RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

Un Peuple - Un But - Une Foi

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ETABLISSEMENTS CLASSES

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

PNA-FEM

PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SENEGAL

Etude de vulnérabilité approfondie aux changements climatiques des secteurs de l'agriculture de la santé, des infrastructures de transport terrestre et des inondations

Région de SAINT-LOUIS



2023




HOTEL DU PALAIS
PATISSERIE
la Kora
SAND.

Sigles et abréviations

ADM	Agence de développement municipal
AESN	Agence de l'Eau Seine Normandie
ANACIM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
ANCAR	Agence nationale de conseil agricole et rural
ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
ARD	Agence Régionale de Développement
AUMN	Association des unions maraichères des Niayes
BM	Banque mondiale
CC	Changement Climatique
CCAFS	Climate Change Agriculture And Food Security
CDN	Contribution déterminée nationale
CEREEQ	Centre Expérimental de Recherches et d'Études pour l'Équipement
CETUD	Centre Exécutif des transports urbains de Dakar
CHU	Centre hospitalier universitaire
CNCR	Conseil National de Concertation et de Coopération des Ruraux
COMNACC	Comité national sur les Changements climatiques
COMRECC	Comité régional sur les changements climatiques
CS	Contre-saison
CSE	Centre de suivi écologique
CSS	Compagnie sucrière sénégalaise
DEEC	Direction de l'environnement et des établissements classés
DEPSEEA	Forces motrices, Pressions, État, Exposition, Effets et Actions
DGPRE	Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau
DRDR	Direction régionale du développement rural
ENSA	École Nationale Supérieure d'Agriculture
FEM	Fonds pour l'environnement mondial
FERA	Fonds d'entretien routier autonome
FIDA	Fonds international de développement agricole
FONSTAB	Fonds d'Appui à la Stabulation
FVR	Fièvre de la Vallée du Rift
GDS	Grands domaines du Sénégal
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Expert sur l'Évolution du Climat
HTA	Hypertension artérielle
IDH	Indice de Développement Humain
IFAN	Institut fondamental d'Afrique noire
INP	Institut national de pédologie
ISRA	Institut sénégalais de recherche agricole
Km	Kilomètre
Km2	Kilomètre carré
LPAOSF/ESP/ UCAD	Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan-Siméon Fongang, Ecole Supérieure Polytechnique/Université Cheikh Anta Diop de Dakar
MAE	Ministère français des Affaires étrangères
MEDD	Ministère de l'environnement et du développement durable
MNT	Modèle numérique de terrain
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONAS	Office National de l'Assainissement du Sénégal
OPS	Organisation panaméricaine de la Santé
PADAER	Programme d'Appui au Développement Agricole et à l'Entrepreneuriat Rural
PAM	Programme Alimentaire Mondial
PAS-PNA	Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation
PDA	Plan Directeur d'Assainissement
PEPAM	Programme d'Eau Potable et d'Assainissement du Millénaire
PFNAC	Projet de Promotion d'une Finance Novatrice et d'Adaptation Communautaire dans les communes autour des réserves naturelles communautaires
PGIIS	Projet de Gestion Intégrée des Inondations au Sénégal
PIB	Produit intérieur brut
PIDD	Plan Inter Départemental de Développement
PINKK	Projet Intégré de Nutrition dans les régions de Kolda et de Kédougou
PLD	Plan local de Développement
PMA	Pays Moins Avancés
PMC	Petowal Mining Company
PME	Petites et Moyennes Entreprises
PMI	Petites et Moyennes Industries
PNA	Projet d'appui au Plan National d'Adaptation du Sénégal
PNNK	Parc National de Niokolo – Koba
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PRODAC	Programme des Domaines Agricoles Communautaires

PROGEP	Projet de Gestion des Eaux pluviales et d'adaptation aux changements climatiques
PSRS	Programme Multinational de Renforcement de la Résilience à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle au Sahel
PUDC	Programme d'Urgence de Développement Communautaire
RAVACC	Rapport d'analyse de la vulnérabilité approfondie aux changements climatiques
RCP	Representative Concentration Pathway (Trajectoires représentatives de concentration)
RECSCC	Rapport sur l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques
REIME	Rapport sur l'évaluation de l'impact macroéconomique
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RGPHAE	Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage
ROM	Rapport d'orientation méthodologique
SAED	Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta et de la Vallée du fleuve Sénégal
SIG	Système d'information géographique
SOCAS	Société de Conserves Alimentaires au Sénégal
SRSD	Services Régionaux de la Statistique et de la Démographie
TDR	Termes de référence
UC	Unité de coordination
UCAD	Université Cheikh Anta Diop
UEMOA	Union Économique et Monétaire Ouest Africaine
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
ZIC	Zone d'Intérêt Cynégétique



Table des matières

Sigles et abréviations **3**
Table des matières **5**
Liste des illustrations **7**
INTRODUCTION **9**
1. MÉTHODOLOGIE **10**
1.1. Organisation des activités 10
1.1.1. Phase 1 : Atelier de lancement 10
1.1.2. Phase 2 : État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans la région de Saint-Louis 10
1.1.3. Phase 3 : Évaluation participative de la vulnérabilité (collecte de données) 11
1.2. Obstacles et lacunes rencontrées 11
2. PRÉSENTATION DE LA RÉGION DE SAINT-LOUIS **12**
2.1. Situation géographique et administrative 12
2.2. Situation socio-économique 13
2.3. Contexte climatique 14
3. État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans la région de Saint-Louis **15**
3.1. Secteur de l'agriculture 15
3.2. Secteur des inondations 16
3.2.1. Contraintes liées aux inondations dans la région 16
3.2.2. Sensibilité de la région aux influences climatiques 16
3.2.2.1. La dynamique fluviale 16
3.2.2.2. Les flux du delta à Dagana 17
3.2.2.3. La localisation des zones d'inondation dans le delta 18
3.3. Secteur des infrastructures 19
3.4. Secteur de la santé 19
4. RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION PARTICIPATIVE DE LA VULNÉRABILITÉ **21**
4.1. Secteur de l'agriculture 21
4.1.1. Vulnérabilité actuelle 21
4.1.1.1. Risques climatiques identifiés 21
4.1.1.2. Impacts des changements climatiques sur le secteur agricole 23
4.1.1.3. Analyse de la sensibilité globale 25
4.1.2. Vulnérabilité future 27
4.1.2.1. Projections climatiques sur la pluviométrie et la température 27
4.1.2.2. Analyse de la sensibilité future du secteur agricole 28
4.1.2.2.1. Projection et écarts de rendements 28
4.1.2.2.2. Analyse des facteurs de vulnérabilité future 29
4.2. Secteur de la santé 31
4.2.1. Vulnérabilité actuelle 31
4.2.1.1. Analyse de sensibilité globale 31
4.2.1.2. Quelques impacts indirects sur les risques sanitaires liés aux changements climatiques 32
4.2.1.2.1. Changements climatiques et malnutrition 34
4.2.1.2.2. Changements climatiques et migration – déplacement 35
4.2.1.2.3. Changements climatiques, conflits et violence armée 35
4.2.1.2.4. Changements climatiques et urbanisation 35
4.2.2. Vulnérabilité future 35
4.2.2.1. Analyse du risque climatique futur : Modélisation climatique 35
4.2.2.2. Projection climatique sur la pluviométrie et la température 37
4.2.2.3. Analyse de la sensibilité future du secteur de la santé : Modélisation de quelques maladies prioritaires de l'étude 38
4.2.2.3.1. Modélisation de l'incidence du Paludisme au Sénégal 39

4.2.2.3.2. Modélisation de la capacité vectorielle d'Aedes aegypti : effet de la température sur la dengue à Saint Louis 40
4.2.2.4. Analyse statistique pour les maladies non transmissibles sensibles aux vagues de chaleur : variabilité spatio-temporelle de l'indice de confort à Saint Louis 41
4.3. Secteur des inondations 43
4.3.1. Vulnérabilité actuelle 43
4.3.1.1. Impacts des inondations 43
4.3.1.1.1. Impacts et zones sensibles aux contraintes liées aux inondations 43
4.3.1.1.2. Impacts des contraintes liées aux houles 43
4.3.1.1.3. Impacts des contraintes liées aux fortes précipitations 43
4.3.1.1.4. Impacts des contraintes relatifs aux crues de fleuve et cours d'eau 43
4.3.1.1.5. Impacts relatifs aux contraintes géomorphologiques, aux sols argileux (non climatiques) 44
4.3.1.2. Mesures régionales de résilience face aux phénomènes des inondations 44
4.3.2. Vulnérabilité future 45
4.3.2.1. Facteurs et projection de la vulnérabilité future 45
4.3.2.1.1. Précipitations annuelles 45
4.3.2.1.2. Ruissellements annuels 49
4.3.2.1.3. Débits annuels 52
4.3.2.2. Synthèse de la vulnérabilité future 56
4.3.2.3. Caractéristiques des vulnérabilités futures 58
4.3.2.4. Zones potentielles et secteurs d'aggravation des vulnérabilités 59
4.4. Secteur des infrastructures 59
4.4.1. Vulnérabilité actuelle 59
4.4.1.1. Évaluation participative de la vulnérabilité 59
4.4.1.2. Impacts des aléas climatiques sur les infrastructures routières 60
4.4.1.3. Facteurs aggravant les impacts des risques climatiques 60
4.4.2. Vulnérabilité future 61
4.4.2.1. Analyse de la vulnérabilité future aux pluies extrêmes 61
4.4.2.2. Analyse de la vulnérabilité future aux températures élevées 61
4.5. Analyse intégrée des résultats de l'évaluation de la vulnérabilité dans la région 62

5. Mesures d'adaptation sectorielles proposées 63

5.1. Secteur de l'agriculture 63
5.2. Secteur de la santé 65
5.3. Secteur des inondations 66
5.3.1. Critères de priorisation des options d'adaptation 67
5.3.2. Hiérarchisation des options d'adaptation par axe 67
5.4. Secteur des infrastructures 68

Conclusion 70

Annexe : Bibliographie 71

Liste des illustrations

Tableaux

Tableau 1 : Évolution de la population de la région de Saint-Louis 13
Tableau 2 : Cause des inondations selon les localités dans la région de Saint Louis 16
Tableau 3 : Maladies prioritaires climato-sensibles dans la région de Saint louis 20
Tableau 4 : Risques climatiques et non climatiques identifiés et leurs impacts sur l'agriculture 21
Tableau 5 : Impacts des risques climatiques identifiés sur le système pluvial 24
Tableau 6 : Impacts des risques climatiques identifiés sur le système de cultures de irriguées 25
Tableau 7 : Impacts des risques climatiques identifiés sur les sols 25
Tableau 8 : Matrice de sensibilité de la région de Saint-Louis 26
Tableau 9 : Projections de la température et de la précipitation aux horizons 2035 (2020-2050) et 2050 (2035-2065) . 27
Tableau 10 : Risques climatiques et identifiés et leurs impacts sur la santé 31
Tableau 11 : Matrice de sensibilité de la région de Saint-Louis 32
Tableau 12 : Modèles CMIP6, leurs institutions et pays d'origine et leur résolution 35
Tableau 13 : Récapitulatif des pertes et dommages enregistrées 44
Tableau 14 : Synthèse de la vulnérabilité future Inondations 56
Tableau 15 : Caractéristiques des vulnérabilités futures, Inondations 58
Tableau 16 : Matrice d'exposition des types d'infrastructures aux risques climatiques notés de 1 à 5 60
Tableau 17 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes revêtues 60
Tableau 18 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes non revêtues 60
Tableau 19 : Principaux impacts des risques climatiques sur les ouvrages d'art et d'assainissement (OAA) 60
Tableau 20 : Écarts des pluies extrêmes entre les périodes 1981-2010 et 2031-2060, 2071-2100 61
Tableau 21 : Écarts des nombres de jours à températures maximales ≥ à 35°C 61
Tableau 22 : Les stratégies ou mesures d'adaptation identifiées en fonction des impacts biophysiques 63
Tableau 23 : Priorisation des options d'adaptation avec la matrice multicritère 64
Tableau 24 : Les stratégies ou mesures d'adaptation identifiées en fonction des impacts sur la santé 65
Tableau 25 : Matrice de priorisation des options/stratégies d'adaptations identifiées 66
Tableau 26 : Options d'adaptation privilégiées 67
Tableau 27 : Options au niveau des routes revêtues 68
Tableau 28 : Options pour les routes non revêtues 68
Tableau 29 : Options pour les ouvrages d'art et d'assainissement 68

Figures

Figure 1 : Évolution risques climatiques de 1980 à 2020 A) Localisation la zone d'étude Saint-Louis, B) Cumul pluviométrique, C : l'intensité des précipitations et D : Nombre de périodes sèches du 1 Juillet au 30 Septembre 22
Figure 2 : Indice standardisé des précipitations (ISP) de 1981 à 2020 à Saint-Louis 23
Figure 3 : Évolution l'indice de pluie standardisée (IPS) période historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge) 28
Figure 4 : Évolution des rendements simulés de la période de référence (1981-2010) et projetés suivant les scenarios RCP4.5 et RCP8.5 à l'horizon 2050 28
Figure 5 : Écarts de rendements du mil, maïs et du sorgho aux horizons 2035 et 2050, par rapport à la période de référence 1981-2010 29
Figure 6 : Corrélation entre le rendement des cultures et les facteurs climatiques, température et précipitation 30
Figure 7 : Impact des changements climatiques sur la santé, traduit à partir du site de l'OMS dans sa version anglaise, santé et climat, ... 34
Figure 8 : Éléments de la biologie du vecteur pouvant être impactés par des variables climatiques 38

Cartes

Carte 1 : Découpage administratif et territorial de la région de Saint-Louis 12
Carte 2 : Distribution spatiale des précipitations à Saint-Louis en juin-août-septembre pour a) la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6 37
Carte 3 : Distribution spatiale des températures à Saint-Louis pour a) la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6. 38
Carte 4 : Distribution spatiale de l'incidence du paludisme à Saint-Louis en juin-août-septembre pour a) la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6 40
Carte 5 : Distribution spatiale de la rVc (capacité vectorielle relative) à Saint-Louis la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6. 41
Carte 6 : Distribution spatiale de classes d'indice de confort saisonnier (IC) à Saint-Louis pour a-d) période historique (1985-2014), et e-p) pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6. 42
Carte 7: Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040 46
Carte 8 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070 46
Carte 9 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100 47
Carte 10 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040 48
Carte 11 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070 48
Carte 12 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100 49

Carte 13 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040 49
Carte 14 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070 50
Carte 15 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100 50
Carte 16 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040 51
Carte 17 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070 51
Carte 18 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100 52
Carte 19 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040 52
Carte 20 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070 53
Carte 21 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100 53
Carte 22 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040 54
Carte 23 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070 54
Carte 24 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100 55



INTRODUCTION

Les changements climatiques (CC) sont l'une des problématiques majeures de notre ère (GIEC, 2014). Ils se sont généralisés et s'intensifient de manière sans précédent depuis des années (GIEC, 2021). Toutefois, ses répercussions socio-économiques ne se manifestent pas de façon homogène d'une région à une autre et, à l'intérieur d'un même pays. Ses impacts dépendent significativement des dynamiques sociétales et environnementales qui peuvent être spécifiques à chaque localité.

Au Sénégal, tous les secteurs clefs ciblés pour la relance de l'économie nationale tels que l'agriculture, l'élevage, la pêche, le tourisme, les questions de santé et de nutrition, l'accès à l'eau ainsi que les zones de production (zones rurales, côtières, urbaines) qui constituent la trame de fond du Plan Sénégal Émergent (PSE), demeurent plus ou moins exposés et sensibles aux divers impacts des changements climatiques. En effet, le réchauffement climatique ainsi que les différents risques et catastrophes qu'il induit constituent une menace réelle sur les objectifs de développement du Sénégal en ce sens qu'ils peuvent, du fait de leurs impacts, réduire la croissance et rendre plus difficile la lutte contre la pauvreté et l'atteinte de la sécurité alimentaire. Eu égard à ces possibles conséquences sur le développement économique et la pauvreté, il apparaît nécessaire que les décisions s'inscrivant dans le développement durable et la lutte contre la pauvreté prennent en compte les conséquences induites par les changements climatiques.

Le défi de la prise en compte de la résilience dans les politiques, projets et programmes reste important pour les pays en développement et en particulier pour les pays les moins avancés (PMA) à cause de leurs faibles capacités technique, financière et humaine1. Par ailleurs, l'intégration de la dimension « changement climatique » dans les projets, programmes et documents de stratégie constitue une préoccupation des décideurs tant au niveau central que territorial. Des actions de diverses natures qui contribuent à réduire la vulnérabilité des systèmes socio-économiques ainsi qu'à la gestion des risques et catastrophes ont été menées même s'il est nécessaire de constater que ces efforts restent souvent concentrés au niveau sectoriel et manquent de cohérence au niveau multisectoriel et vis à-vis des objectifs de développement. Pour corriger cette lacune et assurer une considération multisectorielle des effets des changements climatiques en phase avec les objectifs de développement, le Gouvernement du Sénégal a initié, avec l'accompagnement du Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) et du PNUD, l'élaboration de son « Plan National d'Adaptation » (PNA) dans les secteurs de l'Agriculture, de la santé, des infrastructures et de la gestion des risques et catastrophes axés sur les inondations particulièrement dans les régions de Kédougou, Kaffrine, Ziguinchor, Saint Louis et Matam.

Initié par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) pour faciliter la planification des mesures d'adaptation dans les pays les moins avancés (PMA) ainsi que dans d'autres pays en développement, le processus (PNA) a pour objectifs :

- de réduire la vulnérabilité des pays aux incidences des changements climatiques en renforçant leur capacité d'adaptation et leur résilience ;
- d'intégrer de manière cohérente l'adaptation aux impacts des changements climatiques dans les politiques, programmes et travaux pertinents, nouveaux ou en cours, en particulier les processus et stratégies de planification du développement, dans tous les secteurs concernés et à différents niveaux, selon qu'il convient.

C'est dans ce sens que le PNA régional de la région de Saint-Louis a été initié à partir d'une approche participative d'évaluation approfondie de la vulnérabilité dans les quatre (4) secteurs pris en charge dans la mise en œuvre du PNA FEM.

[1] BM 2017 Plan d'investissement multisectoriel pour les changements climatiques et la gestion des risques et catastrophes au Sénégal

1. MÉTHODOLOGIE

L'élaboration de cette étude de vulnérabilité a été faite en étroite collaboration avec les autorités administratives locales, les services techniques déconcentrés de l'État, les acteurs communautaires, la société civile. Tous les acteurs clefs dans leur diversité ont été associés aux différentes étapes du processus d'élaboration du Plan National d'Adaptation (PNA) dans la région de Saint-Louis depuis l'atelier de lancement jusqu'à la collecte des données. Cet engagement des parties prenantes est un pilier important dans le processus de planification de l'action en faveur du climat. Le but étant d'assurer une bonne compréhension du processus et de son appropriation à travers un programme d'information, de sensibilisation et de renforcement des capacités sur la problématique des changements climatiques.

1.1. Organisation des activités

Les trois phases ci-dessous permettent de résumer la méthodologie utilisée.

1.1.1. Phase 1 : Atelier de lancement

Cette phase de lancement et de cadrage était une opportunité pour le consortium de mener un certain nombre d'activités d'information et de formation des différentes parties prenantes avant la phase d'évaluation de la vulnérabilité. Il s'agissait entre autres, de l'organisation de l'atelier de lancement, d'information sur le projet PNA FEM et de formation des différentes parties prenantes au projet au niveau de la région. L'organisation de l'atelier de lancement devrait permettre de discuter avec l'ensemble des acteurs de la région de l'approche méthodologique, de convenir du périmètre de l'étude ainsi que des modalités pratiques du déroulement de la mission. L'atelier de lancement devait également être mis à profit pour former et sensibiliser les acteurs clefs du projet sur les concepts de base sur les changements climatiques.

Cette formation s'est focalisée dans un premier temps sur les concepts de base relatifs au changement climatique. L'objectif visé à travers le partage de ces fondamentaux des changements climatiques est d'éviter toute confusion et de permettre à tous les acteurs impliqués dans l'évaluation de la vulnérabilité au niveau de la région d'avoir une compréhension commune de la définition des différents termes et concepts qui seront ultérieurement utilisés dans le diagnostic.

Ces sessions de formation, avaient pour objectifs de permettre aux acteurs clés de :
- comprendre les différents termes et concepts relatifs au CC ;
- se poser les bonnes questions au cours d'une évaluation de la vulnérabilité ;
- comprendre les différentes étapes de l'évaluation des risques et de la vulnérabilité ;
- se familiariser avec les outils d'évaluation des risques et de la vulnérabilité ;
- pouvoir planifier le développement de leur territorial en prenant en compte l'adaptation au CC.

1.1.2. Phase 2 : État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans la région de Saint-Louis

L'élaboration du rapport sur l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans les secteurs ciblés (agriculture, santé, infrastructures, inondations) a pour objectifs :

- de faire l'état des lieux des informations et connaissances scientifiques en matière d'impacts et vulnérabilité au changement climatique dans les secteurs de l'agriculture, des infrastructures, de la santé et de la gestion des risques et catastrophes axés sur les inondations dans la région de Saint-Louis à travers la collecte, la revue des documents et le traitement des données sur le climat actuel, le climat futur et les implications qui en découlent pour les secteurs cibles ;
- d'identifier les mesures, stratégies et actions d'adaptation aux CC entreprises au niveau des différents secteurs et enfin ;

- d'établir une période de référence et de préconiser des recommandations en vue de mener des études de vulnérabilité approfondies dans les différents secteurs.

1.1.3. Phase 3 : Évaluation participative de la vulnérabilité (collecte de données)

Dans le cadre de l'étude approfondie de la vulnérabilité, un diagnostic participatif a été mené afin de compléter la revue documentaire sur l'état des lieux des connaissances scientifiques dans la région de Saint-Louis. Ce diagnostic, qui s'est appuyé sur l'expertise locale et sa bonne connaissance des différentes dimensions de la région, avait pour objectif de faire l'analyse approfondie de la vulnérabilité des secteurs de l'agriculture, de la santé, des infrastructures et des inondations aux effets de la variabilité et des changements climatiques.

Cette phase, d'une importance capitale pour le processus, devait permettre d'une part de connaitre le niveau de vulnérabilité des secteurs ciblés aux impacts des changements climatiques et d'autre part de constituer le socle de la stratégie qui visera à mieux préparer la région à réduire sa sensibilité aux impacts des changements climatiques à travers l'élaboration et la mise en œuvre de son Plan National d'Adaptation (PNA).

L'analyse consistait à identifier les risques climatiques majeurs afin de les croiser avec des thématiques assez variées comme l'environnement physique (habitat, zones humides, forêts, pistes, routes, etc.), la santé humaine, les activités économiques (agriculture, tourisme, pêche, transformation, artisanat, commerce, etc.) dans un souci de rechercher les impacts isolés ou en chaine.

Pour cela, le diagnostic engagé avec l'ensemble des acteurs clés de la région (services techniques communaux, population, organisations communautaires de base et de la société civile et toute autre personne ressource utile au processus) qui ont une bonne connaissance des enjeux et des défis de la région avait pour objectif de rassembler les données primaires indispensables à une analyse de vulnérabilité plus approfondie.

1.2. Obstacles et lacunes rencontrées

La question de la disponibilité et de la fiabilité de l'information climatique, à des degrés divers, se pose dans tous les secteurs ciblés au niveau de la région de Saint-Louis pour étayer la réalité des changements climatiques. Les données nécessaires pour ce faire demeurent limitées et difficiles d'accès parfois même, totalement inexistantes. Par ailleurs, il faut noter que l'état des connaissances sur les changements climatiques, montre qu'il est difficile de disposer d'études approfondies de vulnérabilité sur les secteurs ciblés.



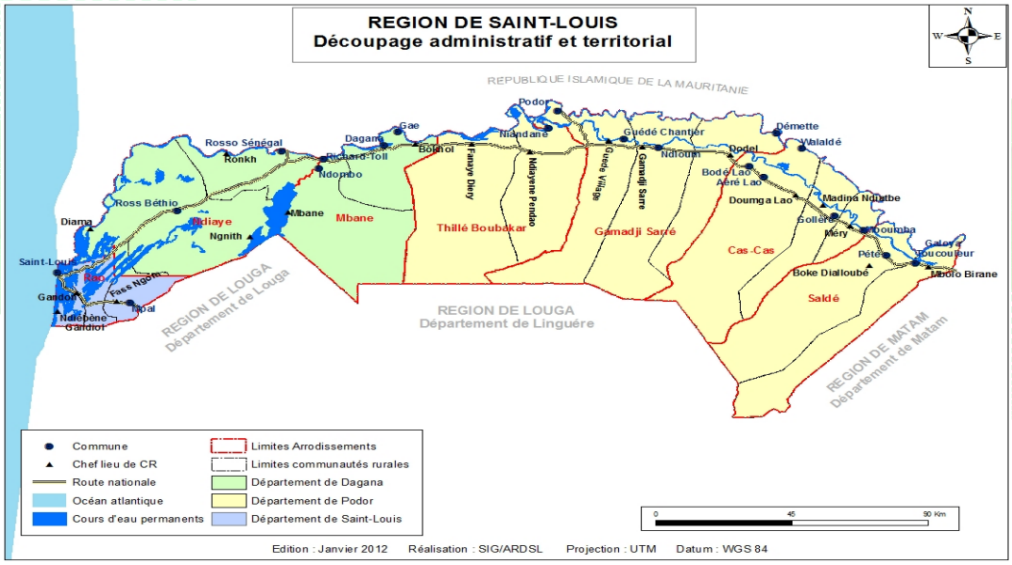
2. PRÉSENTATION DE LA RÉGION DE SAINT-LOUIS

2.1. Situation géographique et administrative

La région de Saint-Louis est située à l'extrême Nord du Sénégal entre la longitude Ouest 12°62 - 16°52 et la latitude Nord 14°4 - 16°672. Elle est marquée par la présence de la ressource eau qui est l'une des grandes particularités de la zone et est limitée au Nord par le Fleuve Sénégal qui la sépare de la Mauritanie ; au Nord-est par la région de Matam ; au Sud et au Sud-est par les régions de Louga et de Tambacounda et à l'Ouest par l'Océan Atlantique (Carte 1).

Avec une superficie de 19034 km², la région de Saint-Louis couvre environ 10% du territoire national. Sur le plan administratif, la région comprend 3 départements qui occupent respectivement, 27%, 68% et 5% de la superficie régionale, 7 arrondissements, 38 communes et 711 villages officiels (ARD, 2015) :

- le département de Podor est situé entre 16°39 de latitude Nord et à 16°57 de longitude Ouest, en pleine moyenne vallée du fleuve Sénégal et plus précisément au nord-ouest de l'île à morphil (ONAS 2017). Le département est composé de deux grandes zones éco-géographiques le Walo et le Diéri deux termes génériques qui désignent respectivement les terres inondables et celles qui ne sont jamais atteintes par la crue. Entre les deux, s'étend une zone de transition : le Jéjéngol.
- le département de Saint-Louis occupe la zone géographique du Bas delta du fleuve Sénégal. Il est limité au Nord par le département Dagana, au Sud et à l'Est par la région de Louga, à l'Ouest par l'océan Atlantique avec une frange maritime longue de 70 km très connue pour ses activités de pêche maritime et de cultures maraîchères. Dans sa partie extrême Nord-Ouest, le département est frontalier à la République islamique de Mauritanie. La ville de Saint-Louis qui porte son nom, est le chef-lieu du département[3] ;
- le département de Dagana est situé entre celui de Saint-Louis et de Podor. Il est plus grand que le département de Saint-Louis et abrite les communes de : Dagana, Richard-Toll, Rosso, Gaé, et Rosso Béthio.



Carte 1 : Découpage administratif et territorial de la région de Saint-Louis
(source : ANSD/SRSD/Saint-Louis 2019)

Le département possède plusieurs types de sols selon les zones et à l'intérieur des zones[4] ; Plusieurs grands groupes de paysages et de sols façonnés en grande partie par le fleuve et ses crues sont observés le long de la région de Saint-Louis.

[2] Plan d'action forestier régional, juin 2003.
[3] http://www.regions-francophones.org/actualite/3922/5606-le-departement-de-saint-louis-senegal.htm
[4] https://docplayer.fr/111351745-Plan-departemental-de-developpement-de-podor.html

Dans la zone inondable par les crues, le *walo* ou *kolangal* constitue un ensemble de cuvettes de décantation situées dans le lit majeur du fleuve. Les sols du *walo* sont hydromorphes, avec une forte teneur en argile. Cette unité de paysage reçoit plus régulièrement les crues et est le site principal des cultures de décrue, dont en premier lieu le sorgho. Les forêts ripariennes de goniakiers se situent dans ces cuvettes. Les berges en pente douce, les *falo* ou *pale*, présentent des sols limono-sableux et sont exploités avec des cultures de décrue diversifiées. Les bourrelets de berge ceinturant le lit majeur forment de hautes levées : les *fonde*. Ce sont des sols à dominance limoneux avec une bonne teneur en argile ; ils sont seulement inondés lors des grandes crues. On y cultive le sorgho en cas de crue mais aussi les cultures sous pluies et la riziculture irriguée. Les périmètres irrigués villageois (PIV) sont aménagés sur ces types de sols. Le *diéri* constitue la zone exondée, que les crues n'atteignent jamais. Les sols y sont assez uniformes, à dominance sableux. Dans la zone du Gandiolais, on y trouve des dépressions inter dunaires, favorables aux cultures maraîchères. Le Lac de Guiers se situe au centre d'une vaste dépression naturelle de 50 km de long. Il est alimenté par le fleuve Sénégal via la rivière canalisée de la Taouey, mais aussi par les eaux de pluie venant de la vallée du Ferlo. Le lac est entouré d'une zone semi-désertique, mais ces rives sont assez fertiles.

2.2. Situation socio-économique

La population régionale était estimée à 1 063 542 habitants en 2019, soit 6,6% de la population nationale. Le taux d'accroissement annuel moyen est passé à 2,0% entre les recensements de 1976 et 1988 et à 3,4% entre ceux de 2002 et 1988. Entre les recensements de 2002 et 2013, le taux d'accroissement annuel moyen est passé à 2,5%. La période 2013–2019 est marquée par un taux de 2,7% (ANSD/SRSD/Saint-Louis 2019 ; Tableau 1).

Tableau 1 : Évolution de la population de la région de Saint-Louis

Désignation / Année	RGP 1976	RGPH 1988	RGPH 2002	RGPHAE 2013	2019
Population	344 432	435 010	695 489	908 941	1 063 542
Taux d'accroissement annuel moyen (en %)		2,0	3,4	2,5	2,7

(Source : ANSD/SRSD/Saint-Louis 2019)

La région de Saint Louis occupe une place de choix dans les stratégies nationales de développement économique. Elle se distingue particulièrement dans le secteur primaire et dans l'agroalimentaire. L'économie de la région repose essentiellement sur l'agriculture et sur l'élevage.

La région contribue fortement à la production nationale de céréales, en plus d'assurer la totalité de la production de la canne à sucre et de la tomate industrielle. L'oignon ainsi qu'une partie importante du riz local sont cultivés dans la région. La région bénéficie de la présence de grosses unités agro industrielles telles que la CSS, la SOCAS, les GDS et d'autres sociétés exportatrices qui constituent de réels atouts pour l'exploitation de ses potentialités agricoles (Sall, 2006). Entre autres secteurs attrayants, il faut noter la pêche qui participe au dynamisme de l'économie locale. Les productions halieutiques régionales alimentent aussi bien le reste du pays que les pays frontaliers.

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

L'activité touristique dans la région de Saint-Louis a connu son moment de gloire. Saint-Louis est une ville chargée d'histoires en témoignent les nombreux sites touristiques comme le fort de Podor, la préfecture de Dagana et l'île de Saint-Louis classée patrimoine mondial de l'UNESCO, entre autres. La présence du Fleuve Sénégal participe à maintenir le cadre magnifié de la zone avec des traversées du Bou El Mogdad, bateau touristique. La présence des parcs nationaux et des réserves dans la zone constitue une opportunité de développement du tourisme. Aujourd'hui, la dégradation de certains sites, les effets des changements climatiques (l'érosion côtière dans la Langue de

Barbarie), la COVID 19 qui s'est répandu au niveau mondial, les problèmes de financement du secteur, sont autant de freins à l'essor de l'activité touristique à Saint-Louis.

2.3. Contexte climatique

Le climat de la région de Saint Louis est de type sahélien caractérisé par des alizés continentaux chauds et secs ou Harmattan et des alizés maritimes à l'ouest. Les températures moyennes annuelles sont relativement élevées. La zone continentale a des températures élevées presque toute l'année allant parfois au-delà de 40°c dans le département de Podor.

Avec une pluviométrie irrégulière et en baisse constante depuis plus de 30 ans, le climat de type sahélien évolue vers un climat subdésertique. Les moyennes pluviométriques enregistrées au cours des 25 dernières années, indiquent que le département de Podor est la station la moins arrosée du Sénégal5 ». La station de Matam s'inscrit dans le même sillage. En revanche, Saint-Louis, avec une moyenne annuelle de 263,8 mm compte 27 années humides 1954 à 2013 (Gaye, 2017).

[5] https://docplayer.fr/111351745-Plan-departemental-de-developpement-de-podor.html

3. État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans la région de Saint-Louis

L'analyse de la documentation disponible au niveau de la région de Saint-Louis, montre bien la réalité des changements et de la variabilité climatique avec des impacts répertoriés dans tous les secteurs concernés (agriculture, santé, infrastructures et inondations).

3.1. Secteur de l'agriculture

La région de Saint – Louis de par sa position dans l'extrême nord du pays fait partie des zones les plus exposées aux effets néfastes des changements climatiques. En effet, on note des modifications importantes sur le climat régional notamment :

(i) l'augmentation générale des températures, (ii) l'irrégularité des pluies, (iii) le raccourcissement de la saison des pluies notamment dans le Delta (Gandiolais et Lac) et la partie aval de la Moyenne Vallée, (iv) des vents chauds et secs, de plus en plus violents et chargés d'aérosols, (v) des inondations récurrentes, (vi) la faible amplitude des crues voire leur absence, (vii) la baisse rapide du plan d'eau du fleuve Sénégal et de ses défluents et affluents (notamment dans la Haute Vallée et en amont de la Moyenne Vallée), (viii) l'élévation du niveau de la mer et l'intrusion marine (amplifiée par l'ouverture de la brèche) dans la zone du Gandiolais, (ix) les sécheresses répétées, qui affectent particulièrement les zones de diéri.

Les changements climatiques observés, entrainent des impacts négatifs bien perceptibles sur les activités agricoles. Pour les cultures irriguées, on note les principaux effets suivants :

- la perturbation des calendriers culturaux ;
- l'augmentation de la fréquence et de la quantité d'eau d'irrigation et des charges afférentes (surtout dans la Haute Vallée et en amont de la Moyenne Vallée) ;
- le stress thermique et le mauvais remplissage des grains ;
- l'augmentation des surfaces inondées et sinistrées ;
- la baisse du rendement en hivernage et de la qualité des grains de riz récoltés sous pluies précoces ;
- les difficultés à planer les parcelles d'hivernage et la reprise des façons culturales ;
- l'échaudage des cultures sensibles à la chaleur comme la tomate, ainsi que le pourrissement de certains légumes comme les choux et tomates ;
- les avortements sur les cultures sensibles comme le maïs.

Pour l'agriculture de décrue et pluviale, on note :

- une diminution des surfaces cultivées et des rendements, en particulier ceux du sorgho, ainsi que la recolonisation par des arbustes des terres de décrue délaissées ;
- les déficits hydriques, les ressemis, les pertes de rendement par inachèvement des cycles de culture ;
- la disparition progressive de la culture du mil au profit du niébé et des pastèques dans plusieurs zones (Lac de Guiers, Gandiolais et Podor) sont parmi les principaux effets des CC sur l'agriculture pluviale de la Vallée du Fleuve Sénégal (VFS). ;
- la sécheresse favorise les remontées de sels (salinisation par capillarité et aussi par les poussières salées apportées par le vent) ;
- baisse de fertilité des sols : par déflation (des particules fines à cause du vent) mais c'est cependant moins vrai en périmètre irrigué (où l'humidité retient les sols, en particulier les sols lourds) ;
- on note un abandon de la culture du riz d'hivernage irrigué : sa rentabilité est diminuée par le retard et le raccourcissement de l'hivernage : en conséquence il y a une augmentation de la CS (Contre-saison) et de la diversification des cultures (autres que le riz) ;
- la sécheresse provoque une augmentation de la pression aviaire (20-25% de pertes sur récoltes, baisse des rendements).

Pour faire face aux changements climatiques (CC) actuels et à leurs effets, les producteurs et acteurs ont adopté certaines stratégies ou introduit certaines innovations, parmi lesquelles :

- sur les périmètres irrigués : l'augmentation des heures d'arrosage et des frais d'exploitation engagés ; le semis précoce du riz de contre-saison chaude ; l'usage de repousses ; l'utilisation de variétés de riz mieux adaptées à la chaleur et de cycle plus court comme Sahel 108 ; la souscription des irrigants à des systèmes d'assurance agricole ;
- en maraîchage : des arrosages plus fréquents, prolongés et/ou nocturnes ; des changements dans les calendriers culturaux, en particulier les dates de mise en pépinière ; certaines innovations telles que l'irrigation au goutte-à-goutte, le système californien, l'installation de brise-vents, l'utilisation de bâches pour couvrir les pépinières et la culture sous serre ouenou en alvéoles (dans le Gandiolais notamment) ; en maraîchage de décrue (falo), l'irrigation de complément grâce à l'installation de petits GMP en collectif ;
- pour les cultures pluviales : l'abandon partiel ou total des cultures à cycle long de mil et sorgho au profit du niébé et des pastèques ; des actions de conservation des eaux et des sols (CES) et de défense et restauration des sols (DRS), appuyées par des projets et acteurs externes ;
- pour les cultures de décrue : la baisse des surfaces cultivées, sauf en années de crues normales ; l'installation d'ouvrages de contrôle de la décrue (par exemple sur le Diamel) ;

De manière transversale, l'une des stratégies d'adaptation les plus fréquentes est la diversification des activités, avec la pratique combinée de l'agriculture pluviale, irriguée, de décrue et/ou de l'élevage, mais également d'activités extra-agricoles telles que le petit commerce. Dans les zones de diéri, l'aménagement des mares permet de mieux faire face à l'irrégularité des pluies, tant pour développer le maraîchage que pour l'abreuvement du bétail. La migration saisonnière ou l'émigration sont des méthodes adaptatives courantes qui se sont accélérées, y compris dans des zones de la VFS traditionnellement plus stables.

3.2. Secteur des inondations

3.2.1. Contraintes liées aux inondations dans la région

La région de Saint-Louis est l'une des régions les plus touchées par les inondations au Sénégal. En effet, la présence du fleuve combinée à une nappe phréatique affleurant renforce la vulnérabilité du site aux risques d'inondations fluviales et pluviales. La situation est d'autant plus préoccupante que la saison pluvieuse, même si elle dépasse rarement 3 mois, est marquée par des épisodes de pluies d'une forte intensité qui peuvent provoquer des inondations surtout dans la zone du delta du fleuve Sénégal. Le tableau ci-dessous montre les causes des inondations selon les localités.

Tableau 2 : Cause des inondations selon les localités dans la région de Saint Louis

Localités	Causes
Saint-Louis	Pluies combinées + remontée nappe + occupation anarchique. Pluies combinées + crue du fleuve
Podor	Pluies combinées + remontée nappe. Pluies combinées + crue du fleuve
Dagana	Pluies combinées + remontée nappe + occupation anarchique. Pluies combinées + crue du fleuve

3.2.2. Sensibilité de la région aux influences climatiques

Depuis les années 1980, on observe une nouvelle contrainte, venue de la mer, avec l'élévation du niveau océanique associée à la hausse des températures, apportant avec elle érosion côtière, recul du trait de côte, salinisation des eaux souterraines et des sols, dégradation des écosystèmes marins, côtiers et de la biodiversité...

3.2.2.1. La dynamique fluviale

La dynamique des eaux du fleuve est en interaction constante avec les fluctuations du niveau marin, notamment avec les marées. En saison sèche, l'action de la mer est prédominante mais en saison humide le débit du fleuve repousse les eaux océaniques vers l'embouchure. Ce processus

peut être freiné par la montée du niveau marin augmentant ainsi les risques d'inondation des localités côtières.

3.2.2.2. Les flux du delta à Dagana

L'abondance des flux d'eau dans le haut bassin fait déborder le fleuve de son lit qui, à son tour, provoque des déversements d'eaux dans la plaine alluviale qui fait 8000 km^2 entre Bakel et Dagana, soit l'équivalent d'une largeur de 10 à 15 km (Lavieren et al., 1990) et, en forte crue, de plusieurs milliards m^3 d'eau.

Les inondations des localités côtières proviennent souvent du dysfonctionnement du système fleuve-cuvettes-lacs-vallées, qui augmente les flux d'eau dans l'estuaire, et réduit ainsi les espaces de drainage. Ce phénomène est observé en 1994, 1999 et 2003 avec l'envahissement des eaux dans l'estuaire, et le paramétrage du barrage de Diama n'ayant pas pour objectif de laminer les crues.

Afin de mieux cerner les facteurs concourant aux submersions des localités comme Saint-Louis il importe d'examiner les fluctuations des niveaux des eaux dans le delta du fleuve Sénégal, la prise en compte de l'impact des barrages de Diama (1985) et de Manantali (1988) dans d'éventuelles influences sur le niveau des eaux. Contrairement à Bakel dans le haut bassin où elle dure trois mois (août, septembre, octobre), la période des hautes eaux s'étale sur quatre (4) mois (août à novembre) à Dagana avec une plus longue stagnation de l'eau provoquant ainsi des risques d'inondations des localités côtières.

Partant de la période post-sécheresse (1970), précisément à partir de l'année 2004, la hauteur d'eau moyenne annuelle devient constamment supérieure à la moyenne enregistrée pour la période 1903-2004, avec de meilleures conditions hydrologiques synonymes d'augmentation des risques d'inondations. A partir de 1994 (180 cm IGN) et, en 1998 (206 cm IGN), puis 1999 (235 cm IGN) et en 2003 (237 cm IGN), de simples risques, la menace s'est transformée en des inondations allant crescendo dans la commune de Saint-Louis en 1994. Et la forte menace de débordement des eaux du fleuve sur la commune de Saint-Louis a précipité l'ouverture du canal de délestage des eaux de crue sur la Langue de Barbarie.

En 1999 et 2003, les inondations survenues à Saint-Louis dans quelques localités côtières, sont en relation avec les niveaux très élevés du fleuve (150 cm IGN) ayant dépassé la cote d'alerte.

Le débordement du fleuve s'explique par une absence de mesures de protection actuelles (digues, relèvement des quais, etc.) mises en place.

Les longues durées d'évacuation des eaux de crue dans l'estuaire participent également à la génération d'inondations dans les localités côtières à l'instar de Saint-Louis.

Les premiers débordements du fleuve de cette dernière décennie datent de la saison 1994/1995 avec des inondations qui ont entraîné le déplacement de 120 000 personnes et la submersion de terres cultivables (Kane, 2000). Durant cette saison, le débit maximal observé à Bakel pendant la crue (le 01/09) a été de 4 160 m3 /s, une valeur qui n'avait jamais été dépassée depuis 1975 (4 800 m 3 /s). Cependant, des débits plus importants ont été notés comme en septembre 1967 à Bakel où une valeur de 6 740 m3 /s a été enregistrée.

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

Selon les témoignages des habitants qui se sont déplacés vers la localité voisine, du même nom, située plus en hauteur, la crue a régulièrement envahi le village mais a atteint des proportions

majeures en 1999 où l'eau se retrouvait dans les chambres. Ces inondations revêtent plusieurs formes en fonction des facteurs qui concourent à leur apparition :

- les inondations provoquées par le débordement du fleuve en période de crue ; elles résultent de l'interaction entre les eaux provenant de l'amont, les courants générés par la dynamique marine (marées), la montée saisonnière du niveau de la mer et l'obstruction du chenal menant vers l'embouchure par les importants dépôts de sédiments fins ; tous ces facteurs concourent à allonger la durée d'évacuation des eaux de crue et favorisent l'augmentation du niveau du fleuve dans l'estuaire ;
- les inondations pluviales combinées à une remontée de la nappe ; les eaux de pluie s'infiltrent difficilement dans les sols constitués par d'anciennes vasières notamment dans la ville de Saint-Louis ; de plus, la nappe phréatique est peu profonde (1 à 2 m) et remonte souvent en surface dès les premières pluies ; les eaux stagnent ainsi pendant plusieurs mois, soumises uniquement à l'évaporation ;
- la Falémé (affluent du Sénégal) et le Bakoye (cours d'eau à l'origine de la formation du Sénégal par sa jonction avec le Bafing) ne sont pas dotés d'ouvrages de régulation ;
- l'habitat se développe de plus en plus dans des zones basses occupées normalement par les eaux en saison pluvieuse.

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

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

La partie Est de la ville de Saint-Louis, de part et d'autre du marigot de Khor, est une zone inondable par les eaux de crue. Les quartiers de Khor, Darou, Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud, Médina Course sont sous l'influence du marigot de khor qui est un exutoire du fleuve Sénégal. Les quartiers de Sor Nord, Diamaguène, Léona et Pikine sont directement menacés par le fleuve Sénégal dont ils sont séparés par la route nationale n° 2. Les quartiers de l'Ile (Haut Nord, Centre Nord et Sud) sont aussi directement sous l'influence des deux bras du fleuve Sénégal. Les quartiers de la Langue de Barbarie (Goxu Mbacc, Haut Ndar Toute, Bas Ndar Toute, Bas Guet Ndar, Haut Guet Ndar) situés entre l'Océan Atlantique et le fleuve Sénégal sont directement sous l'influence des deux masses d'eau. Les villages de Leybar et de Ngaye Ngaye, dans la comunauté rurale de Gandon ne sont également pas à l'abri des inondations. Les quartiers périphériques de Ngallèle et Dakar-Bango peuvent être inondés par les eaux qui proviennent de la branche aval du Djeuss au nord et du Ngalam vers le sud ; ces eaux se rejoignent dans une zone dépressionnaire qui longe les deux quartiers. Les eaux débordant de la branche aval du marigot de Djeuss (au moment où il rejoint le fleuve Sénégal) et de la partie amont du marigot de khor, constituent une menace pour l'aéroport international de Saint-Louis. Le sud de la ville de Saint-Louis, également non endigué, est envahi par les eaux de crue, notamment dans le gandiolais et au niveau des dépressions situées aux alentours de la réserve de faune de Gueumbeul ; les villages localisés dans ce secteur (Keur Barka, Mbambara, DieuleMbam, Doun, Toug ouolof) sont fortement menacés (fig. 80). La zone des trois marigots constitue aussi un lieu de propagation des eaux. La cuvette du Djoudj et ses différents lacs sont également envahis par les eaux de crue, à travers les marigots défluents du fleuve. Mais cette submersion est contrôlée par l'intermédiaire des ouvrages. Partout ailleurs, la situation est comparable à celle de la période de basses eaux de juin 2002 avec des zones de vasières nues destinées pour l'essentiel à la culture irriguée.

Les inondations liées aux crues du fleuve sont périodiquement enregistrées dans la partie sud du delta, aux alentours de la ville de Saint-Louis et sont dues essentiellement à la remontée des eaux dans les vasières, envahissent également certaines localités de la commune où elles favorisent une stagnation des eaux pluviales. À l'Est de la commune de Saint-Louis, on observe l'influence des crues du fleuve Sénégal par l'intermédiaire du marigot de Khor qui est son exutoire. Les quartiers de Khor, Darou, Ndiolofène nord, Ndiolofène Sud, Médina Course, qui sont cernés par ce marigot, sont très fragilisés. Les villages de Leybar et de Ngaye ngaye, dans la communauté rurale de Gandon, sont également sous l'influence des eaux d'inondation de ce marigot. Les eaux de crue

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

3.3. Secteur des infrastructures

Du fait de sa position côtière, septentrionale et de la présence du fleuve Sénégal, la région est exposée aux phénomènes d'inondations fluviales et marines à l'origine de dommages des routes lors des épisodes pluvio-orageux.

Une étude de l'Ageroute (2019), sur le Tronçon Alwar-Démeth-Cas Cas souligne les effets de l'érosion régressive qui attaque certaines parties de la piste mais aussi des eaux de débordement du fleuve Sénégal. Avec l'absence de fossés latéraux, la piste se transforme en chenal de drainage des eaux ruisselées. Au niveau du Tronçon Cas Cas-Madina Ndiathbé-N2 (21 Km environ) : les eaux de pluie emportent partiellement ou totalement la couche de latérite. Cette situation est liée au fait que c'est une zone basse (de bas-fonds) et il y a la présence de cours d'eau.

Une autre étude de l'Ageroute (2018) sur l'Autoroute Dakar-Saint-Louis analyse les effets des CC qui se font ressentir à travers la l'avancée des dunes poussées par les vents. Cela entraîne l'ensevelissement de l'autoroute par le sable.

Relativement à la disponibilité des études portant sur la région de Saint-Louis l'adaptation aux changements climatiques est traitée au niveau de l'adaptation actuelle à la variabilité et aux changements climatiques.

Purkey D. et al. (non daté) proposent pour l''axe Saint-Louis-Bakel et Dakar-Saint-Louis :

- la construction de nouvelles routes autour des zones inondables ;
- la construction de routes suspendues ;
- les améliorations des systèmes de drainage routier ;
- les améliorations de la qualité de l'asphalte utilisé pour le pavage des routes ;
- la mise en place d'un programme d'entretien routier régulier à mettre en œuvre après chaque saison des pluies ;
- la consolidation et renforcement des chaussées sur les routes de front de mer ;
- la consolidation et renforcement des plates-formes routières sur les routes maritimes ;
- la mise en place d'un système innovant de drainage des eaux pluviales (EP).

3.4. Secteur de la santé

Une cartographie des maladies climato-sensibles enregistrées entre 2011 et 2021 (Tableau 3), mais aussi l'analyse des paramètres climatiques de la région montrent que Saint-Louis est sous la menace beaucoup de maladies dont la dengue, la méningite, la fièvre de la vallée du rift (FVR). Même si la région de Saint-Louis est marquée par des températures relatives basses du fait de son caractère côtier, la partie Nord-Est est néanmoins concernée par l'occurrence de vagues de chaleur. Sène (2022) a étudié l'impact des vagues de chaleur sur la santé humaine dans les départements du nord du Sénégal dont Saint-Louis. Il s'agissait pour lui de quantifier la relation entre les vagues de chaleur et la morbidité à partir des cas de pathologies liées à la chaleur. Il a identifié les vagues de chaleur produites durant la période allant de 1981 à 2019 sur toute l'étendue de sa zone d'étude.

Tableau 3 : Maladies prioritaires climato-sensibles dans la région de Saint louis

Maladies	Paramètres climatiques	Régions ou parties plus touchées
Dengue	Pluie, température, humidité	Régions Nord-Ouest (Saint-Louis)
Méningite	Température, humidité, vent et poussière	Régions Nord-Ouest (Saint-Louis)
FVR	Pluie, température, humidité et vent	Régions Nord-Ouest (Saint-Louis)

Source : Rapport PNA-FEM, Mars 2022.

Pour le secteur de la santé, les stratégies existantes ne sont pas très diversifiées et concernent plutôt la lutte contre le paludisme avec la sensibilisation et l'utilisation de moustiquaires imprégnées.



4. RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION PARTICIPATIVE DE LA VULNÉRABILITÉ

Les concertations locales avec les différents acteurs ont permis de recenser les principaux risques climatiques ainsi que leurs différents impacts qu'on peut situer aux niveaux environnemental et socio-économique. Les acteurs locaux rencontrés ont également proposé et hiérarchiser en fonction de plusieurs critères un chapelet d'options endogènes pour atténuer ces différents impacts.

4.1. Secteur de l'agriculture

4.1.1. Vulnérabilité actuelle

4.1.1.1. Risques climatiques identifiés

L'approche participative utilisée lors des focus groupe a permis d'identifier cinq risques climatiques majeurs notés dans la zone que sont i) les pauses sèches, ii) les précipitations intenses, iii) l'érosion (hydrique et éolienne), vi) la hausse des températures et v) les vents de sable. À côté de ces risques deux (02) risques non climatiques ont été identifiés : les feux de brousse et l'urbanisation galopante notée partout dans la région. D'autres facteurs comme les oiseaux et insectes granivores sont aussi une menace pour les cultures dans la zone. Ces différents risques affectent plus la zone du Ferlo, du *Dieri*, le Gandiol ainsi que toute la vallée entrainant une baisse des rendements et une diminution du tapis herbacée, une perturbation du calendrier cultural etc. (Tableau 4).

Tableau 4 : Risques climatiques et non climatiques identifiés et leurs impacts sur l'agriculture

Risque	Fréquence/Durée	Zone d'impact	Impacts sur l'Agriculture
Les pauses sèches	Fréquente et irrégulière	Ferlo, Diéri et une partie des Niayes	Affecte les cultures sous pluies (baisse de rendement, abandon des cultures, etc.), les pâturages herbacés et ligneux.
Les précipitations intenses	Fréquente et irrégulière	Toute la vallée du fleuve	Perturbation des travaux poste récolte.
Érosion	Fréquente et régulière	Gandiol, vallée et Diéri	Abandon des champs et ensevelissant des cuvettes maraîchères dans les Niayes.
Hausse des températures	Fréquente et régulière	Toute la région	Prolifération des ravageurs.
Vents de sable	De février à Mai	Podor et Dagana	Impacts sur développement cultural des plantes
Incendie	Octobre à Avril	Plus sur le Diéri (Podor et Dagana)	Destruction des fermes, champs, tapis herbasses et appauvrissement des sols
Urbanisation galopante	Plus fréquente	Département de Saint-Louis	Destructions des parcelles agricoles.

L'analyse du cumul pluviométrique à l'échelle de la région de Saint-Louis montre une légère tendance globale à une augmentation de la pluviométrie avec une variabilité interannuelle très importante (Figure 1A). Cependant, il est clair que ce cumul des précipitations qui correspond à la quantité de précipitation cumulée (en mm) tombant durant la saison (Juillet à Septembre) peut être mal réparti au niveau spatial et temporel. Cette situation est appréciable avec le nombre de jours humide (Figure 1B) qui augmente depuis les années 2000 dans la zone. En effet le nombre d'années avec des moyennes journalières de précipitation sur la saison en ne considérant que les jours de pluie seulement ne cesse d'augmenter même si une certaine variabilité est observée. En même, le nombre de périodes sèches (Figure 1) sur la saison augmente et peut aller jusqu'à plus de 6 jours (Figure 1).

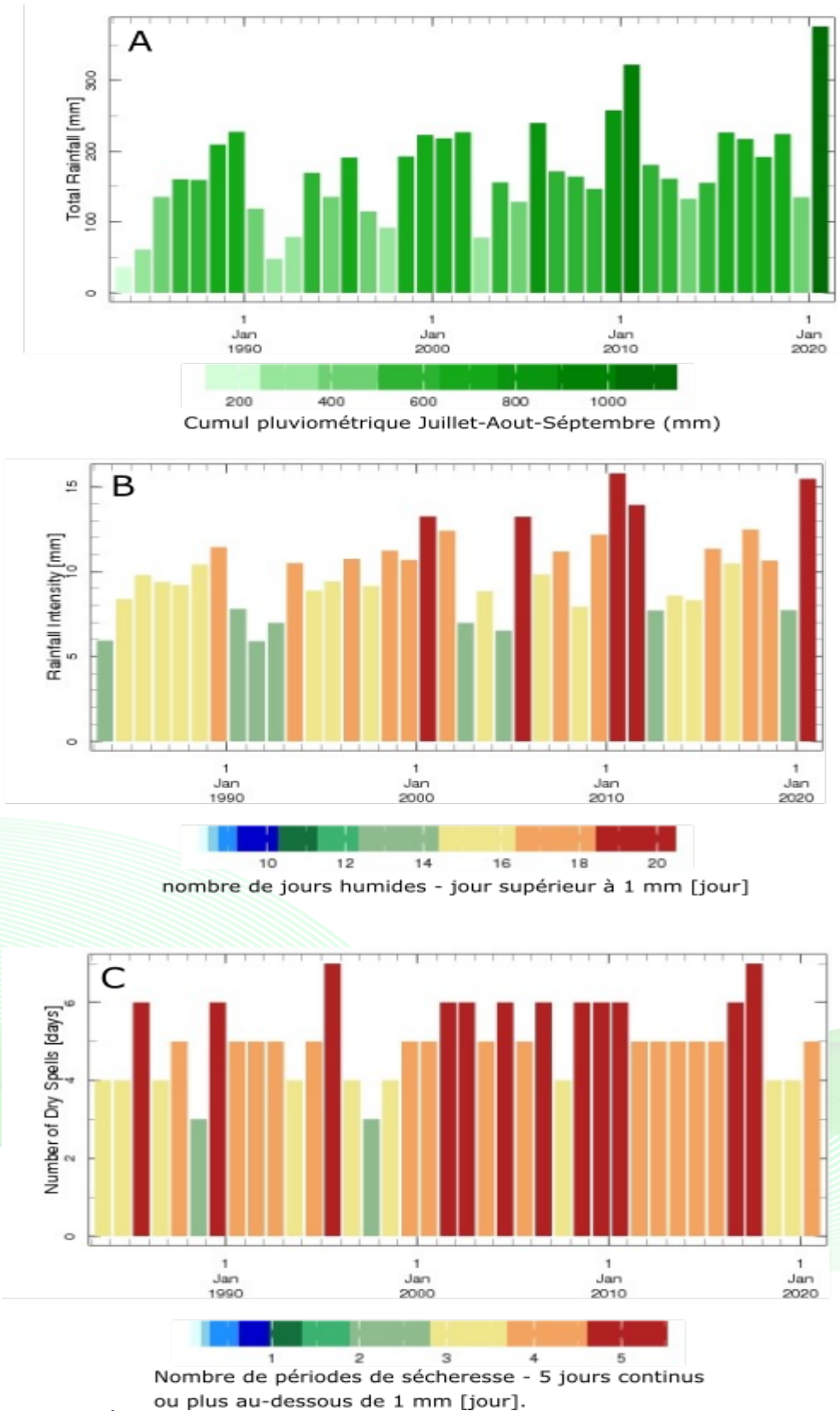


Figure 1 : Évolution risques climatiques de 1980 à 2020 A) Localisation la zone d'étude Saint-Louis, B) Cumul pluviométrique, C : l'intensité des précipitations et D : Nombre de périodes sèches du 1 Juillet au 30 Septembre
(Source : Maproom ANACIM http://213.154.77.59/maproom/)

Cette situation montre l'irrégularité des pluies et qui est observable au niveau de l'indice standardisé des précipitations (SPI) avec des années modérément (SPI 1.00 à 1.49) à extrêmement humide (SPI =2) depuis les années 2000 (Figure 2).

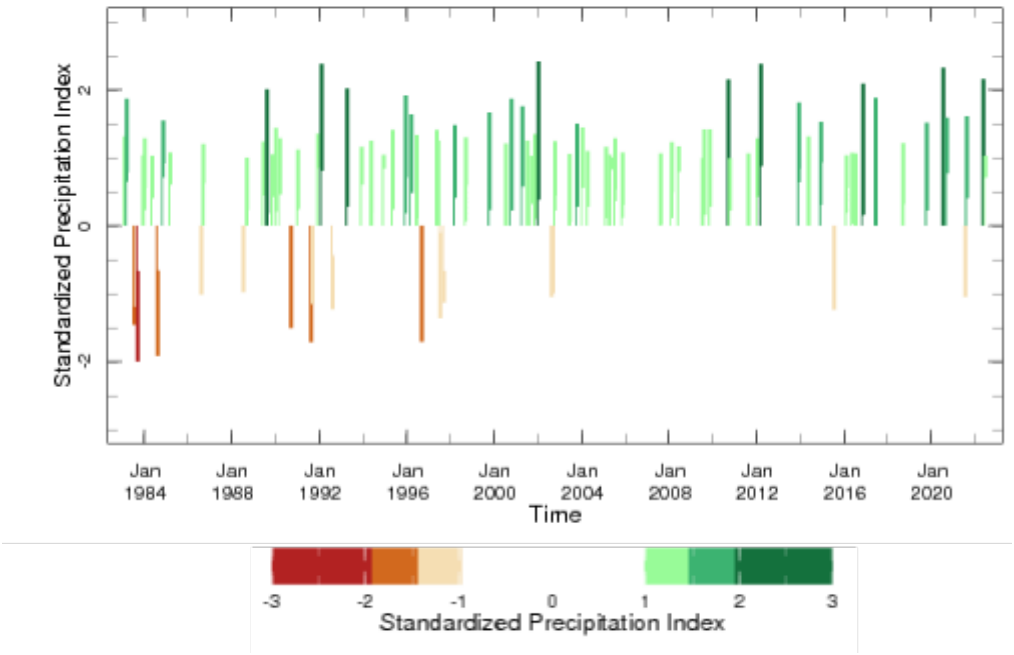


Figure 2 : Indice standardisé des précipitations (ISP) de 1981 à 2020 à Saint-Louis (Source : Maproom ANACIM http://213.154.77.59/maproom/)

4.1.1.2. Impacts des changements climatiques sur le secteur agricole

Les systèmes de culture de la VFS (vallée du fleuve Sénégal) se différencient selon leur mode d'alimentation en eau, ce qui permet de distinguer trois grands types de systèmes : irrigués, de décrue, et pluviaux. Ces trois systèmes de cultures sont impactés négativement par les risques climatiques.

Les systèmes de culture pluviaux sont pratiqués de juillet à octobre, sur des sols très sablonneux non inondables par les crues. Les parcelles font généralement de 1 à 2 ha et l'essentiel des opérations culturales est manuel. Dans la région de Saint-Louis, les cultures pluviales sont de plus en plus délaissées à cause de la baisse importante des quantités et de la durée des pluies (Ndiaye, 2006). Les céréales cultivées sous pluies sont le mil, le sorgho et le maïs et se font en grande partie dans le département de Podor qui concentre respectivement 96,8%, 87,4% et 76,3% des superficies. En revanche, le riz reste plus cultivé dans le département de Dagana qui a totalisé 79,0% des surfaces emblavées pour la campagne (SR-St-Louis, 2019/2020). Le niébé et la pastèque, plus adaptés à la courte saison des pluies et non vulnérables aux oiseaux granivores, sont des cultures pluviales en expansion au Nord et au Nord-Ouest du Sénégal, où ils se substituent de plus en plus à l'arachide et au mil. Le béref (pastèque locale) et le niébé restent les seules cultures pluviales dans le Diéri du département de Podor et du Gandiolais.

Ces différentes cultures sont impactées par les risques climatiques comme la sècheresse, les précipitations intenses, la hausse des températures et les vents de sable. Ces différents risques impactent négativement les cultures notamment le développement végétatif et le non bouclage du cycle, l'évapotranspiration important et l'ensevelissement des cultures etc. Les impacts socio-économiques sont importants notamment la baisse des rendements, l'abandon de parcelles, l'augmentation du cout d'irrigation etc. (Tableau 5).

Tableau 5 : Impacts des risques climatiques identifiés sur le système pluvial

Chaine d'impact système de culture pluviale		
Risque climatique	**Impacts biophysiques sur les cultures pluviales**	**Impacts socio-économiques**
Les pauses sèches	Développement des cultures	Baisse de rendement et de revenu (pauvreté).
Les précipitations intenses	Développement des cultures	Inondation des parcelles de cultures.
Érosion	Destruction et ensablement des cultures	Perte d'habitat et de parcelles de cultures
Hausse des températures	Augmentation de l'évapotranspiration des plantes.	Augmentation du coût d'irrigation,
Vents de sable	Ensevelissent des cultures, déplacement des particules du sol.	Augmentation du coût d'irrigation et pertes culture.

Les systèmes de culture de décrue sont pratiqués vers Dagana (Bruckmann, 2017). Ces systèmes ont une importance relative plus forte en Moyenne Vallée alors qu'elle est faible en Haute Vallée et quasi inexistante dans le Delta. Il faut noter que les cultures de décrue ont considérablement diminué pour se stabiliser à environ 36% du niveau d'avant les grandes sécheresses (Bruckmann, 2017). On distingue deux sous-types de cultures de décrue : (i) la culture de sorgho, souvent associée au niébé et essentiellement destinée à l'autoconsommation, dans les cuvettes (walo), ainsi que sur les bourrelets de berges (fonde) lors des hautes crues ; les cultures sur berges (falo), très souvent conduites par les femmes, comprenant plusieurs types de spéculations (maïs, niébé, patate, courge, courgette, etc.), dont les produits sont consommés mais aussi vendus au marché. Les céréales constituent la culture de décrue la plus fréquente (65%), suivies des cultures maraîchères (23%). Alors que les cultures maraichères sont dominantes à Dagana.

Les cultures de décrue sont particulièrement impactées par la sécheresse qui a des impacts socio-économiques importants comme l'exode rurale et l'insécurité alimentaire. La hausse des températures impacte également ces cultures entrainant une baisse des rendements dus à un dessèchement rapide des parcelles et une augmentation des besoins en eau des cultures.

Les systèmes de culture irrigués sont en pleine expansion, en particulier avec l'extension forte (de 7 à 10 fois depuis le début des années 70) des zones de culture du riz. Les périmètres irrigués sont très diversifiés et on distingue (DAPSA, 2009) : les grands périmètres irrigués le long du fleuve (de 400 ha à quelques milliers d'ha) ; les périmètres moyens, dans les mêmes zones que les grands périmètres (de 60 à 400 ha) ; les PIV, situés le long du fleuve et au Sénégal oriental (20 à 30 ha) ; les PIP, situés le long du fleuve, autour du Lac de Guiers et dans le Gandiolais (30 ha en moyenne) ; les micro-périmètres privés du Gandiolais et du Lac de Guiers (taille moyenne de 1 à 2 ha). Les principaux systèmes de culture irrigués rencontrés dans la VFS sont : (i) la riziculture, avec deux (02) saisons de culture (hivernage, contre-saisons chaude) ; (ii) le maraichage (dont une plus forte spécialisation vers des monocultures de rente telles que la tomate ou l'oignon) et d'autres spéculations notées telles que le gombo, le maïs, la patate douce etc. Concernant le riz, les emblavures irriguées pour les deux saisons (hivernage, contre-saisons chaude) ne dépassent pas 86 000 ha par an d'après les informations collectées auprès de la SAED. Les rendements les plus élevés sont obtenus en saison sèche chaude (Djaman et al., 2016). Ils sont actuellement de l'ordre de 6t/ha, contre environ 4-5 T/ha en hivernage.

Les risques climatiques entrainent un accroissement des besoins en eau des cultures pour compenser l'augmentation de l'évapotranspiration, Inondation des parcelles, un développement accéléré des plantes aquatiques envahissantes telles que le typha etc. Ces impacts sont à l'origine d'une augmentation du coût d'irrigation et pertes culture (Tableau 6).

Tableau 6 : Impacts des risques climatiques identifiés sur le système de cultures de irriguées

Chaine d'impact système de culture irrigué		
Risque climatique	Impacts biophysiques sur la culture irriguée	Impacts socio-économiques
Les pauses sèches	Un accroissement des besoins en eau des cultures pour compenser l'augmentation de l'évapotranspiration	Coût en énergie plus important
Les précipitations intenses	Inondation des parcelles, un développement accéléré des plantes aquatiques envahissantes telles que le typha	Pertes de plantes et de récoltes et endettement
Érosion	Érosion hydrique	Pertes de plantes et de récoltes et endettement
Hausse des températures	Augmentation de l'eau d'irrigation	Augmentation des coûts
Vents de sable	Ensevelissent des cultures, déplacement des particules du sol.	Augmentation du coût d'irrigation et pertes culture.

Comme les différents systèmes de culture considérés ici comme des unités d'exposition, les sols de la région de Saint-Louis sont aussi exposés aux différentes manifestations climatiques et non climatiques. Ces risques entrainent entre autres la dégradation de la structure du sol, l'assèchement rapide du sol, déplacement des particules du sol etc., entrainant des coûts de réhabilitation e de restauration plus élevés (Tableau 7).

Tableau 7 : Impacts des risques climatiques identifiés sur les sols

Chaine d'impact fertilité des sols		
Risque climatique	Impacts biophysiques sur la texture/structures	Impacts socio-économiques
Les pauses sèches	Dégradation de la structure du sol	Augmentation du coût de restauration
Les précipitations intenses	Percolation, lessivage et dégradation de la structure du sol	Augmentation du coût de restauration, baisse des rendements et des revenus et insécurité alimentaire.
Érosion	Érosion éolienne et hydrique	Coût de réhabilitation
Hausse des températures	Asséchement rapide du sol	Bassinage avec des quantités d'eau importantes (coût d'irrigation)
Vents de sable	Déplacement des particules du sol, ensevelissement des cultures	Pertes de plantes, baisse de rendements et revenu

Comme tous les autres sous-secteurs de l'Agriculture, la foresterie est aussi fortement impactée par les risques climatiques notés au niveau de la région de Saint-Louis. Ainsi la sécheresse est à l'origine de la disparition de certaines espèces forestières et la régression du couvert végétal qui entraine une diminution de la quantité des produits forestiers non ligneux. L'érosion observée dans certaines parties comme la langue de barbarie affecte les ressources forestières et à l'origine d'une disparition des espèces et la dégradation des forêts, quant aux vents de sable un effet néfaste sur la régénération des espèces est observé.

4.1.1.3. Analyse de la sensibilité globale

L'analyse de la sensibilité globale a été faite à l'aide de la matrice de sensibilité. La note l'impact du risque identifié sur l'unité d'exposition est donnée sur une échelle de 1 à 5. La somme des différents scores sur la ligne donne l'indice d'exposition pour l'unité d'exposition, alors que la sommes des scores sur la colonne correspond à l'indice d'impact du risque. L'utilisation de la matrice de sensibilité exige :

- de faire une première analyse des moyens d'existence dominants dans la région étudiée ;
- d'identifier les différentes menaces pour ces moyens d'existence ;
- de développer une matrice qui permet de confronter les moyens d'existence aux risques identifiés ;

- de choisir une échelle de pondération (comprise entre **1 et 5** dans le cas de cette étude) pour apprécier de manière qualitative à partir d'avis d'experts le niveau de sensibilité de chaque moyen d'existence par rapport aux différents risques identifiés avec : **1**= impact très faible ; **2**=impact faible ; **3**=impact moyen ; **4**=impact fort ; **5**=impact très fort ;
- de remplir la matrice en affectant une note à chaque case ;
- d'agréger les évaluations par ligne (**indice d'exposition**) et par colonne (**indice d'indice**).

L'indice d'exposition est obtenu en faisant la somme des pondérations pour chaque ligne divisée par la note totale possible obtenue. Par exemple, si la note maximale qu'on peut affecter est 5, la note totale possible est 25, c'est-à-dire 5x5 si la matrice présente 5 colonnes, 20 si la matrice présente 4 colonnes etc. L'indice d'exposition le plus élevé montre le moyen d'existence le plus impacté par l'ensemble des risques identifiés.

L'indice d'impact est obtenu en faisant la somme des pondérations pour chaque colonne divisée par la note totale possible. La même méthode de calcul est utilisée pour le calcul de l'indice d'impact mais dans le sens des colonnes. L'indice d'impact le plus élevé montre le risque le plus important dans la région.

L'analyse des risques climatiques de la région de Saint-Louis a montré que les pauses sèches sont le facteur climatique qui impacte plus le secteur agricole avec un indice d'impact de 51 (Tableau 8). Les impacts sur les cultures sont nombreux en particulier sur le développement végétatif des cultures avec des besoins en eau plus important dus à l'augmentation de l'évapotranspiration. Les pluies intenses sont aussi des facteurs de vulnérabilité importants (avec un indice d'impact de 27) entrainant entre autres des inondations des parcelles, un développement accéléré des plantes aquatiques envahissantes telles que le typha mais également le lessivage et dégradation de la structure du sol. L'érosion hydrique et éolienne dû aux fortes précipitations mais également aux vents forts est non négligeable dans la zone (Indice d'impact 21). En effet elle impact beaucoup les cultures par ensablement des parcelles et ensevelissement des cuvettes maraîchères dans les Niayes entrainant un abandon des parcelles cultivées. Les fortes températures ont un impact aussi important sur les cultures pluviales notamment à certaines périodes comme la floraison causant des avortements et ou le mauvais remplissage des grains. Ces températures affectent aussi les cultures maraichères comme la tomate très sensible aux fortes chaleurs. Les vents de sables qui soufflent souvent de février à Mai particulièrement dans la zone de Dagana et de Podor ont un impact import sur le cycle de développement des cultures et sur la texture du sol par déplacement des particules.

Parmi les différentes unités d'exposition agricoles, les cultures maraichères et les sols sont les unités les plus sensibles aux différents risques identifiés. Les cultures sont plus impactées par les fortes températures et les sols par l'érosion. Les céréales (mil, maïs et sorgho) sont aussi fortement exposées aux différents risques climatiques notamment les pauses sèches. Parmi les groupes d'acteurs les agriculteurs sont les plus exposés aux risques avec un indice d'exposition de 15. Ceci à cause des différents impacts socio-économiques des risques climatiques notamment les impacts liés aux moyens de subsistances des ménages agricoles.

Tableau 8 : Matrice de sensibilité de la région de Saint-Louis

	Risque climatique					Indice d'exposition
	Les pauses sèches	Précipitations intenses	Érosion	Hausse des températures	Vents de sable	
Unités d'exposition sur le secteur de l'agriculture						
Riz	3	3	2	1	1	10
Cultures maraîchères	2	3	3	4	2	14
Mil, Sorgho, Maïs	5	3	2	1	1	12
Fertilité des sols	2	3	4	2	3	14
Système pluvial	5	4	1	1	1	12

	Risque climatique					Indice d'exposition
	Les pauses sèches	Précipitations intenses	Érosion	Hausse des températures	Vents de sable	
Système de décrue	5	1	1	3	2	12
Système irrigué	4	3	1	1	1	10
La foresterie	5	1	3	1	1	11
L'élevage						
d'acteurs						
Groupe Agriculteur	5	2	3	2	3	15
Éleveur	5	2	1	3	1	12
Exploitant forestier	5	1	1	1	1	9
Autres (Exploitant de sel)	5	1	1	1	1	9
Indice d'impact	51	27	21	21	17	

4.1.2. Vulnérabilité future

4.1.2.1. Projections climatiques sur la pluviométrie et la température

Horizon 2035 : l'analyse des projections de la pluviométrie au niveau des régions de Saint-Louis montre que quel que soit l'horizon et le scénario, le cumul pluviométrique pourrait diminuer (Tableau 9). Ces résultats sont en accord avec ceux de Dème et al., (2015). Cette diminution est importante à l'horizon 2035 et pour le scénario RCP 4.5, cependant elle devient plus importante à l'horizon 2050 avec le scénario RCP8.5. Un écart de pluviométrie de -7,1 ± 15,5 mm est noté à l'horizon 2035 à Saint-Louis selon le scenario RCP4.5, alors que le scénario RCP 8.5 prédit un écart jusqu'à -9,0 ± 22,5 par rapport au cumul pluviométrique de la saison de référence.

Quel que soit le scénario et l'horizon considérée, la température va augmenter par rapport à la période de référence. La température connait une hausse de 1,1°C par rapport à la période de référence selon le scénario RCP4.5, cependant pour le scenario RCP8.5 cette hausse est plus importante de 1.4°C.

Horizon 2050 : quel que soit le scénario et l'horizon considérée, la pluviométrie va plus diminuer et la température va augmenter. En effet, selon le scenario RCP4.5 un écart du cumul pluviométrique jusqu'à -8,7 ± 21,6 mm est noté, cet écart est plus important avec le scenario RCP8.5 avec -16,8 ± 39,5. Contrairement à la pluviométrie, la température va plus augmenter atteignant un écart de 1,5°C par rapport à la période de référence selon le scenario RCP4.5 et jusqu'à 2.1°C selon le scenario RCP8.5. Cette hausse de la température aura sans doute un lien avec l'évapotranspiration qui va aussi augmenter quel que soit le scenario et l'horizon considéré.

Tableau 9 : Projections de la température et de la précipitation aux horizons 2035 (2020-2050) et 2050 (2035-2065)

Localité	**Saint-Louis**	
Scenario	rcp45	rcp85
Écart Pluviométrie Horizon 2035 (mm)	-7,1 ± 15,5	-9,0 ± 22,5
Écart Pluviométrie Horizon 2050 (mm)	-8,7 ± 21,6	-16,8 ± 39,5
Écart Température Horizon 2035 (°C)	1,1	1.4
Écart Température Horizon 2050 (°C)	1,5	2.1

L'évolution de l'indice de pluie standardisé (IPS ; Figure 3), montre une tendance à la baisse dans le futur avec des pics d'années extrêmement sèches aux années 2026, 2045 (IPS = > -2). Au-delà de 2050 les projections montrent une recrudescence des événements de sécheresse qui pourraient être extrêmement sèche. Il faut noter aussi la forte variabilité interannuelle de l'IPS qui pourrait entraîner l'apparition d'années humides à l'intérieur des périodes très à extrêmement sèches.

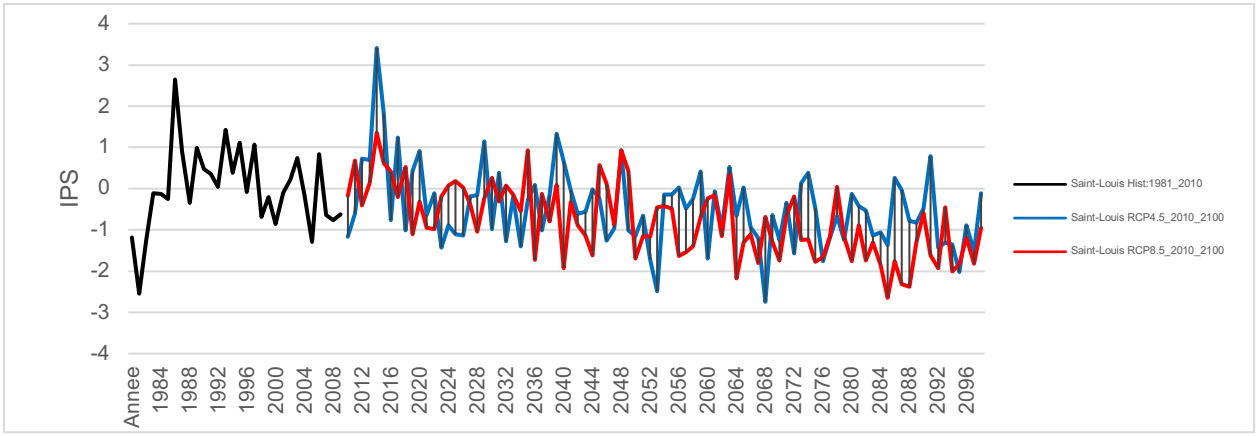


Figure 3 : Évolution l'indice de pluie standardisée (IPS) période historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge)
Les données utilisées sont celles de la moyenne d'ensemble des 29 simulations des modèles CMIP5 disponibles dans le portail Climap de l'ANACIM.

4.1.2.2. Analyse de la sensibilité future du secteur agricole

4.1.2.2.1. Projection et écarts de rendements

L'analyse de l'évolution des rendements de la spéculation maïs sur la période 2010-2050 montre qu'ils suivent une tendance baissière par rapport à la période de référence (1981-2010) avec une grande variabilité notamment avec les scenarios RCP8.5 (Figure 4). Pour la période de référence, les rendements du maïs tournent autour de 1900 kg/ha, alors la projection avec RCP4.5 est de 1492 Kg/ha en moyenne contre 1330 kg/ha pour RCP8.5. Cette même tendance est notée avec les autres céréales comme le mil (référence : 1072 kg/ha, RCP4.5 : 892 kg/ha, RCP8.5 : 876 kg/ha) et le sorgho (référence : 1168 kg/ha, RCP4.5 : 924 kg/ha, RCP8.5 : 740 kg/ha) qui présentent aussi une baisse.

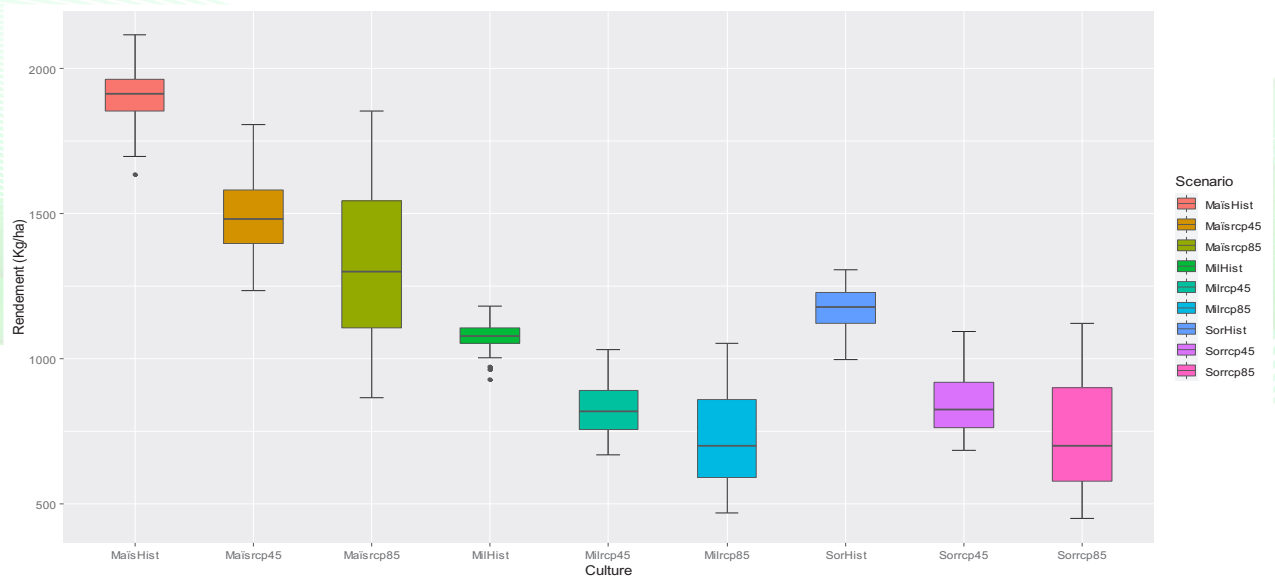


Figure 4 : Évolution des rendements simulés de la période de référence (1981-2010) et projetés suivant les scenarios RCP4.5 et RCP8.5 à l'horizon 2050

Horizon 2035 : au niveau variétal, les résultats des simulations révèlent qu'à l'horizon 2035, le mil à cycle court sera affecté et ceci pouvant entrainer un écart de rendement de 25% par rapport à la référence, selon le scénario RCP4.5 et 27% selon RCP8.5. Le mil à cycle long connaitra une réduction de 12% selon RCP4.5 et 16 % selon RCP8.5. Le maïs sera aussi affecté avec 20,2% de réduction selon le RCP4.5 et 21,3% suivant RCP8.5 pour la variété de cycle court. La variété de cycle long sera moins touchée avec 16 % de réduction selon le scenario RCP4.5 et 19,5 % suivant le scenario RCP8.5. Des trois (03) spéculations de céréales le sorgho est la plus affectée,

notamment la variété à cycle court qui enregistre une réduction de 30% suivant les deux scenarios. La variété à cycle long connait une réduction de 18% selon le RCP4.5 et de 21% suivant le scenario RCP8.5.

Horizon 2050 : les mêmes tendances sont notées avec 2050 mais avec une réduction plus prononcée. En effet, les changements climatiques auront un impact sur les rendements du mil avec des diminutions de l'ordre de 30 % pour les variétés à cycle court selon le scénario RCP45, et 36,3% selon le scenario RCP8.5 (Figure 5). Cette baisse sera aussi notée avec le maïs à cycle court qui peut enregistrer jusqu'à 24,4% de réduction selon le scenario RCP4.5 et 29,5% selon le scenario RCP8.5. Le maïs à cycle long sera légèrement moins impacté avec 20% de réduction suivant RCP4.5 et 28% suivant le RCP8.5. La variété à cycle court du sorgho est fortement impactée suivant le scenario RCP 4.5 avec 36% et 41% suivant RCP8.5. La même tendance est notée sur la variété à cycle long avec 23% de réduction suivant RCP4.5 et 31% suivant le RCP8.5.

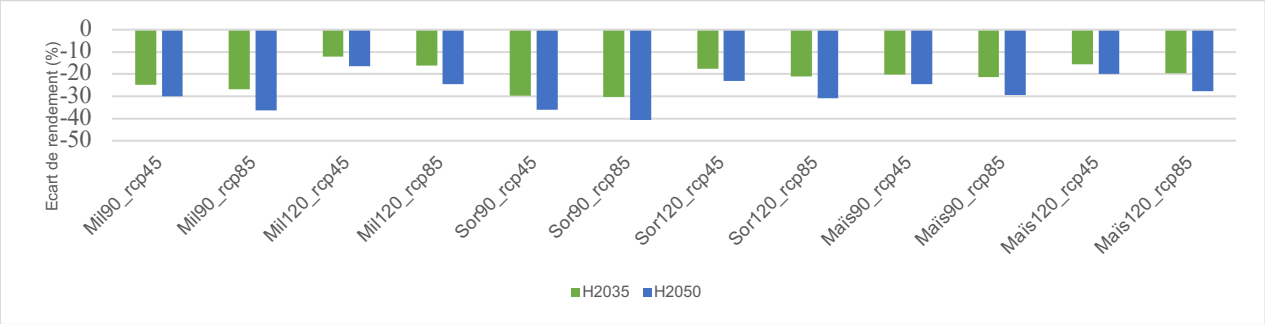


Figure 5 : Écarts de rendements du mil, maïs et du sorgho aux horizons 2035 et 2050, par rapport à la période de référence 1981-2010

4.1.2.2.2. Analyse des facteurs de vulnérabilité future

La relation entre les facteurs climatiques et les rendements des cultures dans le futur, montre que la température et les précipitations auront un fort impact (Figure 6). Sur les céréales à Saint-Louis, l'augmentation de la température est plus marquée et qui peut expliquer plus de 80% de la variabilité et la réduction des rendements des cultures. Cet impact est moins marqué avec la pluviométrie même si une relation existe. En effet, il est important de noter que la quantité de pluie ne détermine pas à elle seule le rendement agricole. D'autres facteurs que la pluviométrie, comme la régularité et la distribution spatio-temporelle, sont des éléments essentiels pour la croissance et la productivité des plantes cultivées.



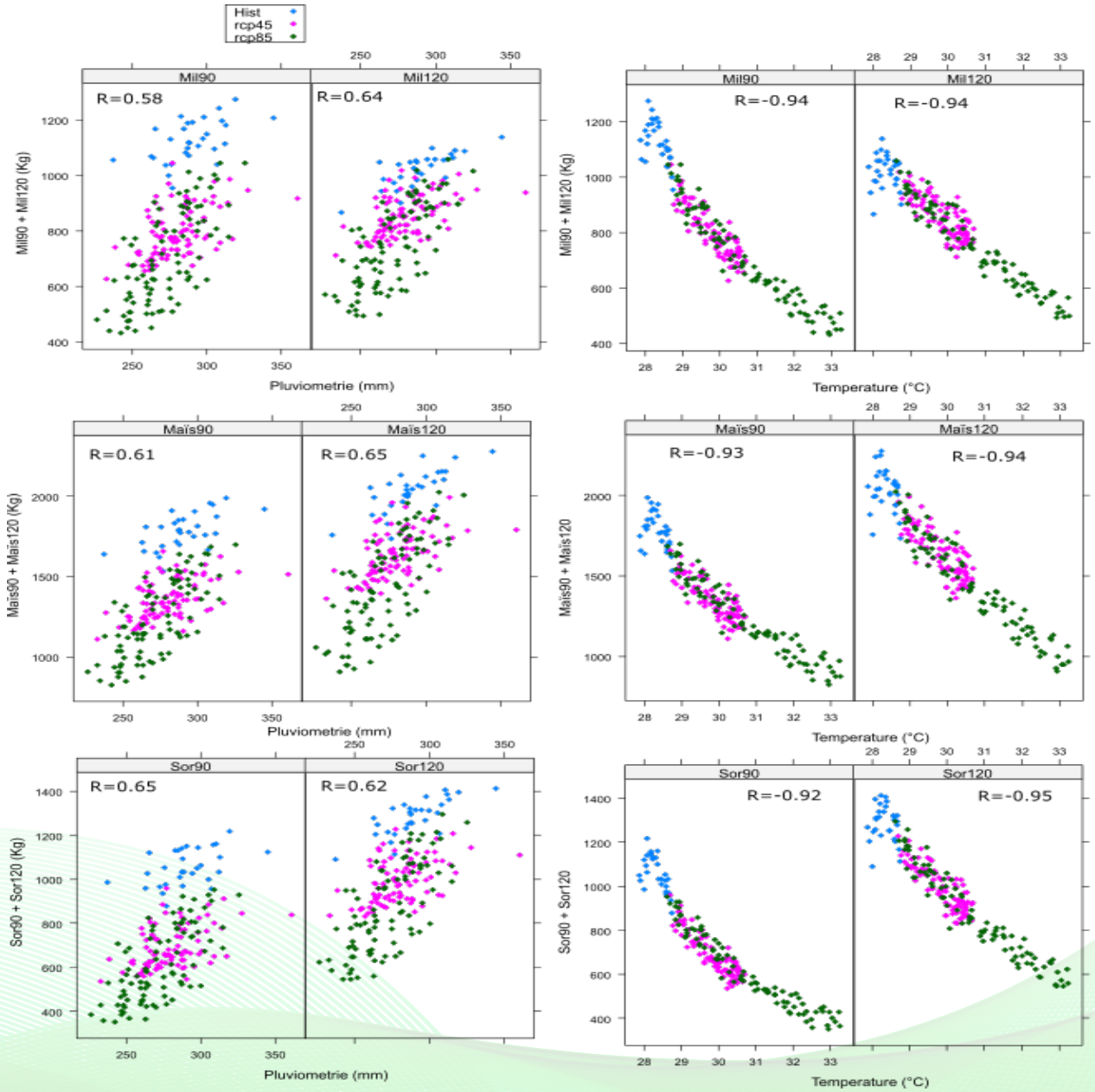


Figure 6 : Corrélation entre le rendement des cultures et les facteurs climatiques, température et précipitation

4.2. Secteur de la santé

4.2.1. Vulnérabilité actuelle

L'approche participative utilisée lors des focus groupe a permis d'identifier quatre risques climatiques majeurs notés dans la région que sont i) les tempêtes de poussières, ii) les inondations, iii) les vagues de chaleur, vi) l'irrégularité intra saisonnière de la pluviométrie voire sécheresse. À côté de ces risques climatiques, d'autres risques non climatiques ont été identifiés : difficultés d'accès aux marchés et produits alimentaires, impraticabilité des routes, inaccessibilité de certaines zones, insuffisance d'infrastructures et équipements adaptées. Les impacts sanitaires de ces risques sanitaires sont notés partout dans la région : problème de remontée des données sanitaires, malnutrition, problème d'accès aux structures, insuffisance de l'offre de services et de la qualité de service, la démotivation du personnel de santé (Tableau 10).

Tableau 10 : Risques climatiques et identifiés et leurs impacts sur la santé

Risque climatique	Fréquence/ Durée	Zone d'impact	Conséquences
Risque 1 Évènement extrême (Inondation)	Fréquent	Saint-Louis et Dagana	Prolifération des moustiques et survenue de maladies à transmission vectorielle comme le Palu et les maladies diarrhéiques et dermatologiques Inaccessibilité au service de soin par la présence d'eau et les dommages sur les infrastructures
Risque 2 : pluies hors saison	Peu fréquent	Sur toute la région	L'hypothermie / Prolifération des moustiques / destruction des cultures et perte de bétail (insécurité alimentaire)
Risque 3 : Vague de chaleur	De plus en plus Fréquent	Département de Dagana et Podor	Déshydratation/ maladies respiratoires / les crises drépanocytaires / décompensation des maladies cardiovasculaires
Risque 4 : irrégularité intra saisonnière de la pluviométrie	Fréquent	Toute la région et plus particulièrement le département à Dagana et Podor	Insécurité alimentaire (entraine la malnutrition) Vulnérabilité financière (recours tardifs aux soins)
Risque 5 : Tempête de sable	Fréquent	Toute la région et plus particulièrement le département de Podor	Mauvaise qualité de l'air entrainant la survenue/aggravation de maladies respiratoires, allergiques (muqueuse et cutané / Contamination de l'eau de boisson et des aliments (maladies diarrhéiques)

4.2.1.1. Analyse de sensibilité globale

L'analyse des risques climatiques de la région de Saint-Louis a montré que les « Tempêtes de poussière et les vagues de chaleur » montrent que ces derniers ont plus d'impacts plus le secteur de la santé avec des indices d'impact de 18 et respectivement (Tableau 11). Les impacts sur les maladies sont nombreux en particulier sur l'aggravation de certaines maladies, l'apparition de maladies émergentes et ré-émergentes. Saint-Louis est une région avec un climat tropicale et souffre souvent de hautes températures. Les inondations sont aussi des facteurs de vulnérabilité importants (avec un indice d'impact de 15) entrainant entre autres la prolifération des moustiques, la contamination des eaux de surface, la contamination de la chaine alimentaire l'aggravation des maladies hydrique et de la peau. Des inondations emportant des cultures sont aussi des facteurs de vulnérabilité importants pouvant entrainer une baisse des récoltes et une augmentation de la malnutrition. Les changements climatiques peuvent influencer les régimes alimentaires et la nutrition par diverses voies. Le réchauffement des températures, les précipitations irrégulières et les phénomènes météorologiques extrêmes affectent le potentiel de rendement des cultures [Romanello et al., 2021], entraînant une augmentation de l'insécurité alimentaire et financière.

L'approvisionnement en eau, l'assainissement et l'hygiène, compte tenu de leur impact direct sur les maladies infectieuses, en particulier la diarrhée, sont importants pour prévenir la malnutrition. La malnutrition et l'insuffisance de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement sont liées à la pauvreté. L'impact des diarrhées répétées ou persistantes sur la pauvreté liée à la nutrition et l'effet de la malnutrition sur la sensibilité aux diarrhées infectieuses renforcent le même cercle vicieux, en particulier chez les enfants des pays en développement (FAO, FIDA et PAM, 2014).

Parmi les différents motifs de consultation, les HTA, les maladies diarrhéiques et les affections cutanées sont plus sensibles aux différents risques identifiés. Les enfants, les femmes (notamment les femmes enceintes), les personnes âgées et celles vivants d'handicaps sont plus impactées par les différents risques identifiés.

Tableau 11 : Matrice de sensibilité de la région de Saint-Louis

	Risque climatique					**Indice d'exposition**
	Risque 1 Évènement extrême (Inondation)	**Risque 2** : pluies hors saison	**Risque 3** : Vague de chaleur	**Risque 4** : irrégularité intra saisonnière de la pluviométrie	**Risque 5 :** Tempête de sable	
Services rendus par la santé						
Mc1/m : affections respiratoires	1	1	3	1	5	11
Mc2/m : maladies diarrhéiques	5	3	3	3	5	14
Mc3/m : Maladies non transmissibles (HTA /Diabète)	5	2	5	2	3	17
Mc4/m : La malnutrition	2	2	1	5	2	12
Mc/m : le paludisme	5	5	1	5	1	17
Populations vulnérables						
Enfants	4	2	4	4	3	17
Femmes	2	3	2	2	2	11
Femmes enceintes	4	4	5	4	4	21
Personnes âgées	4	4	5	4	3	24
Personnes Handicapées	5	5	5	5	5	25
Tranche d'âge						
0 – 59 mois	5	5	5	5	5	25
5 – 14 ans	5	5	5	5	5	25
15 – 45 ans	4	4	4	4	5	21
4 6– 65 ans	4	4	4	4	5	21
66 et plus ans	5	5	5	5	5	25
Indice d'impact	23	23	23	23	25	

4.2.1.2. Quelques impacts indirects sur les risques sanitaires liés aux changements climatiques

Les extrêmes météorologiques (pluies diluviennes, inondations, ouragans) surviennent dans un laps de temps très court (quelques jours) et peuvent avoir de graves conséquences sur la santé. La vulnérabilité aux répercussions sanitaires des aléas climatiques est bien plus grande dans les communautés démunies que dans celles qui sont plus riches. Hommes et animaux périssent lors des désastres déclenchés par les intempéries, les habitations, les récoltes et les ressources sont détruites, les infrastructures de la santé publique sont endommagées, comme les hôpitaux ou les routes. En voici quelques exemples récents :

- À la suite d'ouragan par exemple, les populations sont souvent dépassées par ce genre d'intempérie et sont confrontées au problème d'accès à l'eau potable, les réseaux d'adduction d'eau non fonctionnels, ce qui peut augmenter l'incidence du choléra et d'autres affections diarrhéiques ;
- L'Afrique de l'Ouest est frappée par les pires inondations qu'elle ait connues en près de 50 ans, et enregistre par conséquent chaque année des millions de sinistrés et de pertes de vie humaine et beaucoup d'autres dégâts matériels ;
- Les vagues de chaleur entraînent une morbidité et une mortalité (avec le coup de chaleur par exemple). Les personnes âgées et celles souffrant de cardiopathies ou de pneumopathies sont particulièrement vulnérables ;
- Dans les villes, l'air stagnant retient à la fois la chaleur et les polluants atmosphériques, ce qui entraîne des phénomènes de smog susceptibles d'avoir de grandes répercussions sur la santé.

La problématique du secteur santé n'est que récemment considéré dans l'approche de quantification des effets des changements climatiques dans la population à cause de la nature indirecte de ses impacts et de la difficulté de les estimer. L'OMS mène une importante campagne d'information à propos de la thématique de santé et climat (OMS 2021), étant remarquables certaines des constats :

- « Les changements climatiques influent sur les déterminants sociaux et environnementaux de la santé : air pur, eau potable, nourriture en quantité suffisante, sécurité du logement.
- Entre 2030 et 2050, on s'attend à ce que les changements climatiques entraînent près de 250 000 décès supplémentaires par an, dus à la malnutrition, au paludisme, à la diarrhée et au stress lié à la chaleur.
- On estime que le coût des dommages directs pour la santé (à l'exclusion des coûts dans des secteurs déterminants pour la santé tels que l'agriculture et l'eau et l'assainissement) se situe entre 2 et 4 milliards de dollars (USD) par an d'ici 2030.
- Les zones n'ayant pas de bonnes infrastructures de santé, pour la plupart dans les pays en développement, seront les moins en mesure de se préparer et de faire face à la situation sans assistance.
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre, en élargissant le choix des transports, de l'alimentation et des énergies, peut entraîner une amélioration de la santé. »

La Figure 7 montre comment les changements climatiques influencent la vulnérabilité de la population à travers différentes voies d'exposition. Elle est aussi conditionnée par les facteurs de vulnérabilité de la population et par la capacité et résilience du système de santé pour y faire face. Une fois les populations sont exposées aux risques liés aux changements climatiques il y a des conséquences pour la santé des populations et aussi pour les services et systèmes de santé.





Figure 7 : Impact des changements climatiques sur la santé, traduit à partir du site de l'OMS dans sa version anglaise, santé et climat,
Source : https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health.

L'analyse des facteurs de vulnérabilité est déjà l'objet d'un document de la consultation dans Études de vulnérabilités approfondies aux changements climatiques des secteurs de l'agriculture, de la santé, « Rapport d'analyse approfondie de la vulnérabilité du secteur de la santé ». Dans ce rapport, les conditions de santé de la population sont décrites ; l'analyse des principales éléments démographiques, géographiques et socio-économiques qui définissent les principaux facteurs de vulnérabilité.

4.2.1.2.1. Changements climatiques et malnutrition

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la nutrition est un élément essentiel de la santé et du développement. Une meilleure nutrition est liée à une meilleure santé du nourrisson, de l'enfant et de la mère, à un système immunitaire plus fort, à une grossesse et un accouchement plus sûr, à un risque moindre de maladies non transmissibles (telles que le diabète et les maladies cardiovasculaires) et à la longévité. Les enfants en bonne santé apprennent mieux. Les personnes bien nourries sont plus productives et peuvent créer des opportunités pour briser progressivement les cycles de la pauvreté et de la faim. La malnutrition, sous toutes ses formes, présente des menaces importantes pour la santé humaine. Aujourd'hui, le monde est confronté à un double fardeau de malnutrition qui comprend à la fois la dénutrition et le surpoids, en particulier dans les pays à revenu faible et intermédiaire.

4.2.1.2.2. Changements climatiques et migration – déplacement

Certaines études se concentrent sur les inondations en tant que cause de déplacement de population et en tant que moteur potentiel de la croissance urbaine non planifiée, et à son tour du désordre urbain. Le lien entre les changements climatiques et la migration a gagné l'intérêt des universitaires et du public ces dernières années.

4.2.1.2.3. Changements climatiques, conflits et violence armée

Les changements climatiques peuvent affecter les opportunités économiques de différents groupes au sein des sociétés et déclencher des conflits sur les ressources naturelles et la répartition du pouvoir. Dans cet esprit, une littérature croissante a étudié la relation entre le climat et les conflits à l'échelle nationale, utilisant dans de nombreux cas des variables climatiques (principalement des changements dans les régimes de précipitations) comme source de chocs exogènes sur les revenus.

4.2.1.2.4. Changements climatiques et urbanisation

La littérature a déjà montré comment les chocs climatiques peuvent favoriser une urbanisation et une croissance urbaine non planifiées. Les changements climatiques et les catastrophes naturelles modifie l'ensemble de la répartition spatiale de la population et de l'activité économique.

4.2.2. Vulnérabilité future

4.2.2.1. Analyse du risque climatique futur : Modélisation climatique

Une dizaine de modèles climatiques globaux issus du CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project, version 6) pour la variable précipitations ont été utilisés. Ces simulations sont disponibles au pas de temps journalier pour la période 1850-2014 (Historique) et 2015-2100 (projections). Les modèles disponibles sont présentés dans le Tableau 12. Ils sont disponibles à différentes résolutions spatiales qui, par exemple, vont de 100 km (EC-Earth3) à plus de 350 km (CanESM5). Les jeux de données (observés et simulés) utilisés ont été interpolés sur la grille enfin pour les rendre cohérents dans l'analyse et l'interpolation. La période 1985 à 2014 a été choisie comme période de référence.

Tableau 12 : Modèles CMIP6, leurs institutions et pays d'origine et leur résolution

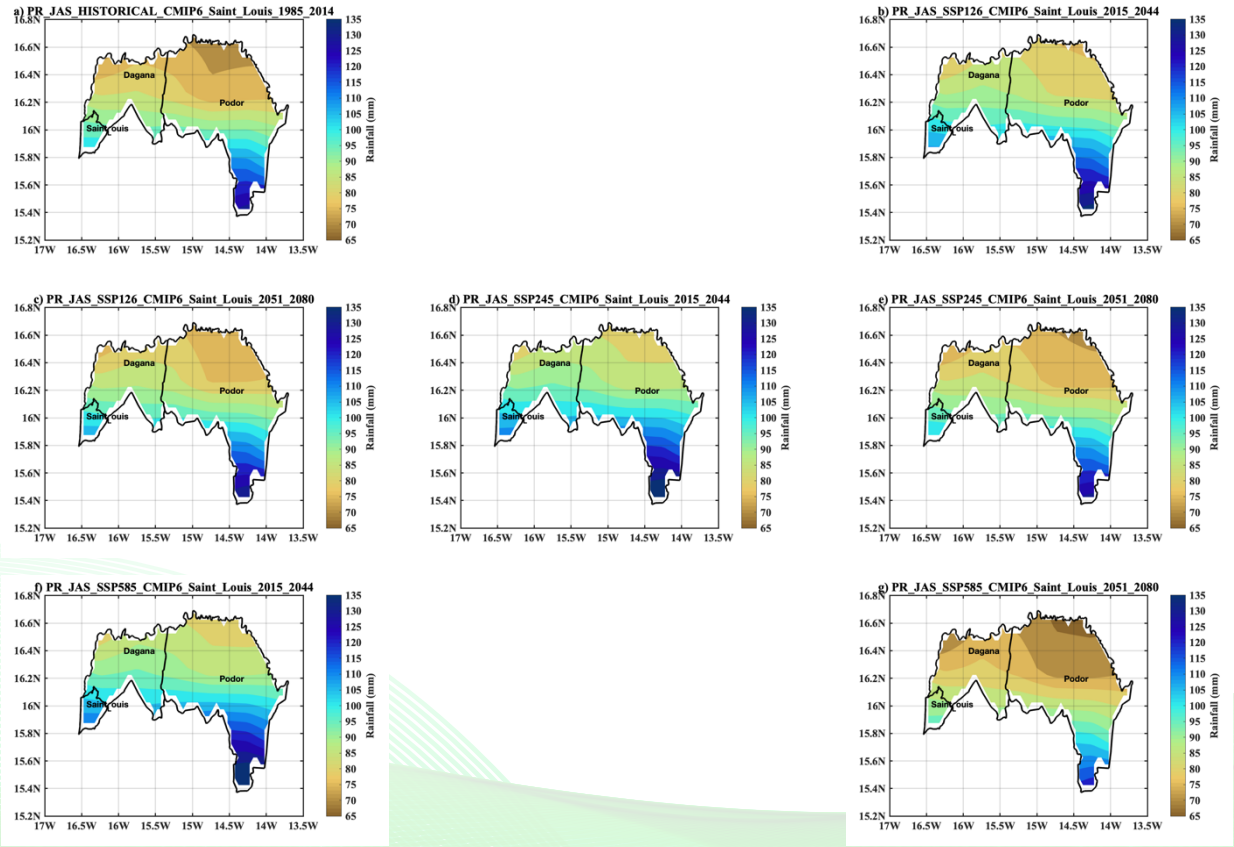
Nom model	Institution et pays	Résolution spatiale (Latitude x Longitude)
ACCESS-CM2	Australian Community Climate and Earth System Simulator Climate Model Version 2	1.9° x1.3°
ACCESS-ESM1-5	Australian Community Climate and Earth System Simulator Earth System Model Version 1.5	1.9°x1.3°
BCC-CSM2-MR	Beijing Climate Center (BCC) and China Meteorological Administration (CMA), Chine	1.1 x1.1
BCC-ESM1	Beijing Climate Center (BCC) and China Meteorological Administration (CMA), Chine	2.81° × 2.81°
CanESM5	Canadian Earth System Model, Canada	2.81° × 2.81°
CESM2	National Center for Atmospheric Research, Climate and Global Dynamics Laboratory, USA	1.25° × 0.94°
CESM2-WACCM	National Center for Atmospheric Research	1.25° × 0.94°
CMCC-CM2-SR5	The Euro-Mediterranean Center on Climate Change, Italie	2.8° x 1.9°
CNRM-CM6	Centre National de Recherches Météorologiques-Centre Européen de Recherches et de Formation Avancée en Calcul Scientifique, France	1.4° x 1.4°

CNRM-CM6_HR	Centre National de Recherches Météorologiques-Centre Européen de Recherches et de Formation Avancée en Calcul Scientifique, France	0.5° x 0.5°
CNRM-ESM2-1	Centre National de Recherches Météorologiques-Centre Européen de Recherches et de Formation Avancée en Calcul Scientifique, France	1.4 º × 1.4º
EC-Earth3	EC-EARTH Consortium (27 institutions), Europe	0.70 º × 0.70º
EC-Earth3-Veg	EC-EARTH Consortium (27 institutions), Europe	0.70 º × 0.70º
FGOALS-g3	Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System model Grid-point version 3	2° x 2.3°
GFDL-CM4	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	2.50 º × 2.00º
GFDL-ESM4	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, SUA	1.25 º × 1.00º
IITM-ESM	Indian Institute or Tropical Meteorology, India	1.9 ° x 1.9°
INM-CM4-8	Numerical Mathematics, Russian Academy of Science, Moscow 119991, Russie	2° x 1.5°
INM-CM5-0	Numerical Mathematics, Russian Academy of Science, Moscow 119991, Russie	2° x 1.5°
IPSL-CM6A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace, France	2.5° x 1.3°
KACE-1-0-G	National Institute of Meteorological Sciences, Korea	1.4° x 1.9°
KIOST-ESM	Korea Institute of Ocean Science and Technology, Korea	1.875° x 1.875°
MIROC6	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Kanagawa 236-0001, Japan	1.4° x 1.4°
MIROC-ES2L	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Kanagawa 236-0001, Japon	2.8° x 2.8°
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meteorology, High Resolution, Allemagne	0.9° x 0.9°
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Low Resolution, Allemagne	1.9° x 1.9°
MRI-ESM2	Meteorological Research Institute, Japon	1.1° x 1.1°
NESM3	Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing,	1.9° x 1.9
NorESM2-LM	Norwegian Meteorological Institute Low Medium Norway	2.5° x 1.9°
NorESM2-MM	Norwegian Meteorological Institute Medium Medium Norway	0.9° x 1.3°
TaiESM	Research Center for Environmental Changes, Taiwan	1.3° x 1°

Pour étudier d'éventuels impacts futurs, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) dans son 6e rapport (Zhongming et al., 2021) s'appuie sur cinq scénarios appelés Shared Socio-economic Pathways (SSP), ou trajectoires économiques »). Nous utilisons notamment SSP1, SSP2 et SSP5. Les économistes et les sociologues évaluent les coûts d'adaptation et d'atténuation liés aux changements climatiques selon différents scénarios socio-économiques compatibles avec les scénarios RCP (*Representative Concentration Pathway*). Les scénarios RCP (pour "Representative Concentration Pathway" en anglais, "Trajectoires représentatives de concentration" en français) sont quatre scénarios de trajectoires de forçage radiatif jusqu'à l'an 2100. Ces scénarios ont été établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou GIEC en anglais pour « Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ») pour son 5ème rapport, AR5 (GIEC Cinquième rapport d'évaluation ou Cinquième rapport d'évaluation du GIEC). Un scénario RCP est utilisé pour modéliser le climat futur. Dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC (AR5, publié en 2014) et sur la base de quatre hypothèses différentes concernant la quantification des gaz à effet de serre qui seront émis dans les années à venir (période 2000-2100), chaque scénario RCP donne une variante jugée probable du climat qui résultera du niveau d'émission choisi comme hypothèse de travail. Les quatre (04) scénarios portent le nom de la plage de forçage radiatif ainsi obtenue pour l'année 2100 : le scénario RCP 2,6 correspond à un forçage de +2,6 W/m2 (Watt par mètre carré), le scénario RCP 4,5 à + 4,5 W/m2, et de même pour les scénarios RCP6 et RCP8.5. Plus cette valeur est élevée, plus le système terre-atmosphère gagne en énergie et se réchauffe. Ces scénarios, appelés SSP, sont présentés en fonction des efforts qui devront être faits en termes d'adaptation et d'atténuation si le monde s'oriente vers de tels scénarios. La dernière génération de CMIP, IPCC-AR6 (décembre 2021) [Zhongming et al., 2021] contient 31 groupes de modélisation.

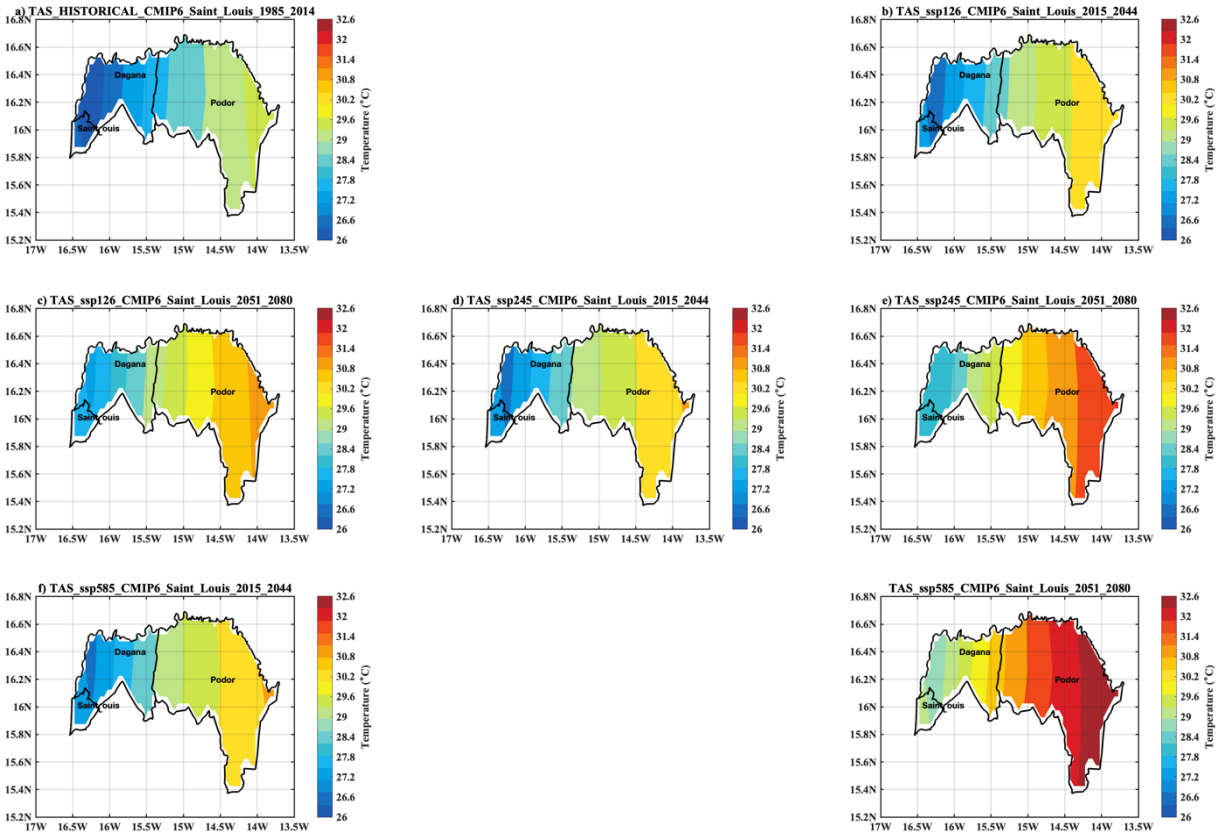
4.2.2.2. Projection climatique sur la pluviométrie et la température

Il convient de regarder de plus près le cœur de la saison des pluies, à savoir les mois de juillet, août et septembre. À ce propos, la Carte 2, la distribution spatiale précipitations est représentée pour la période historique (1985-2014), et pour les scénarios SSP126, SSP245 et SSP585 pour la période de projection 2015-2044 et 2051-2080 (période commune des différents modèles utilisés pour la moyenne d'ensemble). Un gradient latitudinal est observé sur les cartes des précipitations avec l'extrême Sud des 3 départements (Saint-Louis, Dagana et Podor) plus humides. Ces résultats montrent une diminution des précipitations dans le futur lointain (2051-2080) par rapport au futur proche (2015-2044).



Carte 2 : Distribution spatiale des précipitations à Saint-Louis en juin-août-septembre pour a) la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6

Concernant les températures, nous pouvons retenir grâce avec la Carte 3 qui met nettement en évidence le réchauffement climatique avec une augmentation du signal dans les projections comparées à l'historique. Les températures les plus élevées se situent généralement à l'est de la région notamment au niveau du département de Podor. Une augmentation des températures est observée tant pour le futur proche que pour le plus loin. Le département de Ranérou affiche les plus faibles valeurs de températures. Les scénarios (SSP245 et SSP585) montrent une forte augmentation des températures pour le futur lointain, avec des gammes de températures moyennes mensuelles qui vont dépassaient 32ºC dans le département de Podor pour le scenario SSP585 et pour la période de projection 1951-2080.



Carte 3 : Distribution spatiale des températures à Saint-Louis pour a) la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6.

4.2.2.3. Analyse de la sensibilité future du secteur de la santé : Modélisation de quelques maladies prioritaires de l'étude

Les conséquences sanitaires éventuelles des changements climatiques sont multi-causales, et ne peuvent être convenablement interprétées qu'en les replaçant dans leur contexte (démographique, social, économique, etc.) [Leport and Guégan., 2011]. En ce qui concerne les maladies à transmission vectorielle, de nombreux paramètres peuvent être affectés par les changements climatiques et ainsi modifier le risque de transmission. La modification de l'aire de répartition des vecteurs semble le plus évident, mais chaque composante d'un système vectoriel (hôte, pathogène, vecteur, réservoir) ainsi que leurs interactions peuvent s'en trouver impactées. La Figure 8 présente les éléments de la biologie du vecteur qui peuvent être impactés par des variables climatiques et donc par les changements climatiques.

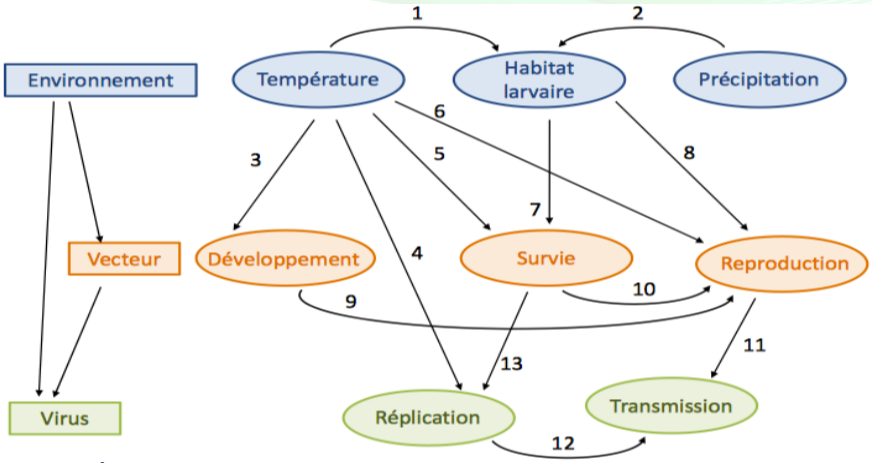


Figure 8 : Éléments de la biologie du vecteur pouvant être impactés par des variables climatiques

4.2.2.3.1. Modélisation de l'incidence du Paludisme au Sénégal

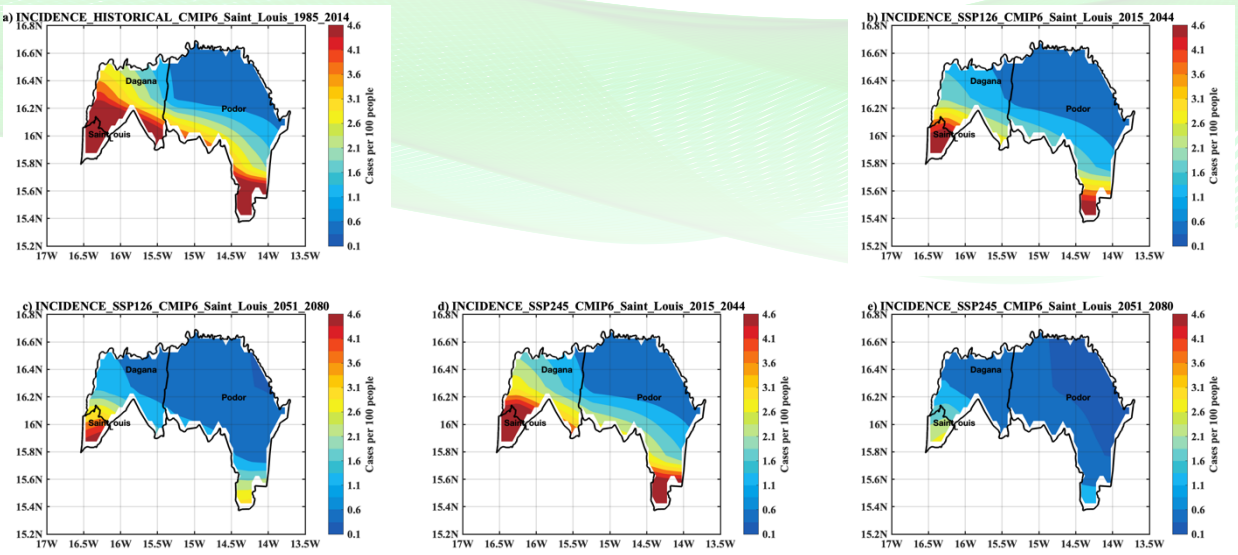
Le paludisme est une maladie à transmission vectorielle et climato-sensible. Sa distribution peut être influencée par des facteurs climatiques notamment la température et les précipitations. Cette influence est notée à trois niveaux :

- Distribution est l'abondance des anophèles vecteurs ;
- Possibilité du succès du cycle sporogonique ;
- Puis modulation du contact home vecteur.

En effet Les températures élevées sont favorables à la croissance rapide des moustiques et au raccourcissement du cycle de reproduction de l'agent pathogène plasmodium, alors que la pullulation des vecteurs moustiques dans les gîtes larvaires est modulée par les précipitations [DIOUF, 2022]. Ce qui pourrait fortement influencer l'épidémiologie de la maladie.

Se trouvant à l'embouchure du fleuve Sénégal, la région de Saint-Louis, comparée aux régions précédentes, présente moins de cas de paludisme avec une répartition assez hétérogène et des valeurs variant entre 0.5% et 5%.

La Carte 4 montre que pour la variabilité spatiale, il existe une nette différence dans l'intensité du signal de l'incidence du paludisme entre les départements de Saint-Louis. Le gradient latitudinal de la répartition du paludisme est visible. En comparant les données historiques (Carte 4a et 4b-g), on constate que l'incidence simulée du paludisme diminue dans les projections comme on l'a trouvé au nord et au centre du Sénégal, et ce, même dans un futur proche (2015-2044), mais surtout dans un futur lointain (2050-2080), avec une ampleur de la décroissance plus importante avec les scénarios SSP245 et SSP585 (Carte 4d, 4e, 4g et 4h). Une telle diminution du paludisme dans un avenir lointain semble être associée aux changements climatiques [Gething et al., 2010; Diouf et al., 2022]. Ainsi, des températures trop chaudes pourraient avoir un impact négatif sur la survie des moustiques adultes en commençant à réduire la population de moustiques adultes dans le modèle et cela implique une diminution de la transmission du paludisme. Béguin et al. (2011) ont montré un effet inverse des changements climatiques sur la répartition mondiale du paludisme, et ils montrent une diminution des comportements simulés de paludisme sur le Sahel quelle que soit la période et le scénario considérés qui sont liés à l'effet de la température.

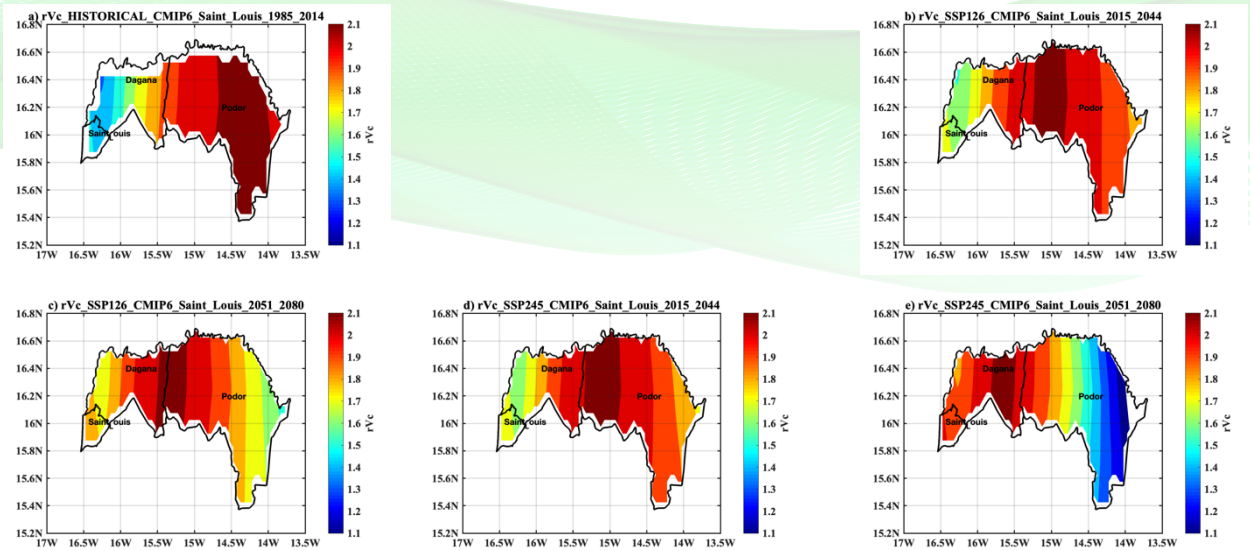


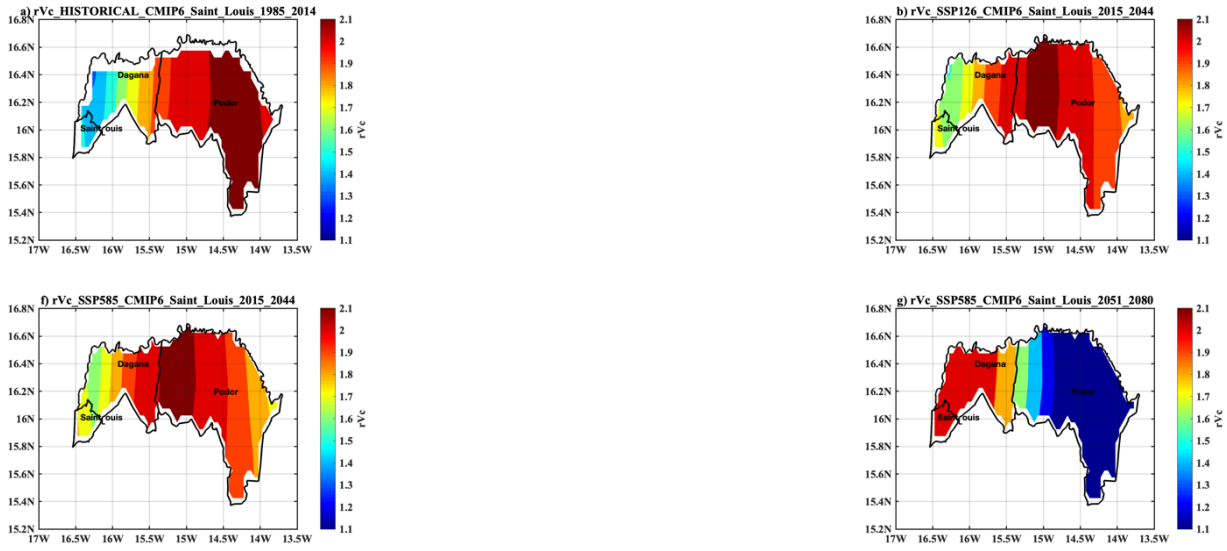


Carte 4 : Distribution spatiale de l'incidence du paludisme à Saint-Louis en juin-août-septembre pour a) la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6

4.2.2.3.2. Modélisation de la capacité vectorielle d'Aedes aegypti : effet de la température sur la dengue à Saint Louis

La Carte 5a relative à la période historique montre que le département de Podor, est plus touché par la forte occurrence de l'indice d'occurrence rVc de la dengue. Comme on l'a constaté précédemment avec une autre maladie à transmission vectorielle comme le paludisme, en comparant les Carte 5b, 5d, 5f (futur proche) et les Carte 5c, 5e et 5g (futur loin) relatives aux projections de la dengue montrent un effet opposé des changements climatiques sur la distribution future de la dengue à Saint-Louis. Par exemple, la Carte 5g (scénario extrême SSP585) montre une diminution drastique de l'indice simulé (rVc) de la dengue dans le département de Podor où les gammes de températures seraient deviendraient trop chaudes et défavorables aux vecteurs moustiques. On observe également une baisse mais dans une moindre mesure avec les scénarios optimiste (SSP126) et intermédiaire (SSP245). Ce résultat sur la réduction future de la dengue dans certaines dans les départements de Saint-Louis serait lié à un effet de température extrêmement chaude. Ainsi, des températures trop chaudes pourraient avoir un impact sur le schéma de survie des moustiques adultes commençant à tuer de nombreux moustiques adultes dans les modèles d'impact et cela implique une diminution de la transmission de certaines maladies à transmission vectorielle telles que le paludisme et la dengue. Cependant, les Carte 5 montrent que la dengue devrait se maintenir dans le département même dans le long terme, en particulier à l'ouest de Ranérou.

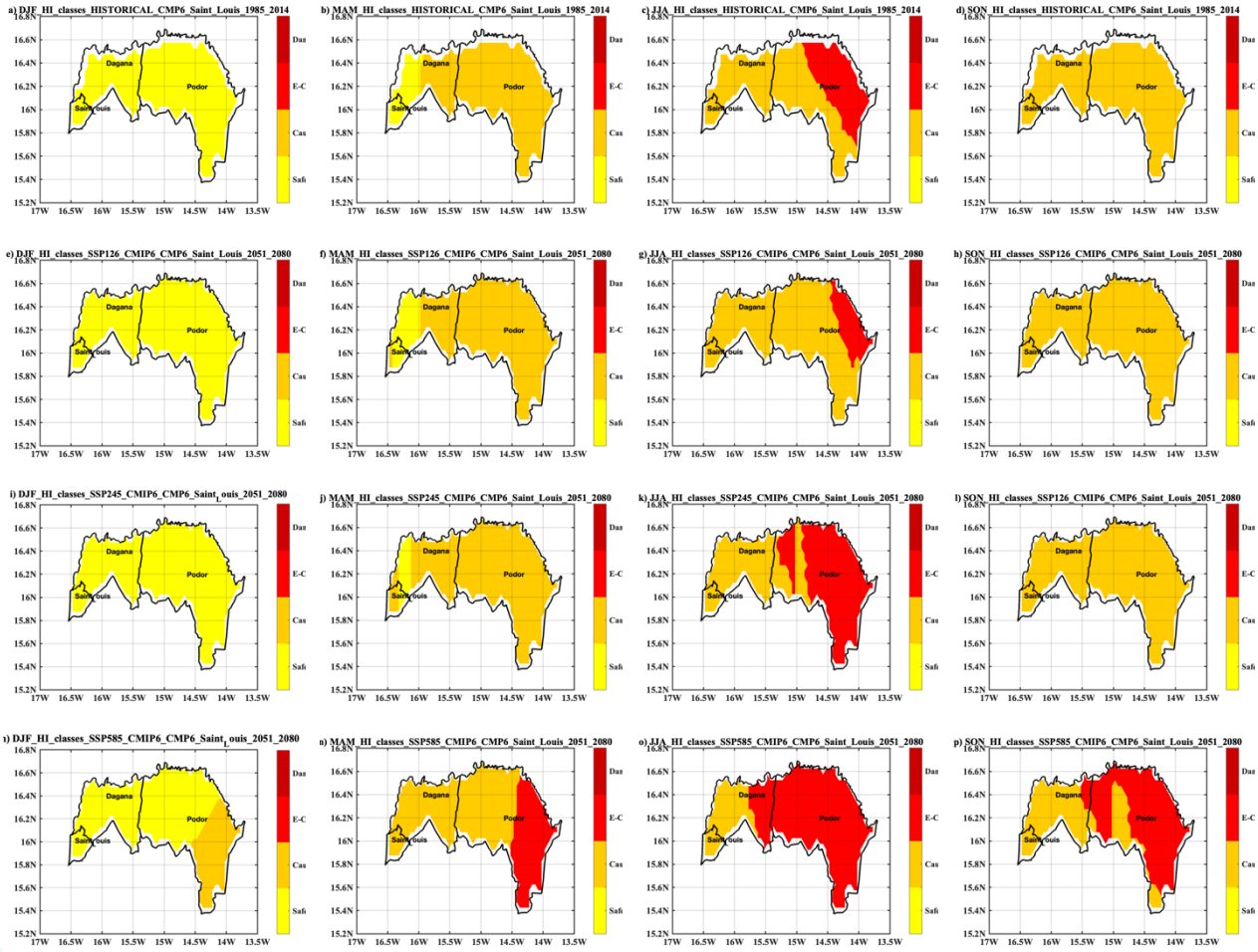




Carte 5 : Distribution spatiale de la rVc (capacité vectorielle relative) à Saint-Louis la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6.

4.2.2.4. Analyse statistique pour les maladies non transmissibles sensibles aux vagues de chaleur : variabilité spatio-temporelle de l'indice de confort à Saint Louis

Sur la Carte 6, des catégories d'indice de confort (CI pour Comfort Index en anglais) ou stress thermique sont représentées en utilisant des données de températures et d'humidité de de la moyenne d'ensemble des données CMIP6 pour calculer l'indice de chaleur avant d'en déduire ces catégories d'indice de confort. Les CI pour les quatre saisons, c'est-à-dire décembre-janvier (DJF), mars-mai (MAM), juin-août (JJA) et septembre-novembre (SON) sont représenté de la 1ère colonne à la 4ème colonne. Sur la 1ère colonne (cartes 6a, 6e, 6i et 6m) correspondante à la saison DJF, on note que pour la majeure partie de la région de Saint-Louis, des conditions sans danger sont observées sauf pour le scénario SSP585 où des conditions d'inconfort mais sans danger sont observées dans la partie ouest du département de Podor. Pour la région de Saint-Louis, on constate un déplacement (shift) de la période des vagues de chaleur de MAM à JJA. Sur la 2ème colonne (MAM), la catégorie d'extrême inconfort (voire danger pour le SSP585) y prévaut (cartes 6b, 6f, 6j et 6n). La zone de prudence s'étend sur la région pendant la saison MAM pour la période historique, alors que dans les projections, une bonne partie de l'Est de Podor se trouve sous des conditions d'extrême prudence voire danger pour le scénario SSP585 (carte 6m). Au cours de la saison JJA (cartes 6c, 6g, 6k et 6o), des conditions d'extrême inconfort (prudence) sont observées dans les départements de Saint-Louis et Dagana. Pour les scénarios sSSP245 et 585, les conditions d'inconfort avec danger s'étendent au niveau du département de Podor. Des conditions assez similaires à celles de la saison MAM sont observées sur la région pendant la saison DJF (carte 6d, 6h, 6l et 6p), mais avec un signal de conditions d'extrême prudence partout dans la région et pour le scénario SSP585 (carte 6p).



Carte 6 : Distribution spatiale de classes d'indice de confort saisonnier (IC) à Saint-Louis pour a-d) période historique (1985-2014), et e-p) pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6.



4.3. Secteur des inondations

4.3.1. Vulnérabilité actuelle

4.3.1.1. Impacts des inondations

4.3.1.1.1. Impacts et zones sensibles aux contraintes liées aux inondations

Les facteurs à l'origine des inondations à Saint-Louis sont globalement d'ordre climatique, géomorphologique ou naturel et anthropique : augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations au cours de ces dernières décennies, survenue périodiques des houles, phénomènes associés aux crues du fleuve, à l'occupation anarchique des zones non aedificandi sous l'effet de la croissance démographique, à l'absence ou insuffisance d'infrastructures de prévention et de gestion des inondations.

L'équipe de l'étude avait, dans son processus, organisé, dans les régions, des sessions de recueil des contributions des experts régionaux relatives aux secteurs de la santé, de l'agriculture, des infrastructures de transport terrestre et des inondations.

Dans les TdR des focus group régionaux du secteur des inondations, étaient pris en compte (1) la caractérisation des impacts et contraintes climatiques extrêmes, géomorphologiques et anthropiques, la (2) matrice de sensibilité (indice d'exposition et d'impacts) et enfin (3) les options d'adaptation par priorité.

Au cours du focus group organisé avec les experts de la région de Saint-Louis, les éléments ci-après ont fait l'objet d'un consensus et présentés comme résultats des travaux du groupe "Inondations".

4.3.1.1.2. Impacts des contraintes liées aux houles

Les houles jouent un rôle très influent dans les inondations dans la région de Saint-Louis à des périodes sensibles de l'année. Pratiquement, par intervalles de sept (7) ans, la région de Saint-Louis enregistre, des houles d'une intensité et d'une durée (15 à 30 jours) avec un impact et des dégâts visibles sur littoral saint-louisien en particulier dans les zones de la Langue de Barbarie et le Gandiol, facilitant ainsi, sous l'effet des impacts sur les infrastructures de protection, des ouvertures et débordements facilitant les inondations des localités.

Inondations qui, au plan biophysique, se manifestent par l'érosion côtière et le recul du trait de côte, la dégradation d'infrastructures (routes, digues), d 'établissements humains et la perturbation des écosystèmes marins et côtiers, du cycle et des lieux de reproduction d'espèces halieutiques, avicoles, animales, de la biodiversité.

Cette situation, avec son impact sur les infrastructures routières et de protection, se traduit par la baisse de la biodiversité, de la reproduction des espèces animales, halieutiques et avicoles, la baisse des mises à terre et des revenus.

4.3.1.1.3. Impacts des contraintes liées aux fortes précipitations

Les pluies exceptionnelles notées depuis ces dernières années en saison hivernale impactent particulièrement tout le Sor Gallèle, Bango, Daro, Khar Yallah et les communes de Diama, Ross Bethio et Rosso.

Les dommages biophysiques causés par les fortes précipitations sont la dégradation des infrastructures, les établissements humains, du cadre de vie ainsi que la perturbation des écosystèmes marins, du cycle et des lieux de reproduction d'espèces halieutiques et animales (Aires Protégées, etc.).

Les impacts consécutifs aux pluies extrêmes sont, autres les dommages cités ci-dessus, la dégradation d'établissements humains et du cadre de vie, de surfaces cultivées, de la production et du cheptel.

4.3.1.1.4. Impacts des contraintes relatifs aux crues de fleuve et cours d'eau

Les crues du fleuve, en focus group, sont observées tous les cinq ans dans l'île à Morphile, à Niandane et tous les points bas de Podor ainsi que les autres communes.

4.3.1.1.5. Impacts relatifs aux contraintes géomorphologiques, aux sols argileux (non climatiques)

La région de Saint-Louis se caractérise également par beaucoup de points bas qui sont symptomatiques des traces des inondations liées aux fortes précipitations.
Ces zones quasi non aedificandi sont caractérisées par un sol argileux qui, par sa nature, est très peu perméable à l'infiltration des eaux pluviales et de ruissellement. Ces zones deviennent des zones de convergence et de stagnation des eaux qui ruissellent des pentes descendantes, l'érosion hydrique, l'ensablement, la pollution de l'environnement et de la nappe phréatique.
Tout le Sor, Gallèle, Bango, Daro, Khar Yallah ainsi que les communes de Diama, Ross Bethio, Rosso, l'île à Morphile, Niandane et une bonne partie de Podor et des autres communes sont situés dans les points bas, donc dans des zones inondables.
Dans le département de Podor, les crues du fleuve ont des impacts considérables sur les activités agricoles exercées dans la zone.
Les inondations qui surviennent dans les départements de Podor, de Dagana, et particulièrement dans la ville de Saint-Louis ont des conséquences sur les populations et leur cadre de vie immédiat. La mobilité urbaine est affectée dans le cas d'un débordement des cuvettes à une certaine hauteur. La situation s'explique par l'existence de plusieurs ruelles et impasses qui jouent sur le ruissellement des eaux pluviales et favorisent leur stagnation rendant ainsi difficile la mobilité des populations. La construction des digues de protection qui devait dès lors protéger les populations de Darou Marmiyal, Darou, Ndioloffène, cité Niax, Médina Course et Guinaw Rail, installées sur l'ancien lit du Fleuve, n'empêche pas la stagnation des eaux pluviales. La digue de protection de Darou a perdu de la hauteur et subi les effets du ruissellement des eaux pluviales ce qui affecte directement les populations (Kanté, 2018).

Tableau 13 : Récapitulatif des pertes et dommages enregistrées

Localités/ quartiers	2020	2019	2018	2017	2016	2015
Podor						
Saint-Louis Darou Marmiyal, Darou digue, Cité Niakh, Guinaw Rail, Pikine Sor Daga, Sor Diagne, Diamanar, Khor, Etc.	Maisons et rues inondées, Dommages matériels, Contraintes de circulation, contrainte environnementales et économiques	Maisons et rues inondées, Dommages matériels, Contraintes de circulation, contrainte environnementales et économiques	Maisons et rues inondées, Dommages matériels, Contraintes de circulation, contrainte environnementales et économiques	Maisons et rues inondées, Dommages matériels, Contraintes de circulation, contrainte environnementales et économiques	Maisons et rues inondées, Dommages matériels, Contraintes de circulation, contrainte environnementales et économiques	Maisons et rues inondées, Dommages matériels, Contraintes de circulation, contrainte environnementales et économiques

(Source : données tirées de la fiche de collecte : revue des articles de presse et vidéos)

4.3.1.2. Mesures régionales de résilience face aux phénomènes des inondations

Pour lutter contre les inondations, les principaux ouvrages mis en œuvre sont : les canaux de drainage (bétonnés ou en terre) à l'échelle de la ville, de l'habitat ou de la ruelle pour évacuer les eaux.

L'aménagement des zones inondables autour de la ville de Saint-Louis s'est accompagné d'une réduction progressive de leur surface. Au fur et à mesure que les populations ont aménagé les zones dépressionnaires, les dommages causés par les crues ont augmenté. Il a donc fallu recourir à des mesures de protection comme les digues, les barrages et les ouvrages de dérivation et de pompage pour lutter contre les inondations. En matière de protection contre les inondations, il n'est

pas possible de se protéger contre tous les risques. Quelle que soit la technique utilisée et quelles que soient les dimensions des ouvrages, il y aura forcément un jour où ces ouvrages seront insuffisants (Dia, 2000).

- **Podor**

La ville dispose d'un réseau d'eaux pluviales de DN 315 mm et comprenant 112 regards allant de Mbodiène à Santhiaba en passant par Lao Demba. L'écoulement des eaux du réseau se fait dans le sens Nord-Sud et Est- Ouest jusqu'à la station de pompage de Lao Demba, qui les refoule dans le fleuve Sénégal. La station de pompage de Souima est un dispositif des infrastructures de drainage des eaux pluviales. Située entre 14°57'37.3'' de longitude ouest et 16° 38'57.2'' d'altitude Nord, la station de pompage de Podor est équipée de trois pompes immergées de type KRTE 200-250/12606-295. Une seule pompe est en marche et les caractéristiques de cette pompe sont les suivantes : HMT : 8 m Puissance : 12.5 kW Conduite de refoulement Diamètre de sortie : 315 mm drainant les eaux, juste derrière la digue de protection à travers un émissaire trapézoïdal de largeur 0.65 m qui draine ces eaux dans des champs cultivés à l'ouest de la ville. La station de pompage de Podor est équipée d'un groupe électrogène de 50 kVa qui est en panne[6] ».

- **Richard-Toll**

Pour la ville de Richard Toll, une série de mesures a été prise dans le cadre de la lutte contre les inondations. Il s'agit principalement du redimensionnement de la station principale des eaux pluviales afin de rééquilibrer le débit des pompes pour faire face aux fortes pluies. La construction d'un mur de clôture pour sécuriser la station et la délimitation de l'emprise ont été retenues pour la STAP Gallo Malick. Dans cette ville, en raison des potentiels agricoles et maraîchers, les intervenants ont insisté sur l'utilité de la mise en place d'une campagne de communication avec un focus sur les bienfaits des sous-produits de l'assainissement notamment des eaux épurées[7].

4.3.2. Vulnérabilité future

Les eaux du fleuve commencent à déborder à Saint-Louis dès que la côte d'alerte (1,40 m IGN) est atteinte. Mais des niveaux d'eau exceptionnellement élevés peuvent être atteints, de manière périodique, du fait des crues décennale et centennale. Les impacts de la montée combinée des eaux du fleuve Sénégal et de l'Océan Atlantique sont à analyser suivant des modèles climatiques globaux disponibles dans le quatrième rapport du GIEC (IPCC, 2007) mais très difficile à traduire au niveau local (région de Saint-Louis) compte tenu de la rareté des données à cet effet. Ces modèles représentent l'atmosphère, l'océan, la glace de mer et la surface continentale (hydrographie, végétation). L'une des limites de ce genre de modèles est leur résolution spatiale. En effet, l'échelle typique des variables en sortie est la centaine de kilomètres, voire plus (2,5°x3,75° pour le modèle HadCM3 du Hadley Centre) : cela implique que de vastes régions sont considérées comme uniformes par rapport à des variables comme la pluie, alors que la variabilité à l'échelle régionale et locale est forte.

4.3.2.1. Facteurs et projection de la vulnérabilité future

Les principaux facteurs liés aux inondations, associés aux submersions, érosions hydriques et crues de fleuve dans la région de Saint-Louis sont les fortes précipitations, les houles et l'élévation du niveau de la mer.

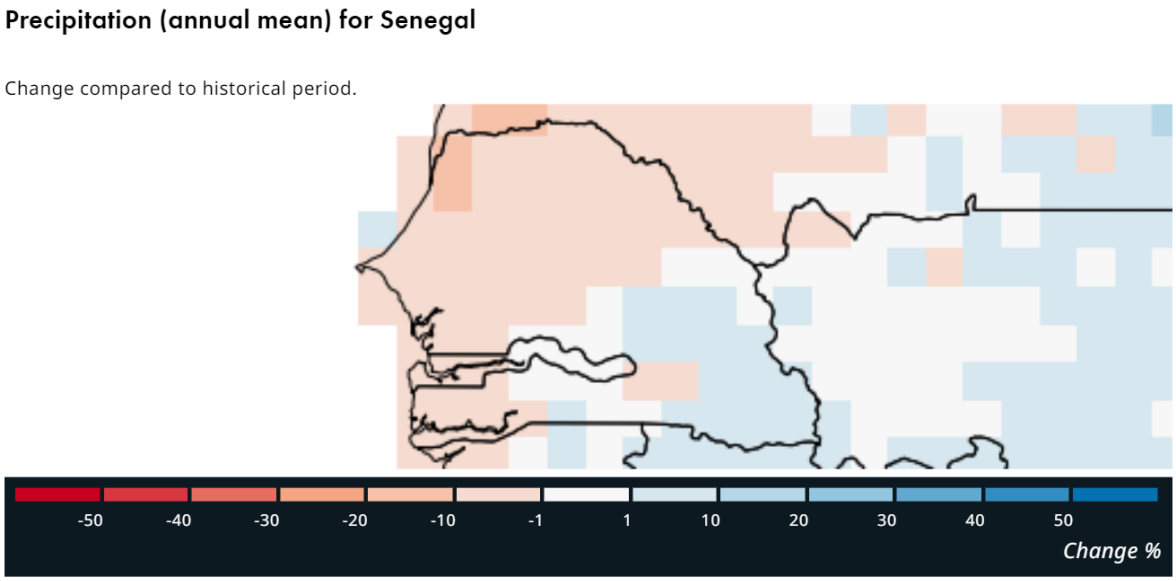
4.3.2.1.1. Précipitations annuelles

Calculé comme les valeurs annuelles moyennes des précipitations quotidiennes moyennées sur une période de 30 ans. Cet indice est donné en évolution relative (100*(période future - période de référence)/période de référence).

[6] ONAS, 2017. Etude du plan directeur d'assainissement des villes de Podor et de Dagana. Avril 2017. 121 pages.
[7] Office Nationale de l'Assainissement du Sénégal. Rapport tournée d'imprégnation et de constat de la situation des ouvrages et des projets d'assainissement. Février-Mai 2021. 32 pages

- ***Description de l'indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040***

Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5), le changement médian est de -14% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -19% et 9%.



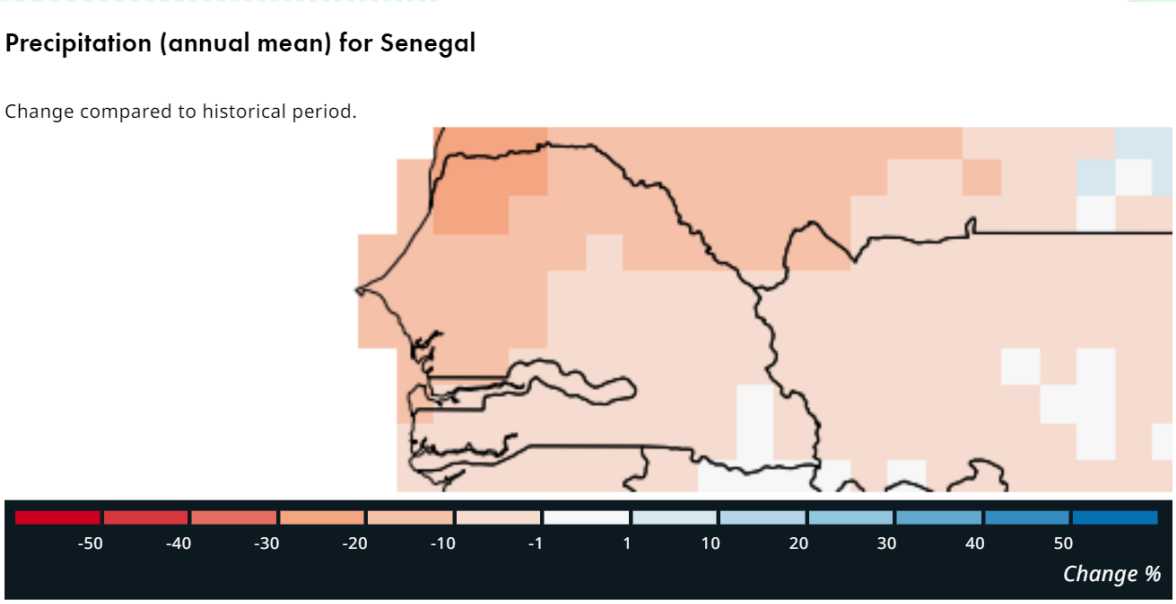
Indicator: Precipitation (annual mean), Time period: 2011–2040, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa Ensemble Mean, Model results for Senegal.

Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Carte 7: Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040

- ***Description de l'indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070***

Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5), le changement médian est de -25% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -28 % et -1,6%.



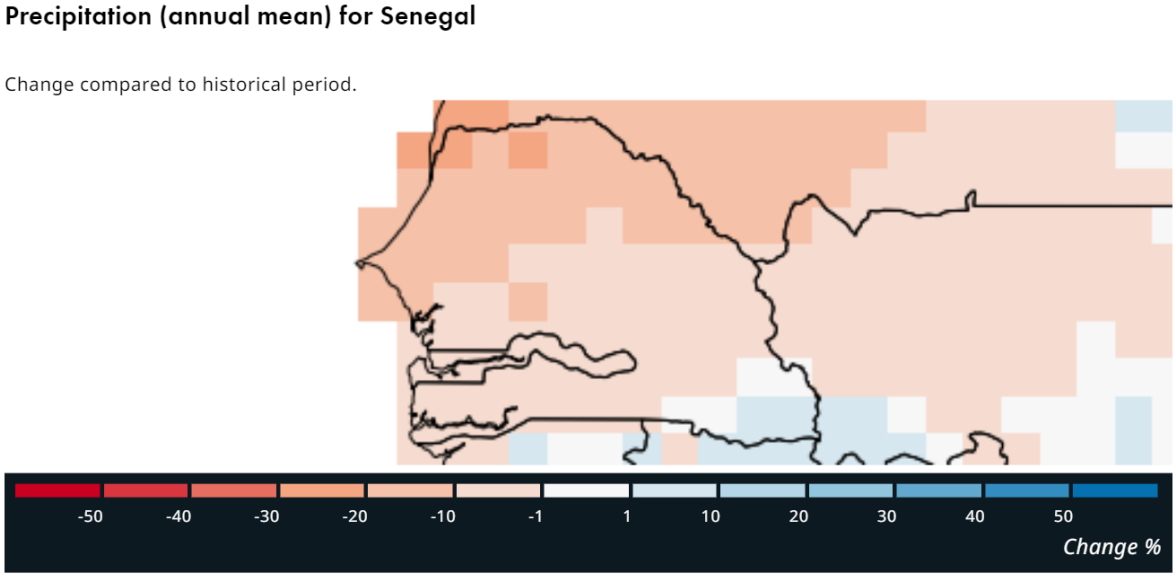
Indicator: Precipitation (annual mean), Time period: 2041–2070, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa Ensemble Mean, Model results for Senegal.

Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Carte 8 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070

- ***Description de l'indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100***

Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5), le changement médian est de -22% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -30% et -8,1%.



Indicator: Precipitation (annual mean), Time period: 2071–2100, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa Ensemble Mean, Model results for Senegal.

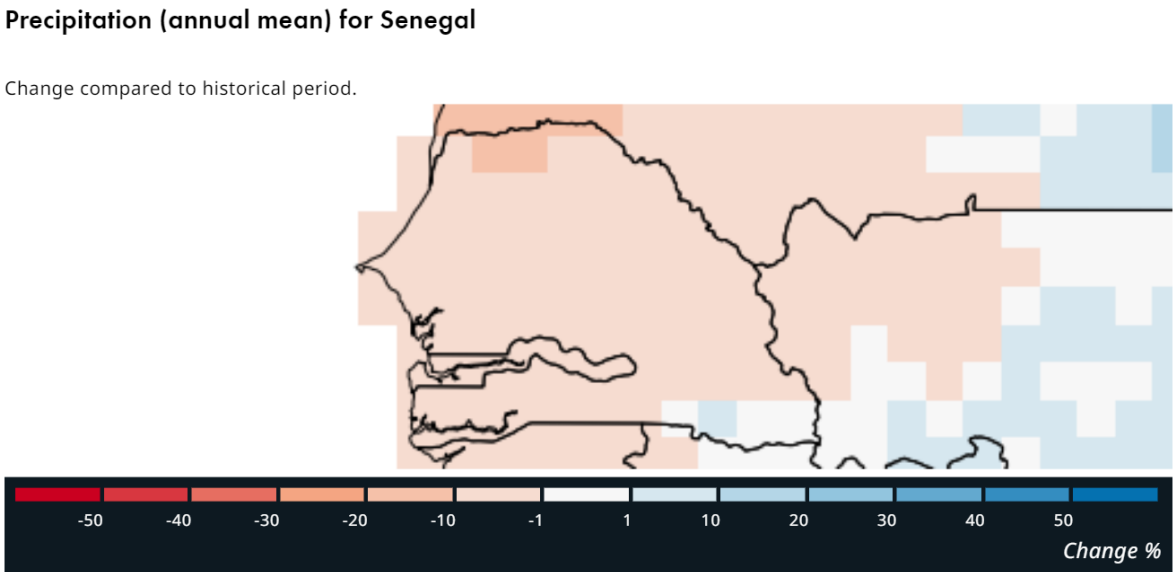
Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Carte 9 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100



- ***Description de l'indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040***

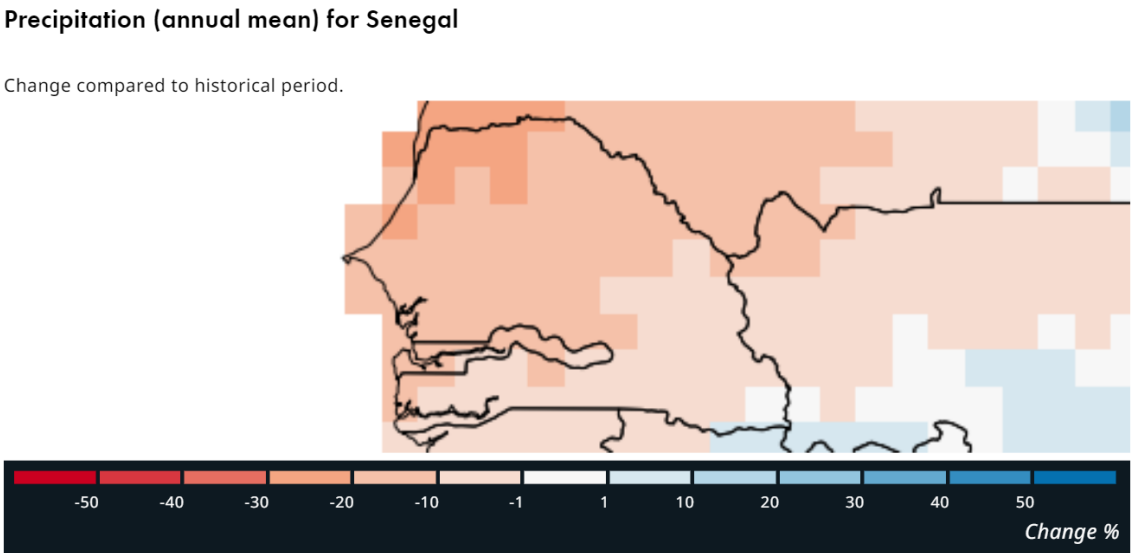
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), la variation médiane est de -6,6% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que l'évolution se situe entre -15% et -2,1%.



Carte 10 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040

- ***Description de l'indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070***

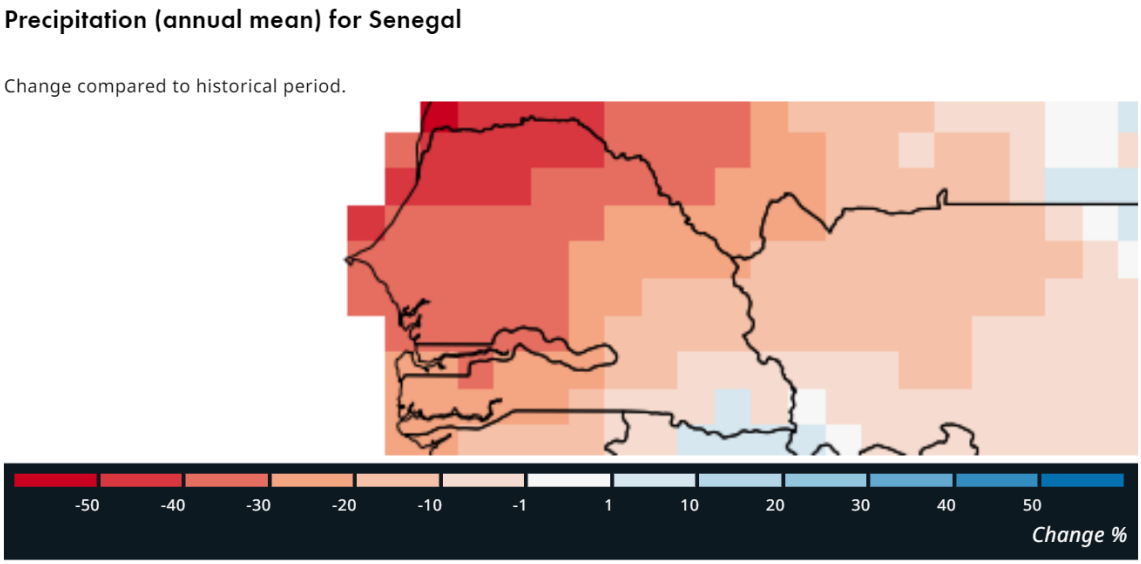
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), le changement médian est de -26% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -32% et -7,5%.



Carte 11 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070

- ***Description de l'indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100***

Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), le changement médian est de -43% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -55% et -21%.



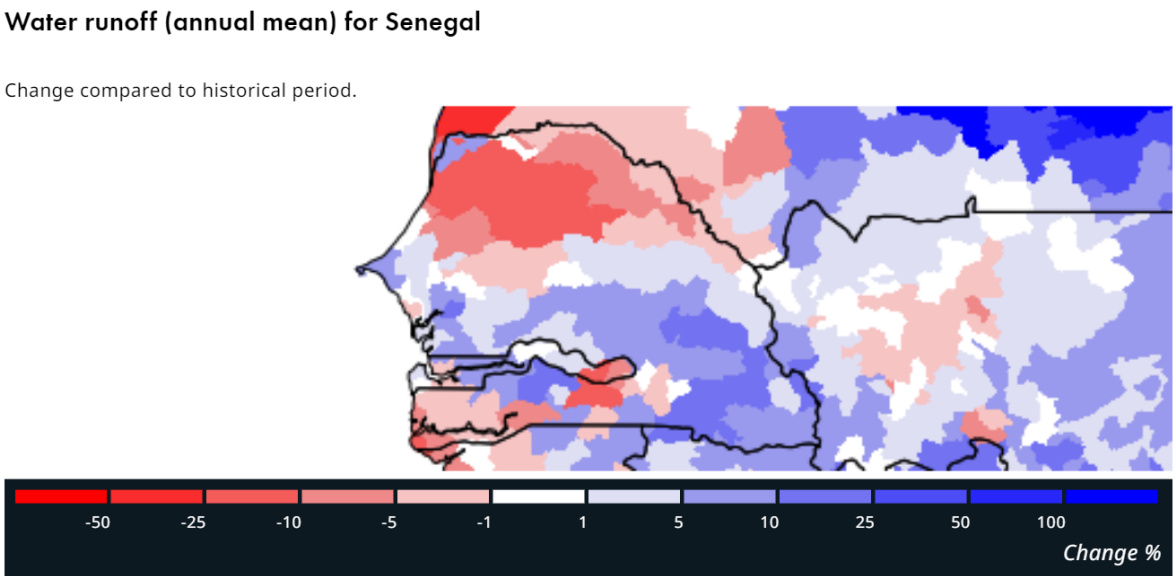
Carte 12 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100

4.3.2.1.2. Ruissellements annuels

Calculé comme les valeurs moyennes du ruissellement quotidien de l'eau sur une période de 30 ans. Cet indice est donné en évolution relative (100*(période future - période de référence) /période de référence).

- ***Description de l'indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040***

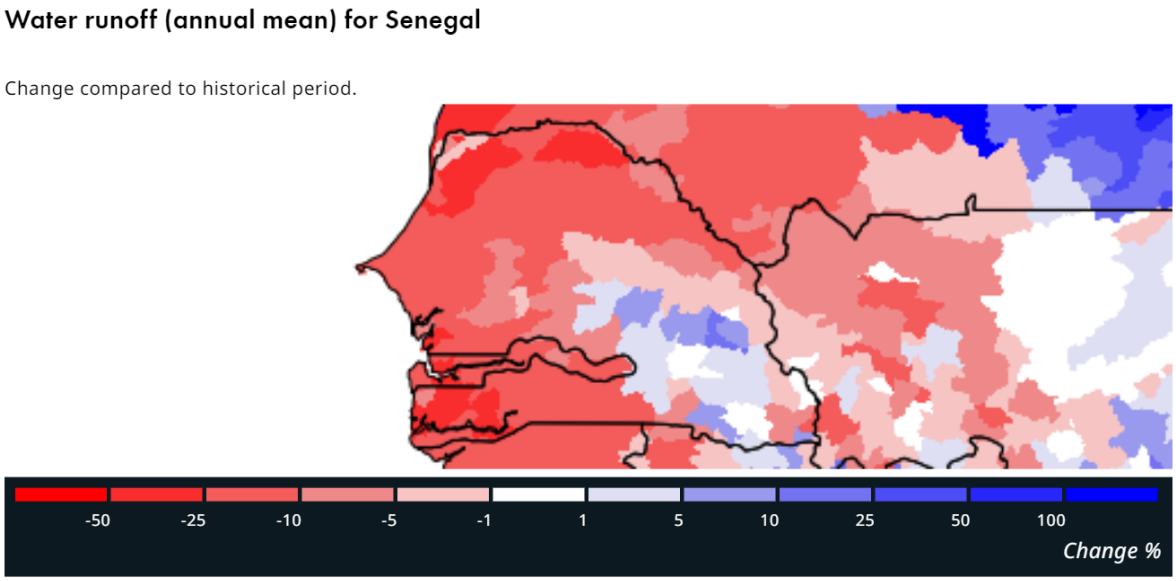
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) le changement médian est de -15% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que le changement se situe entre -20% et 12%.



Carte 13 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040

- ***Description de l'indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070***

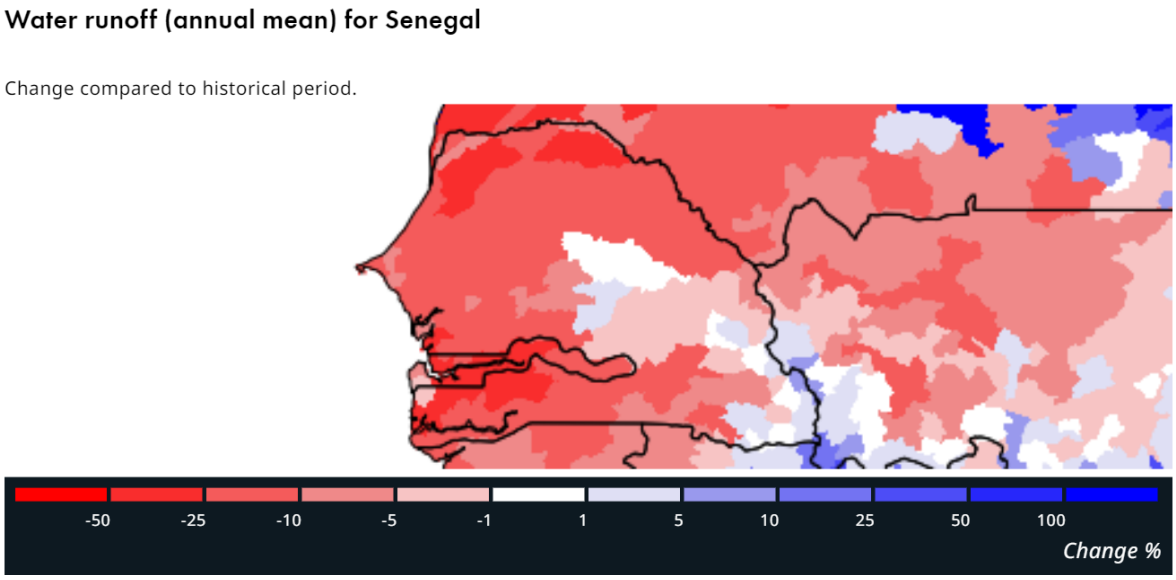
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5), le changement médian est de -22% (moyenne d'ensemble) soit50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -33% et -1,8%.



Carte 14 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070

- ***Description de l'indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100***

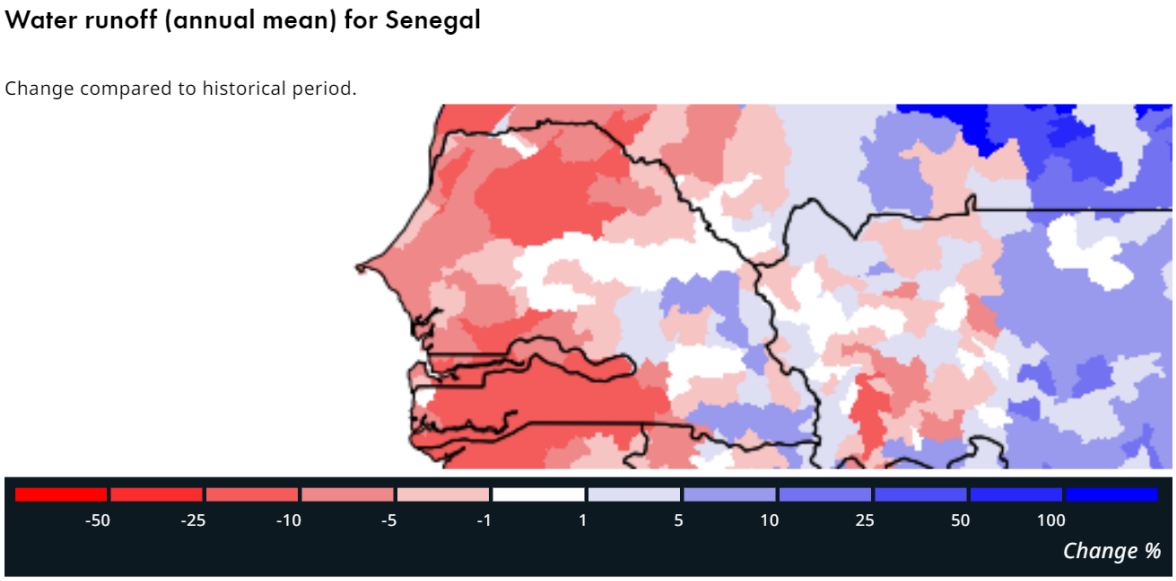
Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5), le changement médian est de -21% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -30% et -4,3%.



Carte 15 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100

- ***Description de l'indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040***

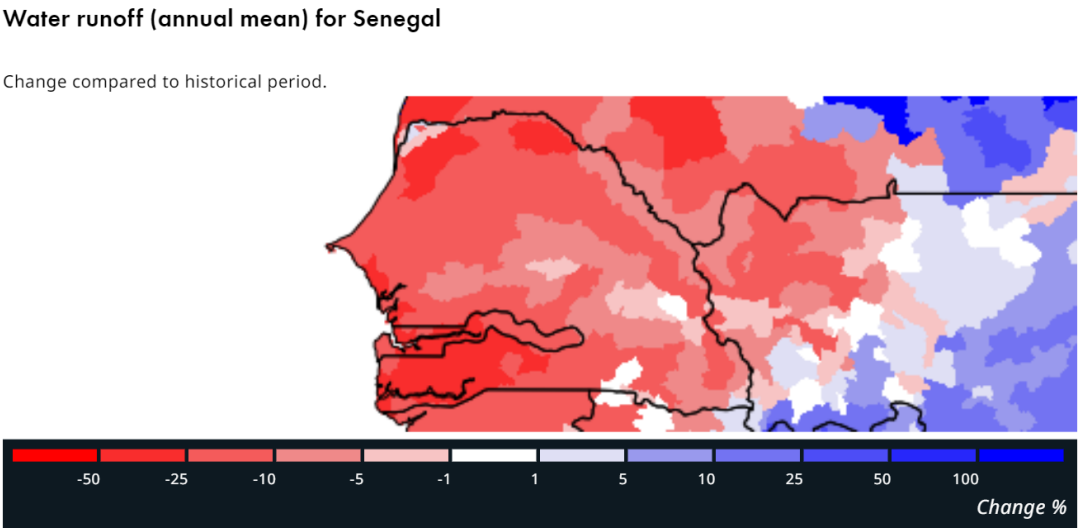
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), la variation médiane est de -6,4% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -14% et 3%



Carte 16 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040

- ***Description de l'indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070***

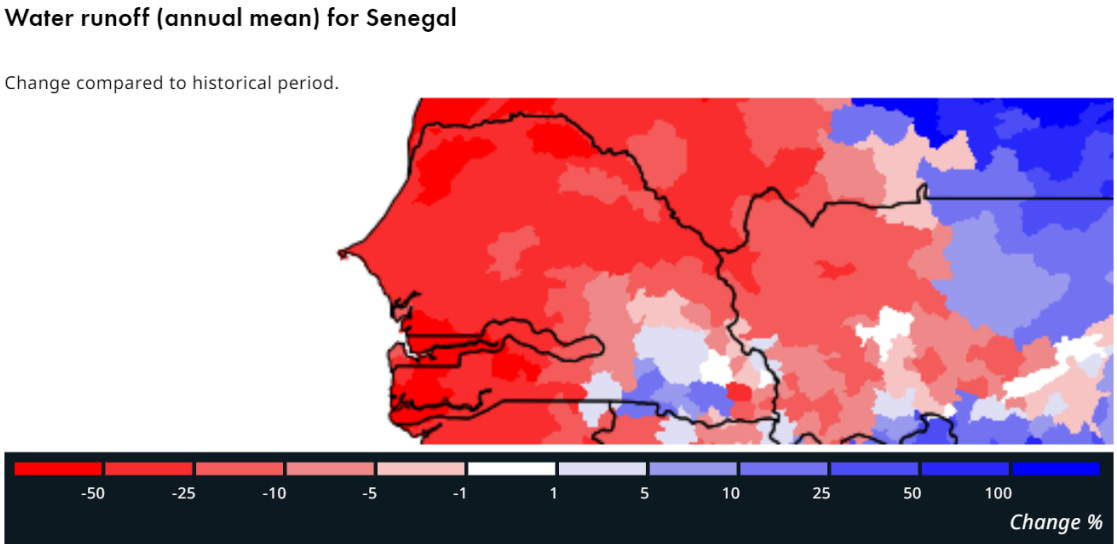
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), le changement médian est de -24% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -30% et -5,1%.



Carte 17 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070

- ***Description de l'indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100***

Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5) le changement médian est de -37% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que l'évolution se situe entre -52% et -19%.



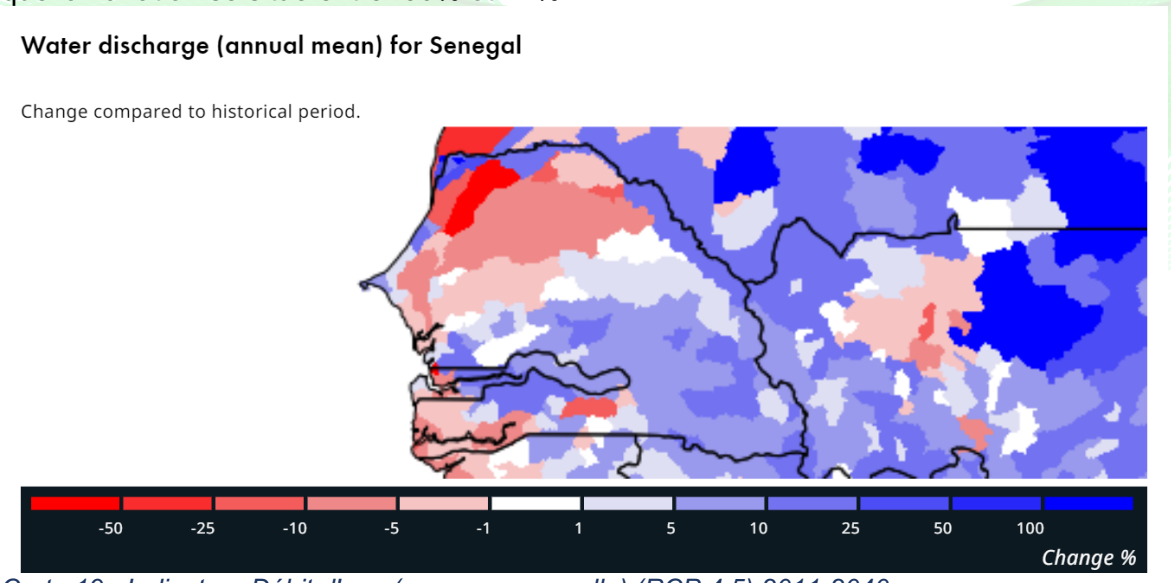
Carte 18 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100

4.3.2.1.3. Débits annuels

L'indice débit d'eau est calculé comme les valeurs moyennes du débit d'eau quotidien pendant une période de 30 ans. Cet indice est donné en évolution relative (100*(période future - période de référence)/période de référence). Comme pour les autres indices, la valeur d'ensemble médiane est donnée, calculée sur les modèles répertoriés dans l'attribut de modèle.

- ***Description de l'indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040***

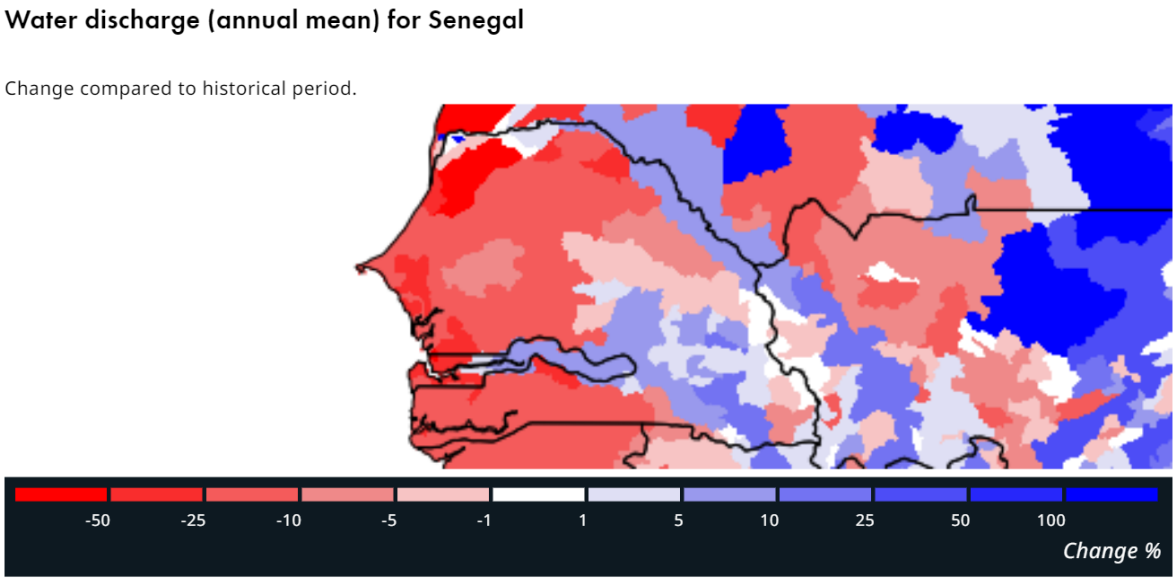
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) le changement médian est de -24% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (écart interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -30% et 17%.



Carte 19 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040

- ***Description de l'indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070***

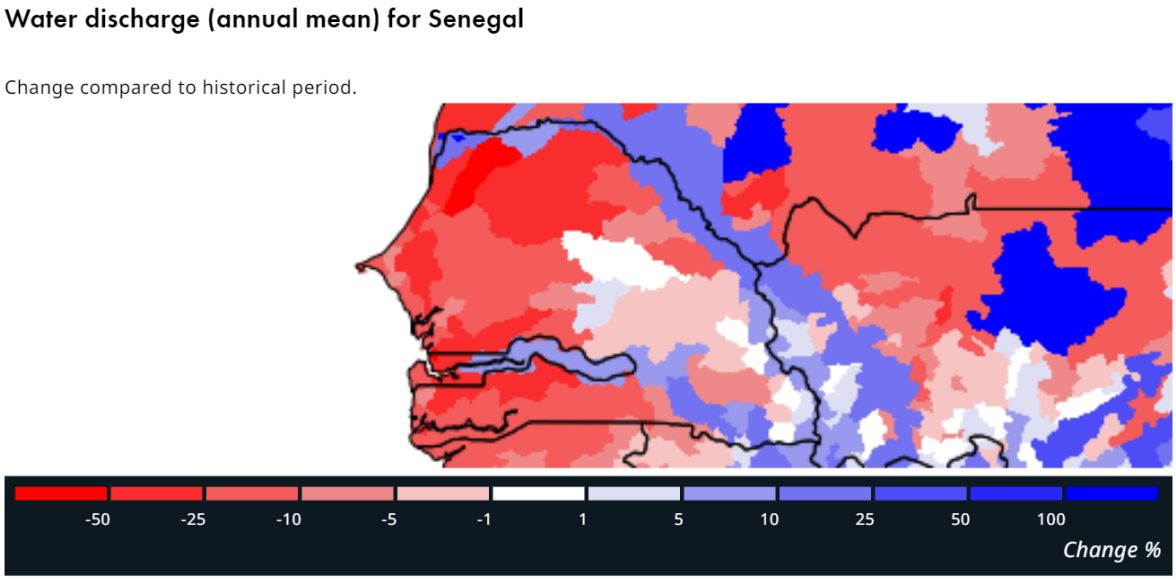
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5), le changement médian est de -34% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que l'évolution se situe entre -48% et -2,1%.



Carte 20 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070

- ***Description de l'indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100***

Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) le changement médian est de -33% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que l'évolution se situe entre -44% et -8,8%.



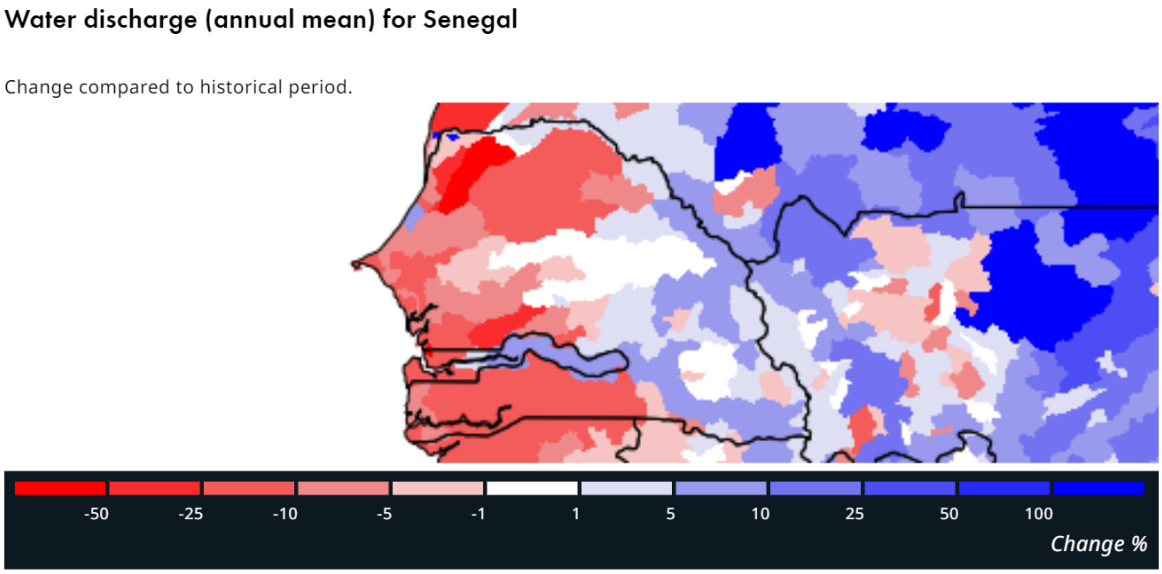
Indicator: Water discharge (annual mean), Time period: 2071–2100, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for Senegal.

Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Carte 21 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100

- ***Description de l'indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040***

Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), la variation médiane est de -8,7% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que l'évolution se situe entre -21% et -1,3%



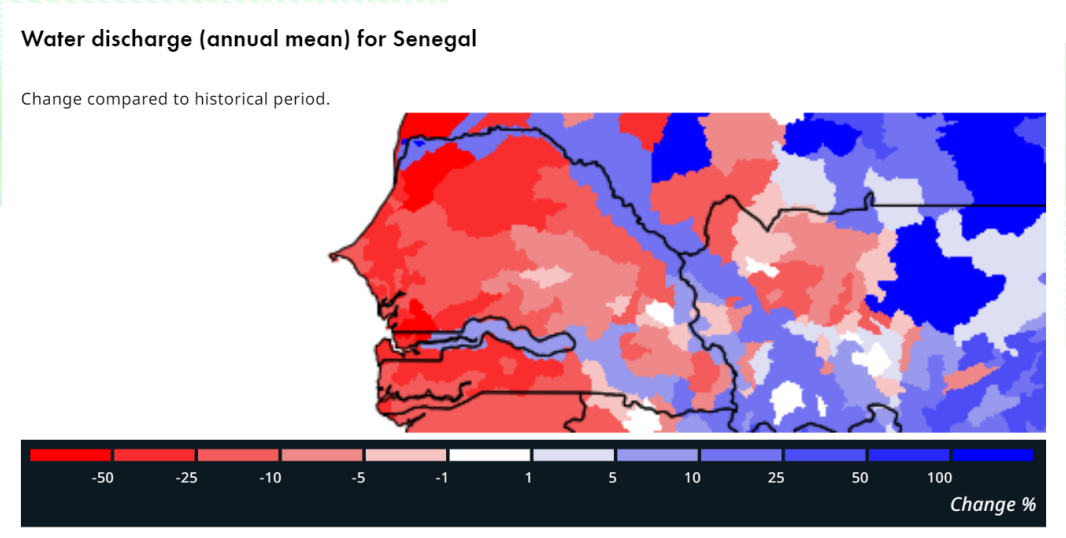
Indicator: Water discharge (annual mean), Time period: 2011–2040, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for Senegal.

Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Carte 22 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040

- ***Description de l'indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070***

Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), le changement médian est de -34% (moyenne d'ensemble) soit50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que l'évolution se situe entre -41% et -7,7%



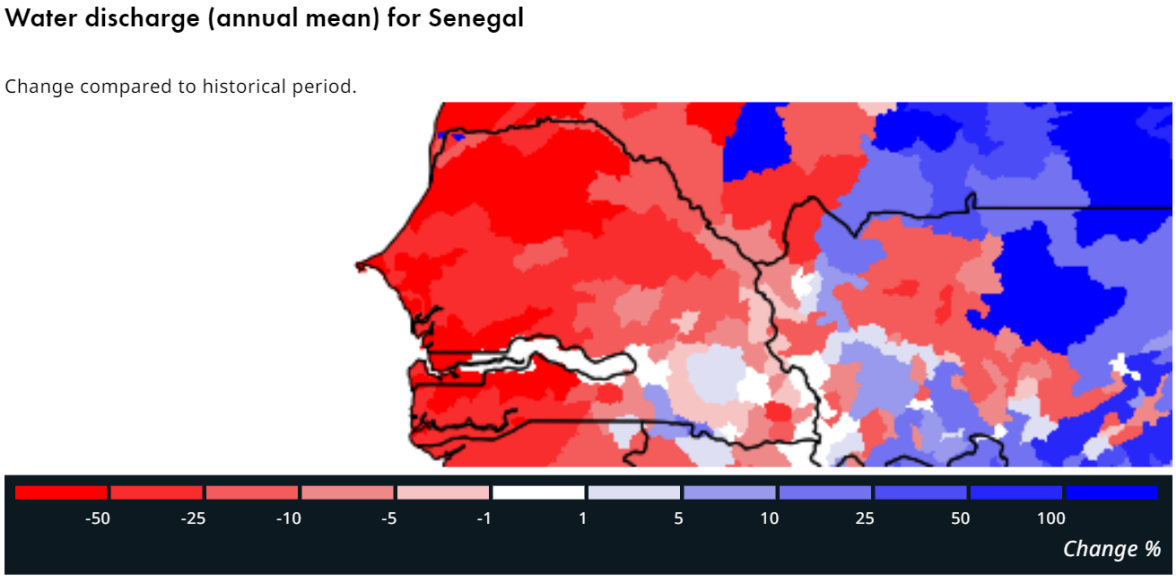
Indicator: Water discharge (annual mean), Time period: 2041–2070, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for Senegal.

Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Carte 23 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070

- ***Description de l'indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100***

Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5), le changement médian est de -51% (moyenne d'ensemble) soit 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -70% et -25%.

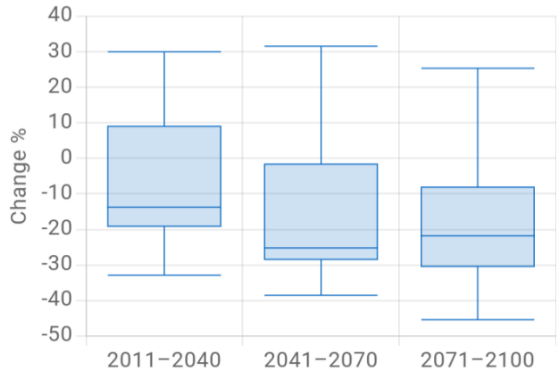
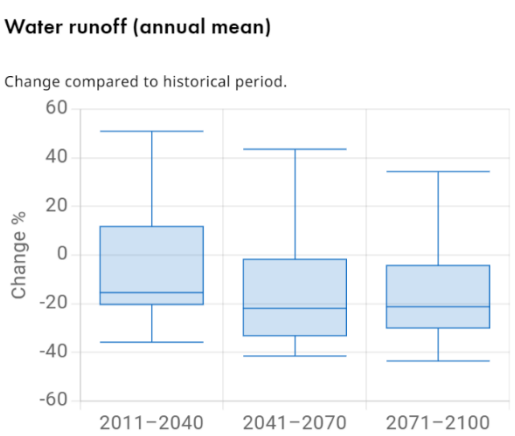
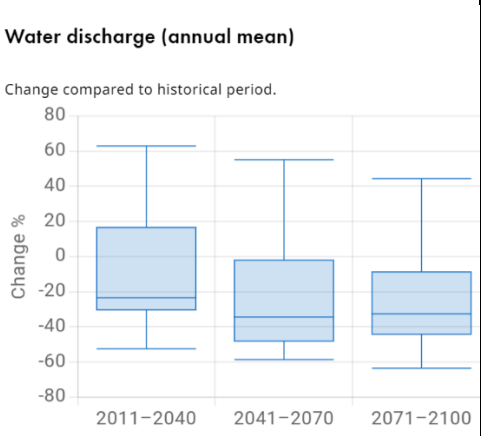


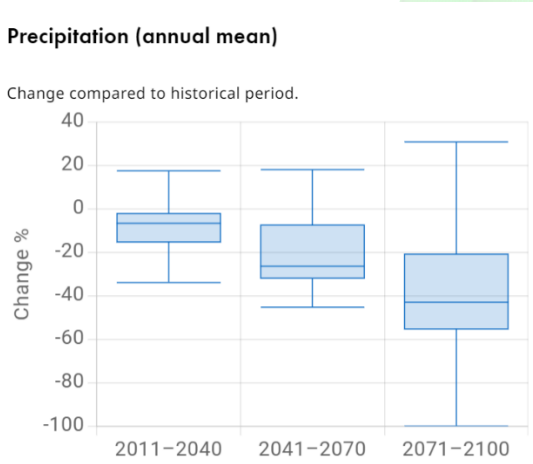
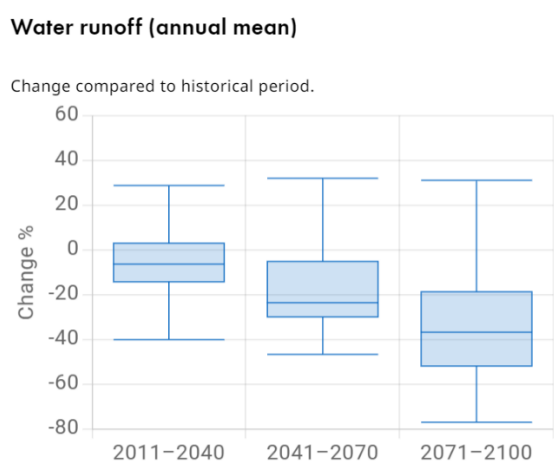
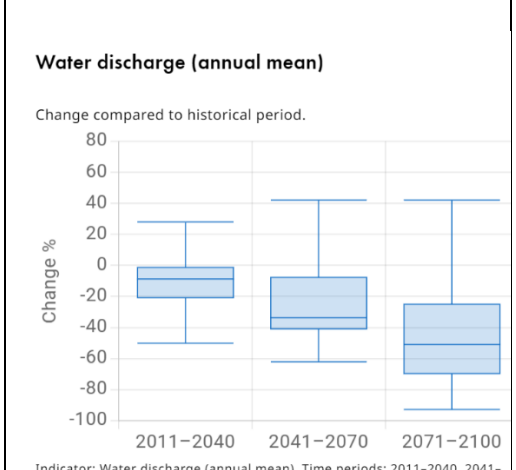
Carte 24 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100



4.3.2.2. *Synthèse de la vulnérabilité future*

Tableau 14 : Synthèse de la vulnérabilité future Inondations

Scénarios	Indices		
	Précipitation	Ruissellement	Débit (Décharge d'eau)
RCP 4.5	 Indicator: Precipitation (annual mean), Time periods: 2011–2040, 2041–2070 & 2071–2100, Historical period: 1981–2010, RCP 4.5, Model: CORDEX Africa Ensemble Mean, Model results for an area covering the location: 16.02, -16.49 Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)	 Indicator: Water runoff (annual mean), Time periods: 2011–2040, 2041–2070 & 2071–2100, Historical period: 1981–2010, RCP 4.5, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for an area covering the location: 16.02, -16.49 Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)	 Indicator: Water discharge (annual mean), Time periods: 2011–2040, 2041–2070 & 2071–2100, Historical period: 1981–2010, RCP 4.5, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for an area covering the location: 16.02, -16.49 Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Scénarios	Indices		
	Précipitation	Ruissellement	Débit (Décharge d'eau)
RCP 8.5			

Scénarios	Périodes								
	2011-2040			2041-2070			2071-2100		
	P mm	R mm	D (mm)	P mm	R mm	D (mm)	P mm	R mm	D (mm)
RCP 4.5	-14%	-15%	-24%	-25%	-22%	-34%	-22%	-21%	-33%
RCP 8.5	-7%	-6%	-9%	-26%	-24%	-34%	-43%	-37%	-51%

*P = Précipitation
*R = Ruissellement
*D = Débit

4.3.2.3. Caractéristiques des vulnérabilités futures

Épisodes de fortes précipitations avec une fréquence de plus en plus accrue (très probable).
Dans les zones de grande concentration, les quartiers au bord du littoral de Saint-Louis, cette sensibilité aux fortes précipitations associées à la croissance démographique non maîtrisée, à l'installation anarchique d'habitats dans des zones dépourvues de systèmes de drainage ou de canalisation ou de réseaux d'égouts obstrués, de zones non aedificandi. Cette situation favorise, sans mesures de mitigation du phénomène, la saturation et le stockage des eaux de pluie et usées par les voiries souvent mal dimensionnées.

Tableau 15 : Caractéristiques des vulnérabilités futures, Inondations

Phénomènes prévus liés au changement climatique (probabilité)	Facteurs de risques urbains et vulnérabilité	Conséquences probables pour les villes en l'absence de mesure	Secteurs concernés
Episodes de fortes précipitations-fréquence accrue (très probable)	Croissance urbaine rapide, entraînant l'installation d'habitats sur des terrains sans systèmes de drainage, ou avec des réseaux d'égout encombrés de débris de limon. Existence de nombreux points bas liés à l'aménagement inadéquat des voiries stockant les eaux de pluies, voire les eaux usées	Aggravation des inondations et des glissements de terrain avec l'influence du relief	Aménagement du territoire, déchets solides, santé publique, gestion des situations d'urgence
		Contamination des eaux et propagation de maladies dues à des eaux stagnantes	
	Infrastructure de transport inexistante ou de qualité insuffisante.	Blocage des voies d'accès d'urgence en cas d'inondation des routes entrainant des retards dans les évacuations d'urgence Activité commercial entravée	Transport, gestion des situations d'urgence, secteur privé
	Incapacité des infrastructures de collecte des eaux pluviales d'orage de gérer le ruissellement actuel ou futur, aggravée par l'imperméabilisation et la dégradation des fonctions de filtrage naturel des eaux pluviales	Accroissement du ruissellement en l'absence de terres végétalisées Accroissement des inondations	Assainissement, déchets solides Gestion des ressources naturelles
	Densité de population et concentration des activités commerciales déjà élevées (par exemple : ports et industrie), implantées dans des villes côtières ou dans des deltas fluviaux	Perte de bien fonciers et pertes humaines	Logement, gestion des situations d'urgence
	Localisation des aquifères, usines de traitement des eaux usées et autres infrastructures dans des zones côtières ou de cours d'eau.	Infiltration d'eau dans les infrastructures (par exemple, réseau d'alimentation en eau potable et traitement des eaux usées)	Alimentation en eau Traitement des eaux usées
Élévation du niveau de la mer (pratiquement certain)	Submersion des terrains situés à faible distance du rivage	Aggravation des inondations et des glissements de terrain	Aménagement du territoire, gestion des situations d'urgence, gestion du transport
Crue	Inondation des terrains situés à faible distance du fleuve	Aggravation des inondations et des glissements de terrain	Aménagement du territoire, gestion des situations d'urgence, gestion du transport

4.3.2.4. Zones potentielles et secteurs d'aggravation des vulnérabilités

La commune de Saint-Louis, à cause de son caractère amphibie, s'avère ainsi vulnérable à la montée des eaux du fleuve Sénégal et de l'Océan Atlantique : elle est limitée à l'ouest par l'Océan Atlantique et est traversée par deux bras du fleuve Sénégal qui se rejoignent plus au Nord, dégageant ainsi une partie insulaire. L'île, composée de trois quartiers (Haut Nord, Centre Nord et Sud) est reliée à la zone de Sor (Darou, Balacoss, Léona, Pikine I, Pikine II, Pikine III, Eaux Claires, Diamaguène, Ndiolofène Nord, Ndiolofène Sud, Sor Nord, Khor, Médina Course) par le pont Faidherbe. Elle est séparée des quartiers situés sur la Langue de Barbarie (Goxu Mbacc, Haut Ndar Toute, Bas Ndar Toute, Bas Guet Ndar et Haut Guet Ndar) par le petit bras du fleuve Sénégal. Dakar-Bango et Ngallèle constituent des quartiers périphériques situés à une dizaine de kilomètres du centre-ville.

4.4. Secteur des infrastructures

4.4.1. Vulnérabilité actuelle

L'analyse de la sensibilité des infrastructures routières prend en compte 4 indicateurs. Il s'agit de la présence ou non d'un fleuve au niveau de la région d'implantation de l'infrastructure routière, la présence d'une zone estuarienne ou de bolongs, les expériences de submersion ou de ruptures de la route ou des ouvrages d'art comme les ponts recensés à travers les échanges avec les services techniques comme l'Ageroute, et l'état de la route. L'indicateur expériences de ruptures de routes ou d'ouvrages d'art et l'indicateur de présence de zones inondées (remplacé ici par la présence de zones estuariennes comme les bolongs) ont été considérés comme des indicateurs pertinents dans l'analyse de vulnérabilité de l'étude du Gulf Coast Study Phase 2 (Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2 (Task 3.1: Screening for Vulnerability)[8].

Pour l'analyse de la sensibilité des infrastructures routières par rapport aux températures élevées, l'étude du Gulf Coast Study Phase 2 (Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2, Task 3.1: Screening for Vulnerability) propose 3 indicateurs : le niveau de performance du bitume (pavement binder)[9], l'expérience passée en terme de dégradation relevant des températures (past experience) et le trafic journalier des poids lourds (truck traffic). Dans cette étude, étant donné que les effets des poids lourds sur les chaussées sont indexés durant nos enquêtes comme faisant partie des facteurs les plus importants de dégradation des routes (apparition d'ornières ou déformation des chaussées) avec l'effet des températures élevées, nous allons considérer ici comme indicateur le trafic journalier des véhicules de transport de marchandises ou poids lourds.

4.4.1.1. Évaluation participative de la vulnérabilité

Les consultations ont fait ressortir deux aspects permettant de caractériser clairement la vulnérabilité des infrastructures routières à la variabilité actuelle et aux changements climatiques (Tableau 16).

- Du point de vue des infrastructures, ce sont les routes non revêtues qui sont les plus exposées aux effets de la variabilité climatique actuelle avec un indice d'exposition de 14 points ;

[8] Cette étude a été déroulée aux Etats Unis. Elle constitue actuellement une référence dans le cadre de l'analyse de la vulnérabilité des infrastructures de transport aux changements climatiques.

[9] D'après le *Catalogue de structures de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal* (2015, p. 62) « Les bitumes employés au Sénégal proviennent de raffineries étrangères (Italie, Pologne, Belgique, Brésil, Thaïlande, etc.). Les bitumes sont importés dans des navires spécialisés par les sociétés implantées dans le port de Dakar. Ils sont ensuite transportés en citerne ou en bitu-container. Les produits disponibles sont les bitumes purs (grade 35/50 ou 40/50 et 50/70 ou 60/70 le plus souvent - selon le référentiel EN ou ASTM), les bitumes modifiés, les émulsions de bitume et les cutback 0/1 et 400/600 (selon le référentiel EN ou ASTM). Les autres grades de bitumes peuvent également être importés à partir d'un certain volume (500t par exemple). Le recours au bitume de grade plus dur (grade 10/20 ou 20/30) permet d'augmenter le module des enrobés en usage dans la formulation des BBME et EME. Il conviendra toutefois de rester vigilant sur l'emploi de grades durs obtenus par soufflage ou semi-soufflage, trop oxydés, en couche de roulement, car l'oxydation et le vieillissement en place par les rayons ultra-violets engendrent un risque de fissuration thermique par le haut liée à une rigidité trop grande du liant. Avant la généralisation de cette technique, des chantiers expérimentaux seraient à réaliser et à accompagner d'un suivi annuel. »

- Du point de vue des risques climatiques, ce sont les inondations qui ont l'impact le plus important sur les infrastructures routières avec un score cumulé de 10.

Tableau 16 : Matrice d'exposition des types d'infrastructures aux risques climatiques notés de 1 à 5

Types d'infrastructure	Inondations	Vents forts (Tempête)	Fortes températures	Salinisation	Nappe affleurante	Indice d'exposition
Routes revêtues	2	2	4	2	2	12
Routes non revêtues	5	4	1	2	2	14
OAA	3	2	1	3	1	12
Score	10	8	6	7	5	

4.4.1.2. Impacts des aléas climatiques sur les infrastructures routières

Après avoir identifié les principaux risques climatiques et établi le tableau d'exposition de ces risques climatiques, les échanges ont permis de recueillir çà et là leurs différents impacts sur les infrastructures routières. Le Tableau 17 affiche les impacts notés au niveau des routes revêtues, le Tableau 18 pour les routes non revêtues et le Tableau 19 pour les ouvrages d'art et d'assainissement.

Tableau 17 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes revêtues

Risques	Impacts recensés
Inondations	Affaissement des routes, coupure de routes, ravinement des talus, réduction de la résistance des couches inférieures, réduction de la mobilité
Vents forts (Tempête)	Ensablement, chute de branches d'arbres, réduction de la visibilité, chute des panneaux de signalisation
Fortes températures	Réduction de la durée de vie de l'infrastructure, ornières (déformation de la route), fissurations thermiques
Salinisation	Altération de la résistance des matériaux)
Nappe affleurante	Réduction de la durée de vie de l'ouvrage

Tableau 18 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes non revêtues

Risques	Impacts recensés
Inondations	Coupure de routes, ravinement, traverse (passage de l'eau au-dessus, départ de matériaux (matériaux)
Vents forts (Tempête)	Désensablement, départ de particules fines des matériaux, insécurité routière
Fortes températures	
Salinisation	Altération de la résistance des matériaux
Nappe affleurante	Réduction de la durée de vie de l'ouvrage

Tableau 19 : Principaux impacts des risques climatiques sur les ouvrages d'art et d'assainissement (OAA)

Risques	Impacts recensés
Inondations	Rupture, affaissement, afflouement, ravinement, réduction des sections due aux arbres
Vents forts (Tempête)	Ensablement, obstruction des ouvrages
Fortes températures	Dilatation excessive
Salinisation	Altération des matériaux causant la réduction de la durée de vie de l'infrastructure
Nappe affleurante	Réduction de la durée de vie de l'ouvrage

4.4.1.3. Facteurs aggravant les impacts des risques climatiques

À part le climat, d'autres facteurs non climatiques favorisent la dégradation des routes. D'après les enquêtes, il s'agit de :

- sous dimensionnement ;
- absence de protection des ouvrages ;
- connaissance sommaire de la zone de projet et non prise en compte des facteurs à risque problèmes liés à la disponibilité du matériau ;
- non-respect des cahiers de charges ;

- incapacité à interpréter l'information climatique.
- drainage des eaux.

4.4.2. Vulnérabilité future

4.4.2.1. Analyse de la vulnérabilité future aux pluies extrêmes

Les valeurs de pluie extrêmes connaîtront des augmentations aussi bien pour le moyen horizon que l'horizon lointain :

- entre 2031 et 2060, Saint-Louis connaîtra une augmentation inférieure à 80 mm ;
- entre 2071 et 2100, Saint-Louis aura une augmentation qui varie entre 80 et 86 mm (Tableau 20).

Tableau 20 : Écarts des pluies extrêmes entre les périodes 1981-2010 et 2031-2060, 2071-210010

Station	1981-2010	2031-2060	2071-2100	Ecart 1	Ecart 2
Saint-Louis	23,1	86	110	+62,9	+86,9
Matam	31,6	151	158	+119,4	+126,4
Kédougou	60,7	153	159	+92,3	+98,3
Ziguinchor		105	121	+105	+121

4.4.2.2. Analyse de la vulnérabilité future aux températures élevées

Les projections prévoient une diminution des jours où les températures maximales sont supérieures ou égales à 35°C aussi bien au niveau de l'horizon moyen que de l'horizon lointain. Les diminutions seront plus notées pendant la deuxième période. Entre les deux horizons nous notons pour Saint-Louis -28 et -16 jours (Tableau 21).

Tableau 21 : Écarts des nombres de jours à températures maximales ≥ à 35°C

Station	Normale	Écarts RCP 4.5		Écarts RCP 8.5	
	81-2010	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Saint-Louis	233	-28	-16	43	77
Kaffrine				30	60
Kédougou				86	155
Ziguinchor	233	-28	-16	45	79

Par rapport au scénario 4.5, La région de Saint Louis, connaîtra une faible exposition aux températures élevées dans le moyen terme.

[10] Les résultats des périodes 2031-2060 et 2071-2100 sont issus des données de projections du RCP 4.5.

4.5. Analyse intégrée des résultats de l'évaluation de la vulnérabilité dans la région

L'analyse des tendances climatiques actuelles et futures montre que les impacts constatés et prévus des changements climatiques affectent l'ensemble des moyens d'existence de la région de Saint-Louis.

À ce titre, les secteurs de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche qui constituent les secteurs clefs de l'économie régionale reposant essentiellement sur l'utilisation des ressources de la biodiversité présentent une grande vulnérabilité.

Les infrastructures, notamment de transport terrestre, présentent aussi une grande vulnérabilité favorisant l'enclavement de certaines localités limitant ainsi le déplacement des biens et personnes pendant une bonne partie de la saison hivernale avec une incidence sur les activités économiques. Par ailleurs, avec les coupures fréquentes des ponts et l'impraticabilité de certains axes routiers due aux inondations, les évacuations sanitaires peuvent dans certaines mesures être retardées.

La santé humaine, directement ou indirectement, est également éprouvée par ces tendances climatiques avec la possibilité de voir se développer des maladies émergentes et ré émergentes. Par ailleurs, les résultats issus de l'évaluation de la vulnérabilité, montrent également que les impacts notés ne se produisent pas de manière isolée. En effet, on peut noter que les inondations affectent tous les autres secteurs ciblés dans le cadre de cette évaluation à savoir, l'agriculture, la santé, les infrastructures de transport terrestre ainsi que le genre avec les catégories et les groupes d'âge recensés comme étant les plus affectés. Les impacts notés au niveau de l'agriculture, peuvent affecter la qualité nutritionnelle des populations et entrainer des problèmes de malnutrition et de santé. Les problèmes de santé liés aux impacts des changements climatiques peuvent affecter les performances au niveau des activités socio-économiques.



En réponse aux différents impacts notés des mesures et/ou stratégies d'adaptation ont été identifiées de manière participative avec les différentes parties prenantes de la région. Ces différentes mesures ont été hiérarchisées en fonction de sept (7) critères relatifs à : (1) la cohérence avec les politiques nationales, (2) la faisabilité, (3) la durabilité, (4) l'acceptabilité, (5) l'efficience, (6) l'équité et au (7) coût de l'option. En fonction de ces critères, une note est attribuée à chaque option pour permettre une hiérarchisation des options. L'option qui sort avec la meilleure note (totale) est considérée comme prioritaire.

5.1. Secteur de l'agriculture

Pour faire face aux impacts du changement et de la variabilité climatique actuels et à leurs effets, les producteurs et acteurs des filières ont déjà adopté certaines stratégies ou introduit certaines innovations. Ces mesures concernent chaque impact biophysiques et sont déclinées en plusieurs actions suivant le système de culture (pluviale, irrigué et de décrue (Tableau 22). Parmi ces stratégies il y a :

- pour les cultures pluviales : l'abandon partiel ou total des cultures à cycle long de mil et sorgho au profit du niébé et des pastèques ; des actions de conservation des eaux et des sols (CES) et de défense et restauration des sols (DRS), pratiques agroforestières ;
- pour les cultures de décrue : la baisse des surfaces cultivées, sauf en années de crues normales ; application des bonnes pratiques agricoles.
- sur les périmètres irrigués : l'augmentation des heures d'arrosage et des frais d'exploitation engagés ; le semis précoce du riz de contre-saison chaude ; l'usage des repousses de plants de riz ; l'utilisation de variétés de riz mieux adaptées à la chaleur et de cycle plus court comme Sahel 108 ;
- pour les cultures maraichères : Changement de calendrier culturaux ; utilisation du système de goutte-à-goutte ; irrigation de complément ;
- sur les sols : les amendements (utilisation de la matière organique), le reboisement ; l'application des pratiques de DRS ;
- sur la foresterie : le reboisement ; l'utilisation des techniques de régénération assistée ; fixation des dunes dans la partie littorale.

Tableau 22 : Les stratégies ou mesures d'adaptation identifiées en fonction des impacts biophysiques

Système de culture	Impacts biophysiques	Mesures d'adaptation
Système Pluviale	Non bouclage du cycle de développement des cultures	Utilisation de variétés adaptées, diversification des cultures, reboisement, défense et restauration des sols
	Destruction et ensablement des cultures	Haies vives, brises vents, typha-vells et gabions.
	Augmentation de l'évapotranspiration des plantes.	Application des bonnes pratiques agricoles.
	Ensevelissent des cultures, déplacement des particules du sol.	Reboisement
Système de culture de décrue	Perte de bandes de cultures	Réduction des surfaces cultivées
	Dessèchement rapide des parcelles	Application des bonnes pratiques agricoles
Système de culture irrigué	Inondation des parcelles	Adaptation des pratiques d'irrigation
	Érosion hydrique	DRS (défense et restauration des sols)
	Augmentation de l'eau d'irrigation	Application des bonnes pratiques agricoles (semis précoce, usage de repousses, de variétés à cycles court)
	Ensevelissent des cultures, déplacement des particules du sol.	Utilisations d'énergies renouvelables.
Système maraicher	Augmentation de l'évapotranspiration des plantes	Changements dans les calendriers culturaux (dates de mise en pépinière) ; l'irrigation au goutte-à-goutte, le système dit californien, brise-vents,

Système de culture	Impacts biophysiques	Mesures d'adaptation
	Augmentation de l'eau d'irrigation	L'utilisation de bâches pour couvrir les pépinières et la culture sous serre ou en alvéoles (dans le Gandiolais notamment) ; l'irrigation de complément grâce à l'installation de petits GMP en collectif ;
Fertilité des sols	Dégradation de la structure du sol	Amendement et reboisement
	Percolation, lessivage et dégradation de la structure du sol	
	Érosion éolienne et hydrique	
	Asséchement rapide du sol	Application des pratiques de DRS
	Déplacement des particules du sol, ensevelissement des cultures	Reboisement, haies vives et brises vents
Foresterie	Disparition de certaines espèces, appauvrissement des sols et régression du couvert végétal	Reboisement, RNA
	Disparition des espèces des végétales sur la langue de barbarie	
	Régénération	Fixation des dunes

Il existe par ailleurs des initiatives, individuelles ou collectives, utilisées pour une meilleure adaptation aux effets du CC, mais restent localisées. Il s'agit, entre autres, de la vulgarisation du système de riziculture intensive (SRI), du développement de systèmes d'irrigation plus efficients (tels que le système de type californien) et/ou plus économes (pompage solaire), de systèmes de production intégrés reposant sur des pratiques agro-écologiques, d'actions de reboisement par des mises en défens et la création de parcelles de régénération naturelle assistée (RNA). Enfin, l'attribution de terres aux groupements féminins pour la pratique du maraîchage et de l'arboriculture contribue à réduire les vulnérabilités liées à l'accès inégal au foncier.

Les mesures prioritaires retenues pour la région de Saint-Louis sont consignées dans le Tableau 23 ci-dessous. De manière transversale, l'une des stratégies d'adaptation les plus fréquentes est la diversification des activités, avec la pratique combinée de l'agriculture pluviale, irriguée, de décrue et/ou de l'élevage, mais également d'activités de reboisement (Tableau 23).

Tableau 23 : Priorisation des options d'adaptation avec la matrice multicritère

Initiative/ Options d'adaptation	Cohérence avec politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité sociale et politique	Efficience	Equité	Coût	Note	Rang
Diversification des cultures	5	4	4	3	3	3	4	26	1
Reboisement	5	3	4	4	4	3	3	26	1
Défense et restauration des sols (DRS) : Haies vives, brises vents, et gabions	5	4	3	4	3	3	3	25	3
Application des bonnes pratiques agricoles	5	5	3	4	3	3	2	25	3
Utilisation de variétés adaptées	5	4	3	3	3	3	3	24	5
Utilisation d'Énergies renouvelables dans le système irrigué.	5	3	4	4	3	3	2	24	5

Initiative/ Options d'adaptation	Cohérence avec politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité sociale et politique	Efficience	Equité	Coût	Note	Rang
Typha-vells dans les aires marines protégées	5	4	3	3	3	2	2	22	7
Amendement des sols	5	2	4	2	3	3	2	21	8

5.2. Secteur de la santé

En réponse aux différents impacts notés des mesures et/ou stratégies d'adaptation ont été identifiés auprès des populations. Ces mesures sont déclinées dans le Tableau 24 ci-dessous.

Tableau 24 : Les stratégies ou mesures d'adaptation identifiées en fonction des impacts sur la santé

Impacts climatiques sur la santé	Réponses et Mesures/ Stratégies d'adaptation	Changement requis pour un système de santé résilient (niveau communautaire)
L'aggravation de certaines maladies Émergence et réémergence de nouvelles maladies (zoonose) Accessibilité des structures sanitaires	Renforcer les mesures préventives (la lutte anti vectorielle) Renforcer la surveillance épidémiologique Approvisionnement en médicament et produit de santé Communication et sensibilisation Renforcement de capacités des acteurs	Engagement communautaire Renforcement du système de santé ; infrastructures, équipements, RH Élaborer et rendre opérationnel à tous les niveaux un plan de réponse aux urgences Développer des systèmes d'alerte précoce adaptés aux maladies

En plus de ces stratégies d'adaptions des efforts consentis par l'État du Sénégal pour répondre de façon concrète à l'atténuation et à l'adaptation aux changements climatiques, il y a le besoin en produit climatiques qui est étroitement lié à la maladie ciblée, plus généralement il peut être question des produits de prévisions (journalière, moyenne échéance, mensuelle et saisonnière) et projections. Il y a le besoin d'établissement de bulletins spéciaux en cas de risque d'épidémies ou tout simplement d'évènements extrêmes à fort impact sanitaire (inondations, vagues de chaleur, tempêtes de poussière). Il a été recommandé de :

- travailler à combler le manque de canaux d'information et de sensibilisation (incluant les badiénou Goox) ;
- mettre sur pied une politique de renforcement des capacités du personnel de la santé en élaborant des produits climatiques pour les maladies climat-sensibles ;
- densifier et moderniser le réseau d'observation et améliorer la remontée et la disponibilité des données sanitaires.

Il existe déjà des intervenants dans le secteur de la santé. De manière opérationnelle, on peut citer les programmes et projets à connotation changements climatiques mis en œuvre par le MSAS (Ministère de la Santé et de l'Action Sociale) et ses partenaires comme l'USAID :

- l'approche « Une seule santé » (One Health), grâce à laquelle une surveillance communautaire des maladies et zoonoses prioritaires au Sénégal est initiée depuis 2019 ;
- le projet NOAA & MSAS sur les vagues de chaleur ;
- la mise en place d'un groupe de travail santé environnement au sein de la DGS ;
- le Plan stratégique multisectoriel de la nutrition du Sénégal, 2018-2022 ;
- la Stratégie nationale de sécurité alimentaire et de résilience (SNSAR) 2015-2035 ;
- l'adhésion du Sénégal à la mutuelle panafricaine de gestion des risques (ARC[11]) ;

[11]- https://www.financialafrik.com/2019/09/04/assurance-secheresse-arc-verse-22-millions-de-dollars-au-senegal/

« ***Strengthening the resilience of vulnerable communities in Senegal to the health risks of climate change*** », initiative en cours de développement et portée par SAVE THE CHILDREN pour le MSAS, mais à soumettre au FVC (Fonds Vert Climat).

La priorisation des options d'adaptation avec l'analyse multicritères a permis de placer l'utilisation de l'information climatique en mettant en place des systèmes alerte précoce ainsi que le renforcement de la communication et sensibilisation comme options prioritaires à mettre en œuvre pour l'adaptation aux changements climatiques (Tableau 25). Le renforcement de la surveillance épidémiologique et l'approvisionnement en médicament et produit de santé constituent aussi de manière transversale, l'une des stratégies d'adaptation les plus importantes.

Tableau 25 : Matrice de priorisation des options/stratégies d'adaptations identifiées

Initiative/ Options d'adaptation	Cohérence avec politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité sociale et politique	Efficience	Équité	Coût	Note	Rang
Renforcement de la plateforme One Health	5	5	5	5	5	5	2	32	3ème
Intégration de la dimension changement climatique dans les documents de planification sanitaire	5	5	3	5	5	5	3	31	6ème
Renforcement de la surveillance épidémiologique	5	5	5	5	5	5	2	32	3ème
Communication et sensibilisation	5	5	5	5	5	5	5	35	1er ex
Renforcement de capacité des acteurs	5	5	3	4	5	5	2	29	7ème
Approvisionnement en médicament et produit de santé	5	5	5	5	5	5	2	32	3ème
Utilisation de l'information climatique : mise en place système alerte précoce	5	5	5	5	5	5	5	35	1er ex
Renforcement des mesures préventives (la lutte antivectorielle)	5	4	4	3	4	5	1	26	8ème
Renforcement des équipements et infrastructures sanitaires	5	5	5	5	5	5	2	32	3ème
Vaccination et mesures de biosécurité	5	5	3	5	5	5	3	31	6ème

5.3. Secteur des inondations

Les inondations pluviales sont très fréquentes surtout dans la ville de Saint-Louis. Pour lutter contre ce problème, les principaux ouvrages mis en œuvre sont : canaux de drainage (bétonnés ou en terre) à l'échelle de la ville, de l'habitat ou de la ruelle pour évacuer les eaux.

L'aménagement des zones inondables autour de la ville de Saint Louis s'est accompagné d'une réduction progressive de leur surface. Au fur et à mesure que les populations ont aménagé les zones dépressionnaires, les dommages causés par les crues ont augmenté. Il a donc fallu recourir à des mesures de protection comme les digues, les barrages et les ouvrages de dérivation et de pompage pour lutter contre les inondations. En matière de protection contre les inondations, il n'est pas possible de se protéger contre tous les risques. Quelle que soit la technique utilisée et quelles que soient les dimensions des ouvrages, il y aura forcément un jour où ces ouvrages seront insuffisants (Dia, 2000).

5.3.1. Critères de priorisation des options d'adaptation

Concernant les mesures d'adaptation, les options ont été prises en fonction des critères relatifs à (1) la cohérence avec les politiques nationales, à (2) la faisabilité, à (3) la durabilité, à (4) l'acceptabilité, à (5) l'efficience, à (6) l'équité et au (7) coût de l'option. En fonction de ces critères, une note est attribuée à chaque option pour permettre une hiérarchisation des options. L'option qui sort avec la meilleure note (totale) est considérée comme prioritaire avec un degré qui différentie sa priorité de celle qui suit.

5.3.2. Hiérarchisation des options d'adaptation par axe

En focus group, les options d'adaptation privilégiées sont les suivantes :

Tableau 26 : Options d'adaptation privilégiées

CONTRAINTES	Critères Options	Cohérence avec les politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité	Efficience	Equité	Coût	notes	Rang
La houle	1-Relogement de la population	5	5	5	2	3	4	1	25	19
	2-Prolongement de la digue jusqu'en GANDIOL	5	5	3	5	3	4	1	26	18
	3-Mettre en place un système de veille et d'alerte	5	5	5	5	5	5	5	35	1
	4-Reboisement et Brise Lame	5	5	5	5	3	4	1	28	9
Pluies exceptionnelles	Evacuation des eaux	5	5	2	4	2	5	5	28	9
	Recasement de la population	5	5	5	3	2	3	4	27	13
	Désinfection des lieux	5	5	2	5	5	5	5	32	3
	Construire des bassins de rétention	5	5	5	3	4	3	2	27	13
	Assistance aux sinistrés	5	5	3	5	5	2	3	28	9
	Surveillance et alerte	5	5	5	5	5	4	5	34	2
La crue	Cultures de décrues	5	5	2	5	5	4	5	31	4
	Evacuation des eaux	5	5	2	4	2	5	5	29	7
	Recasement de la population	5	5	5	3	2	5	5	30	6
	Assistance aux sinistrés	5	5	3	5	5	2	4	29	7
	Surveillance et alerte	5	5	5	5	5	3	5	28	8
	Recasement de la population	5	5	5	4	2	5	5	31	4

CONTRAINTES	Critères Options	Cohérence avec les politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité	Efficience	Equité	Coût	notes	Rang
Occupation des zones inondables	Restructuration (intégration dans la planification urbaine des infrastructures de gestion des inondations)	5	5	5	3	3	5	1	27	13
Topographie du terrain et la nature du sol : sols argileux	Aménagement des zones à risque	5	5	5	3	3	5	1	27	13

5.4. Secteur des infrastructures

Plusieurs options d'adaptation ont été recueillies relativement aux risques identifiés. Les options pour les différentes infrastructures sont consignées dans les tableaux suivants Tableau 27 pour les routes revêtues,
Tableau 28 pour les routes non revêtues et Tableau 29 pour les ouvrages d'art et d'assainissement.

Tableau 27 : Options au niveau des routes revêtues

Risques	Options recensées
Inondations (crue fluviale)	Renforcement de l'assainissement routier, utiliser des matériaux de qualité, protection des talus (perré maçonnés), renforcer les ouvrages (Dalots, radier),
Inondation (ruissellement des eaux)	Mise en place des brise-vents, Élagage, reboisement, désensablement, renforcer la signalisation
Fortes températures	Reboisement, utilisation de matériaux adaptés (bitume adapté)
Fortes précipitations (pluies exceptionnelles)	Contre l'avancée de la langue en construisant des digues anti sel, reboisement d'espèces pour contenir le sel, utilisation des matériaux adaptés (ciment marin), respecter les normes de construction selon la zone
Vent (tempête de sable)	Respect des normes, utilisation de matériaux adaptés, rabattement de la nappe avec des puits de rabattement

Tableau 28 : Options pour les routes non revêtues

Risques	Options recensées
Inondations (crue fluviale)	Mise hors d'eau, entretien des ouvrages, revêtement des pistes
Inondation (ruissellement des eaux)	Rechargement fréquent, mettre des ralentisseurs, reboisement
Fortes températures	
Fortes précipitations (pluies exceptionnelles)	Lutte contre l'avancée de la langue en construisant des digues anti sel, reboisement d'espèces pour contenir le sel, utiliser des matériaux adaptés, respecter les normes de construction selon la zone
Vent (tempête de sable)	Respect des normes, utilisation de matériaux adaptés, rabattement de la nappe avec des puits de rabattement

Tableau 29 : Options pour les ouvrages d'art et d'assainissement

Risques	Options recensées
Inondations (crue fluviale)	Protection des abords, avoir un meilleur dimensionnement des ouvrages, entretien et curage des ouvrages
Inondation (ruissellement des eaux)	Entretien et curage des ouvrages, revêtement
Fortes températures	Entretien de joint de dilatation
Fortes précipitations (pluies exceptionnelles)	Utilisation de des matériaux adaptés, lutte contre la salinité
Vent (tempête de sable)	Respect des normes, utilisation de matériaux adaptés, rabattement de la nappe avec des puits de rabattement

Les options d'adaptation qui ont été recensées ont été priorisées en tenant compte de 7 critères. Ces derniers ont été longuement discutés, dans le cadre d'un atelier, avec les différentes parties prenantes. Ces critères sont les suivants : la cohérence avec les politiques, la faisabilité, la durabilité, l'acceptabilité, l'efficience, l'équité et le coût. Ce dernier est noté de 5 à 1 (coût très faible à un coût très élevé) au moment où le reste des critères est noté de 1 à 5 (de très faible à très élevé).

Après la priorisation, les options suivantes ont été retenues :

- mise en place des ralentisseurs ;
- Renforcement de la signalisation ;
- Renforcement de la sécurité routière ;
- Renforcement du contrôle de conformité et le respect rigoureux des procédures ;
- Utilisation des matériaux de qualité ;
- Revêtement des pistes ;
- mise en place des brise-vents ;
- protection des abords ;
- protection des talus (perré maçonnés) ;
- Réalisation de puits de rabattement de la nappe ;
- reboisement ;
- désensablement ;
- entretien et curage des ouvrages ;
- rechargement fréquent ;
- renforcement de l'assainissement routier ;
- renforcement des ouvrages (dalots, radiers).

Au-delà de ces options prioritaires, les échanges récents avec les acteurs ont révélé l'importance de prendre en compte des effets futurs de l'élévation du niveau marin sur les infrastructures routières. Pour cela le rapport de l'état des lieux des connaissances scientifiques (livrable 1) a détaillé les éléments qui sont ressortis des études de Purkey D. et al. (non daté) et EGIS (2013). Purkey D. et al. (non daté) ont rappelé les risques d'inondation de la liaison côtière Dakar-Saint-Louis favorisé par la proximité de la mer. EGIS (2013) a révélé qu'aux horizons 2030 et 2080, l'élévation du niveau marin atteindra 20 et 80 cm et que beaucoup de pertes s'en suivront. Parmi les mesures d'adaptation proposées par Purkey D. et al. (non daté), il y a par exemple : la consolidation et le renforcement des plates-formes routières sur les routes maritimes.



CONCLUSION

Le PNA de la région de Saint-Louis a été élaboré dans une perspective de faciliter l'intégration des défis liés aux changements climatiques dans la planification et dans les prises de décisions au niveau local. Le PNA régional de Saint-Louis, mené dans une approche participative d'évaluation de la vulnérabilité prend en compte les tendances climatiques actuelles et futures, les expériences sectorielles mais également les connaissances et savoirs locaux dans un souci de renforcer la résilience des communautés, des moyens de subsistance et des infrastructures mais également de contribuer à la mise en œuvre de la CDN.

L'analyse intégrée des résultats de l'évaluation de la vulnérabilité montre qu'il faut également au-delà des réponses sectorielles, une approche multisectorielle pour prendre en charge les impacts de la variabilité et des changements climatiques.

Toutefois, cette contribution reste dépendante des stratégies de financement et de mise en œuvre des options d'adaptation prioritaires issues des consultations locales.



A. Béguin, S. Hales, J. Rocklöv, C. Åström, V. R. Louis, and R. Sauerborn, “The opposing effects of climate change and socio-economic development on the global distribution of malaria,” Global Environmental Change, vol. 21, no. 4, pp. 1209–1214, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2011.06.001.

AGEROUTE, 2019 : Actualisation des études techniques d’exécution, socio-économiques, environnementales et l’élaboration d’un dossier d’appel d’offres pour les travaux d’aménagement et de bitumage d’infrastructures routières dans l’île a Morphil d’environ 180km (Guédé-Ndioum-Halwar; Halwar-Démet-CasCas; CasCas-Saldé-Ngouye-Petté; CF/RN2-Médina Ndiathbé-CasCas), Rapport P.A.R., 67 p.

ANSD/SRSD/Saint-Louis (2019) Situation Economique et Sociale 0Régionale 2017-2018

C. Leport and J.-F. Guégan, 2011, “Les maladies infectieuses émergentes : état de la situation et perspectives,” p. 4

D. Gaye, “Suivi de la pluviométrie au Nord-Sénégal de 1954 à 2013 : étude de cas des stations synoptiques de Matam, Podor et Saint-Louis,” Norois. Environnement, aménagement, société, no. 244, Art. no. 244, Dec. 2017, doi: 10.4000/norois.6165.

EGIS International, 2013: Economic and Spatial Study of the Vulnerability and Adaptation to Climate Change of Coastal Areas in Senegal, Synthesis report, Final version, 115 p.

FAO, Ed., Strengthening the enabling environment for food security and nutrition. Rome: FAO, 2014

Fatime Kanté, 2018. Les flux hydriques dans la ville de Saint-Louis (Sénégal). Etude de la gestion des eaux pluviales dans les points bas du Faubourg de Sor. Thèse de Doctorat. Université Gaston Berger de Saint-Louis. Ecole doctorale des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS). Formation doctorale de de géographie. Laboratoire LEIDI : Dynamique des territoires et développement. Option : Ecosystèmes et Environnement. 289 pages.

GIEC. (2014). Climate Change 2014: synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (p. 151). IPCC. Sous la direction de Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., & Dubash, N. K.

I. DIOUF, 2022_I-133-139.pdf.” Accessed: Nov. 15, 2022. [Online]. Available: http://www.climato.be/aic/colloques/actes/ACTES_AIC2015/2%20Climatologie%20appliquee/021-DIOUF_I-133-139.pdf

I. Diouf, J.-A. Ndione, and A. T. Gaye, “Malaria in Senegal: Recent and Future Changes Based on Bias-Corrected CMIP6 Simulations,” Tropical Medicine and Infectious Disease, vol. 7, no. 11, Art. no. 11, Nov. 2022, doi: 10.3390/tropicalmed7110345.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

M. Romanello et al., “The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future,” The Lancet, vol. 398, no. 10311, pp. 1619–1662, Oct. 2021, doi: 10.1016/S0140-6736(21)01787-6.

ONAS, 2017. PROJETS D’ASSAINISSEMENT PAR VILLE, 32 p.

P. W. Gething, D. L. Smith, A. P. Patil, A. J. Tatem, R. W. Snow, and S. I. Hay, “Climate change and the global malaria recession,” Nature, vol. 465, no. 7296, pp. 342–345, 2010.

Purkey D., Diouf Sarr M., Seck A. (non daté): Planning for Climate Change in Overlooked Sectors : A synthesis of NCAP Activities in Senegal, 14 p

Sall M., 2006. Crue et élévation du niveau marin à Saint-Louis du Sénégal : impacts potentiels et mesures d’adaptation Thèse à l’Université du Maine. 322 pages.

Z. Zhongming, L. Linong, Y. Xiaona, Z. Wangqiang, and L. Wei, “AR6 climate change 2021: The physical science basis,” 2021.



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