	Submersion des rivages de la mer entraînant des inondations marine	<p>Perte d'habitat</p> <p>Perte de terre</p> <p>Perte de patrimoine culturel</p> <p>Perte d'écosystème</p> <p>Perte de revenus</p>	<p>Pêche</p> <p>Tourisme</p> <p>Infrastructure</p> <p>Habitat</p>	<p>Saint-Louis</p> <p>Louga</p> <p>Thiès</p> <p>Dakar</p> <p>Fatick</p> <p>Ziguinchor</p>

Phénomènes liés aux Changements futurs	Éléments de sensibilité future	Impacts futurs	Problèmes	Secteurs concernés	Régions concernées
	Non-respect des documents de planifications Non application des textes réglementaires Remontée de la nappe		Salinisation des nappes et plans superficiels		
Fortie crue	Occupation des voies d'eau Non-respect des documents de planifications Croissance urbaine non maîtrisée Concentration des activités économiques Manque d'infrastructure de qualité Non application des textes réglementaires	Inondation des zones de culture Inondation des zones urbaines et de certaines zones rurales	Perte d'habitat Perte d'infrastructures Perturbation des activités économiques Déstructuration des espaces urbains Perte de revenus	Pêche Tourisme Infrastructure Habitat	Kaolack Kaffrine Kédougou Kolda Matam Ziguinchor Sékhio Tambacounda Thiès

4. Mesures d'adaptation

Si l'aléa hydrométéorologique joue un rôle important dans les risques inondations, ce sont les facteurs sociaux, physiques et institutionnels qui influencent la vulnérabilité face aux événements ainsi que la capacité d'adaptation. Il est donc nécessaire d'intervenir sur ces facteurs en agissant à la fois sur la prévention, la préparation, l'intervention et le rétablissement. Bien que la gestion des événements soit primordiale, l'expérience démontre qu'il est plus avantageux pour une société d'investir dans la prévention des risques que de gérer les situations d'urgence. Il est estimé que chaque dollar investi en prévention se traduit par une économie de six dollars en gestion de l'urgence.

Ainsi, les mesures d'adaptations aux phénomènes d'inondations proposées dans la présente étude ont une orientation plus axée sur la prévention que la gestion. Elles sont axées sur le renforcement des connaissances, la gouvernance inclusive, la durabilité des infrastructures et l'information, l'éducation et communication.

Tableau 13 : Mesures d'adaptation

AXE STRATÉGIQUE 1 : RENFORCEMENT DES CONNAISSANCES	
Action 1	Améliorer la connaissance des aléas et des bassins versants
Action 2	Renforcer les réseaux de collecte des données climatiques
AXE STRATÉGIQUE 2 : GOUVERNANCE INCLUSIVE	
Action 3	Renforcer le dispositif de mise en application des outils de planification tant au niveau national que local et au respect des textes juridiques
Action 4	Réinstaller les populations situées dans les zones inondées et mettre en œuvre un système de planification des écosystèmes urbains intégrant les bassins versants et les zones humides
Action 5	Intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans les documents de planification
Action 6	Mettre en place un dispositif de valorisation des eaux dans le cadre de l'économie circulaire
Action 7	Améliorer la coordination entre les différents acteurs au niveau national et local
AXE STRATÉGIQUE 3 : DURABILITÉ DES INFRASTRUCTURES DE DRAINAGE DES EAUX	
Action 8	Mobiliser les financements nécessaires pour la mise en œuvre des investissements et des opérations de gestion des ouvrages
Action 9	Réviser les normes et les critères de conception des ouvrages d'assainissement tenant compte du contexte des changements climatiques
Action 10	Sécuriser les voies naturelles d'eau et promouvoir les solutions d'adaptation basées sur la nature pour développer davantage les infrastructures vertes et bleues en milieu urbain
AXE STRATÉGIQUE 4 : IEC (INFORMATION ÉDUCATION ET COMMUNICATION)	
Action 11	Sensibiliser les citoyens aux changements climatiques et à l'appropriation des ouvrages de drainage des eaux pluviales
Action 12	Intégrer des cours de risques et catastrophes dans le curriculum de l'éducation

Conclusion

La présente étude vise à déterminer le niveau de la vulnérabilité passée et actuelle et celui de la vulnérabilité future aux risques d'inondation au Sénégal.

Elle montre que la problématique des inondations résulte de la Combinaison plusieurs facteurs que sont les phénomènes climatiques notamment la pluviométrie, les données biophysiques et les profils socio-économiques. Leur conjugaison a conduit à des phénomènes d'inondations plus ou moins de problématiques et différemment ressenti sur le territoire national. Ainsi les résultats de l'étude indiquent que la moitié occidentale du pays est plus vulnérable aux phénomènes d'inondation avec notamment les régions de Dakar, de Thiès de Saint-Louis. L'étude montre aussi que la vulnérabilité provient certes des aléas climatiques mais aussi et surtout des activités de l'homme avec notamment l'imperméabilisation des sols concomitante avec l'accroissement de l'occupation de l'espace non contrôlé qui participe à l'augmentation classique des débits de ruissellement dans les zones urbaines.

À cela s'ajoute l'absence de réseaux de collecte aussi bien primaires que secondaires et d'entretien pour le peu qui existe.

Annexe 1 : Bibliographie

A. Bodian, O. Ndiaye & H. Dacosta (2016) Evolution des caractéristiques des pluies journalières dans le bassin versant du fleuve Sénégal : Avant et après rupture, Hydrological Sciences Journal, 61 :5, 905-913, DOI : 10.1080/02626667.2014 .950584

Adaptation au changement climatique, Contributions Déterminées au niveau National : La Gestion des Inondations, Année non définie

ADEPT, 2010, « Les inondations à Dakar et banlieue : Mieux comprendre les causes pour des solutions durables », Actes du colloque organisé les 11 et 12 Juin au CESAG à Dakar par l'amicale des diplômés de l'école polytechnique de Thiès, 65 p.

Amouzou K., Ndiaye M., 2012. Marchés et réponses au déficit de production agricole de la campagne 2011/2012 au Sénégal. PAM Sénégal 25 p.

ANSD, (2013). « Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE) », Rapport, 36 p.

ANSD, 2008. Situation Economique et Sociale de la Région de Dakar.

BALME M., GALLE S. & LEBEL T., 2005 : Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analyse à partir des données EPSAT-Niger. Sécheresse, 16 (1), 15-22.

BALME M., GALLE S. & LEBEL T., 2005 : Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analyse à partir des données EPSAT-Niger. Sécheresse, 16 (1), 15-22.

Banque Mondiale, 2010. – Rapport de la Mission de Préparation de l'« Evaluation Economique de l'Adaptation aux Changements Climatiques de la Zone Côtière Sénégalaise » du 22 mars au 02 avril 2010. Sénégal. 65 p. multigr.

Barbey C., 1982. Les ergs du Sud-Ouest de la Mauritanie, et du Nord du Sénégal. Thèse Univ. Paris VII, 2 vol., 454p, 8 pl., 4 annexes.

CAPITALISATION EX-ANTE ANALYSE DES CONTRAINTES PHYSIQUES, Projet de Gestion intégrée du risque inondation à Dakar – Pikine Irrégulier Nord Guediawaye « PING GIRI »

CEREMA, 2014. Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du code de l'environnement rubrique 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales. Fiche instructeur N°3

Cissé O., 2019. Les inondations à Dakar (Sénégal) : gestion des risques et adaptations locales. Paris : Karthala.

COLY A., DIOUF E., SALL F., 2016. - « Aridité et vulnérabilité climatique dans la plaine d'inondation du bassin du fleuve Sénégal » International conference On African Large River Basins Hydrology Dakar (Senegal) 26th november – 03rd december 2016, Friends, Unesco – IRD, Ucad, HSM, EDEQUE, AOC.

Cutter S., B.J. Boruff et W. L. Shirley, 2003, Social Vulnerability to Environmental Hazards, Social Science Quarterly, 84,2, pp. 242-261.

Dasyilva D., Cosandey C., 2005. L'exploitation de la Nappe des Sables Quaternaires pour l'alimentation en eau potable de Dakar : une offre compromise par l'insuffisance de la recharge pluviométrique, Géocarrefour, vol.80.

Dasylyva S., 2001, Les bas-fonds des sables dunaires de la région de Dakar. Potentialités agricoles et contraintes urbaines, Thèse Doctorat, Université de Paris 1, Sorbonne, 405p.

Dasylyva S., 2009. Inondations à Dakar et au Sahel : gestion durable des eaux de pluie, Dakar, Enda Editions, 265 p.

Descroix, L., 2018. Processus et enjeux d'eau en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne, Editions des archives contemporaines / IRD Editions, France, ISBN : 9782813003140, 320p., doi : 10.17184/eac.9782813003140

Dessai, S., M. Hulme, R. Lempert et Jr. Pielke, 2009, ClimatePrediction : a Limit to Adaptation ? In : Adapting to Climate Change : Thresholds, Values, Governance, (W. N. Adger, I. Lorenzoni, K.L. O'Brien, eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 64-78.

Diop A., 2001. Les inondations à Dakar et banlieue : Contraintes géologiques, Impacts urbanistiques et aménagement durable. Faculté des Sciences et Techniques 1 Institut des Sciences de la Terre. Mémoire de fin d'étude.

DIOP M., HOUNDENOU C., RICHARD Y., 1996 : Variabilité des dates de début et de fin de l'hivernage au Sénégal (1950-1991). Publ. Assoc. Intern. de Climato., 9, 430-436.

DIOP M., HOUNDENOU C., RICHARD Y., 1996 : Variabilité des dates de début et de fin de l'hivernage au Sénégal (1950-1991). Publ. Assoc. Intern. de Climato., 9, 430-436.

ECOPAS, 2019, CARTOGRAPHIE DE L'OFFRE ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU dans les communes de Sam Notaire, de Ndiarème Limamoulaye, de Wakhinane Nimzatt et de Yeumbeul Nord. (TROPIS)

ENDA Energie-Environnement-Développement, 2013. Evaluation et réduction de la vulnérabilité au changement climatique dans les villes africaines : Le cas de la Commune d'Arrondissement de Diamaguène Sicap-MBao, Pikine.

Faye et al, 2014. An assessment of the risk associated with urban development in the Thiaroye area (Senegal). Environmental Geology, 45: 312-322.

Faye M., 2013. Contribution à l'étude de mobilisation des ressources en eau pour l'alimentation de Dakar : Diagnostic et perspectives.

François Bertrand et Guillaume Simonet, « Les trames vertes urbaines et l'adaptation au changement climatique : perspectives pour l'aménagement du territoire », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série 12 | mai 2012, mis en ligne le 04 mai 2012, consulté le 23 décembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/11869> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.11869>

Füssel, H.-M., 2007, Adaptation Planning for Climate Change : Concepts, Assessment approaches and Key lessons. Sustainability Science, 2, 265-275.

Gaye A.T., Mbaye ML., Ndiaye O., 2017. Elaboration des scénarios climatiques dans le cadre du volet adaptation de la Contribution Déterminée au niveau National.

Gaye, 2002. caractéristiques dynamiques et pluviosité des lignes de grains en Afrique de l'ouest. Doctorat d'Etat es Sciences UCAD, Fac. Sciences. 135 p.

Guide de référence sur la vulnérabilité Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées

LATIFI S. & CHAAB S. (2017). Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, selon les méthodes DRASTIC et GOD, dans la plaine alluviale de Guelma, Nord-Est Algérien, Revue Sciences Technologique, Synthèse 34: 48 -62

Leroux M., 1977. Le Climat. 16-23. In DRESCH et al. ed. : Atlas national du Sénégal. Institut National Géographique, Paris : 147 p.

Mahe, Gil et al. "Baisse Des Pluies Et Augmentation Des Écoulements Au Sahel : Impact Climatique Et Anthropique Sur Les Écoulements Du Nakambe Au Burkina Faso." Sécheresse 21.4 330–332. Web.

Mbow C., Diop A., Diaw A.T., Niang C.I., 2018. « Urban sprawl development and Flooding at Yeumbeul Suburb (Dakar, Senegal) », African Journal of Environmental Science and Technology, vol.4: 75-88.

MCTDAT/ANAT Plan National d'Aménagement et de Développement territorial (PNADT) Juin 2019

Ministère de l'Intérieur, Direction de la Protection Civile, 2015 : « Projet de Gestion des Risques de Catastrophes et d'Adaptation aux Changements Climatiques ; conception et mise en place d'un système d'alerte précoce (SAP) axe sur les inondations.

NDIONE G. S. (2017). Vulnérabilité des ressources en eau du plateau de Thiès : application du modèle DRASTIC sur le bassin versant de Lahi Deer dans la région de Thiès (Sénégal), mémoire de Master, Université Gaston Berger de Saint-Louis, 123p

PASDUNE, (2004). « Elaboration de plan directeur et d'aménagement et de sauvegarde des Niayes et zones vertes de Dakar », rapport sur les études diagnostiques, 172p.

Périphérie urbaine et risques d'inondation à Dakar (Sénégal): le cas de Yeumbeul Nord

PGIIS 2022, Mise en place d'un Système d'Information Géographique (SIG) appliqué à la cartographie de surfaces inondables et de risques d'inondation au Sénégal, Rapport relatif au choix des sites pilotes

Rapport d'Evaluation des besoins POST Catastrophe Inondations urbaines à Dakar 2009, Préparé par le gouvernement de la République du Sénégal avec l'appui de la Banque Mondiale, du système des Nations Unies et de la Commission Européenne Rapport final Juin 2010

Réf. 3 - Sénégal : Rapport national de suivi sur la mise en œuvre du Cadre d'Action de Hyōgo (2013-2015) – Intérim – UNISDR – par Dame GAYE – janvier 2015

Réf. 4 - Consultation nationale sur le Cadre d'Action post-2015

République du Sénégal « Adaptation au changement climatique, Contributions Déterminées au niveau National : La Gestion des Inondations », (non datée).

République du Sénégal, « Rapport d'Evaluation des besoins Post Catastrophe », juin 2010

RÔLE DES SOLS SUR LA GÉNÈSE DES INONDATIONS MONTOROI J-P. 2012

Sagna et al., 2015. « Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? » In Pollution Atmosphérique N°227 - Octobre - Décembre 2015

Sané Y., 2013. « La politique de l'habitat au Sénégal : une mutation permanente », Les Cahiers d'Outre-Mer, 263 | 2013, 311-334.

SINAN M. et MASLOUHI R., et RAZACK M. (2003). Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc, 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 15p

Situation Economique et Sociale du Sénégal Ed. 2017/2018 | ETAT ET STRUCTURE DE LA POPULATION

Souleymane SENE et Pierre OZER, 2002, Évolution pluviométrique et relation inondations – événements pluvieux

Stéphanie Defossez, Freddy Vinet, Frédéric Leone. Diagnostiquer la vulnérabilité face aux inondations: progrès et limites. Inondations 1: la connaissance du risque, 2018. hal-03171204

TREPANIER S. (2008). Caractérisation modélisation et étude de la vulnérabilité de l'eau souterraine contaminée aux nitrates dans un sous bassin de la vallée d'Annapolis (Nouvelle-Ecosse), mémoire de maîtrise en sciences de la terre, Université du Québec à Montréal, 136p

Practical Action, 2020, Renforcer la résilience communautaire face aux inondations au Sénégal : Tirer les leçons des inondations de 2020 à Thiès RÉSUMÉ EXÉCUTIF

GRET, 2020, capitalisation ex-ante analyse du cadre institutionnel et réglementaire Projet de Gestion intégrée du risque inondation à Dakar – Pikine Irrégulier Nord Guediawaye « PING GIRI » 42p.

PNA-FEM

PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SENEGAL



PROJET D'APPUI AU PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SENEGAL
MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE

Route Des Peres Maristes X Parc Forestier Hann, Bp : 4055 Dakar
Tel : 77 090 60 60 - Email: pnafemsenegal@gmail.com

Nous suivre

